

Margareta Petsovska – Gyorgyeviç
Danica Kırstovska
Mimoza Ristova
Oliver Zaykov

Nevenka Andonovska
Miryana Yonoska
Aleksandar Andonovski
Zora Mitrevska

FİZİK

ÜÇÜNCÜ SINIF ORTA MESLEK ÖĞRETİMİ İÇİN

Üsküp, 2011

Makedonca'dan Türkçe'ye çeviri:

Şaban Şabani

Dil redaksiyonu:

Dr. Fatima Hocin

Lektör:

Gulser Klinec

Değerlendiriciler:

Dr. Blagoy VELYANOVSKI – Üsküp DMF öğretim üyesi

Zekiriya ZEKİRİ

Mihail TRENOVSKI

Yazarlar:

Dr. Margareta PETSOVSKA-GYORGYEVIÇ, Üsküp DMF öğretim üyesi

Dr. Danitsa KRSTOVSKA, Üsküp DMF öğretim üyesi

Dr. Mimoza RİSTOVA, Üsküp DMF öğretim üyesi

Dr. Oliver ZAYKOV, Üsküp DMF öğretim üyesi

Dr. Nevenka ANDONOVSKA, Üsküp DMF öğretim üyesi

Dr. Miryana YONOSKA, Üsküp DMF öğretim üyesi

Dr. Aleksandar ANDONOVSKI, Üsküp DMF öğretim üyesi

Dr. Zora MİTREVSKA, Üsküp DMF öğretim üyesi

Düzeltili:

Nataliya GLİNSKA-RİSTOVA

Resimler:

Yazarlar

Yayıncı: Makedonya Cumhuriyeti Eğitim ve Bilim Bakanlığı

Basımevi: Grafički Centar Ltd., Üsküp

Tiraz: 150

Makedonya Cumhuriyeti Eğitim Bakan'ın 22-4681/1 numaralı ve 27.08.2010 yılına ait Karar ile, bu kitabın kullanımı onaylanmaktadır.

CIP - Каталогизација во публикација
Национална и универзитетска библиотека “Св.Климент Охридски”, Скопје
53 (075.3)

Физика за III година средно стручно образование / Маргарета Пецовска-Ѓорѓевиќ ... [и др.]
- Скопје: Министерство за образование и наука на Република Македонија, 2010, - 403 стр. :
илустр. ; 30 см

Автори: Маргарета Пецовска-Ѓорѓевиќ, Даница Крстовска, Мимоза Ристова, Оливер
Зажков, Невенка Андоновска, Мирјана Јоноска, Александар Андоновски, Зора Митревска

ISBN 978-608-226-216-1

1. Пецовска-Ѓорѓевиќ, Маргарета [автор]

COBISS.MK-ID 85404426

Önsöz

Bu Fizik kitabı *III sınıf orta meslek öğretimi gören tüm mesleklere aittir*. Öğretim dersi olarak tüm mesleklerde seçmelidir, /Olgunluk sınavı için seçmeli ders/ ve şu farklı programları kapsar:

- **Elektroteknik mesleği** için fizik programı (eğitim profilleri: elektroteknik-elektronik teknisyeni, elektroteknik-enerjetik teknisyeni, elektroteknik-bilgisayar tekniği ve otomatik teknisyeni);
- **Makine mesleği, grafik mesleği ve inşaat-jeodezi meslekleri** için fizik programı (eğitim profilleri: makine teknisyeni, enerjistik-makine teknisyeni, hava ulaşımı-makine teknisyeni, oto mekanik-mekatronik teknisyeni, grafik teknisyeni, karayolları ulaştırma teknisyeni, taşımacılık ve nakliye teknisyeni, demir yolu ulaştırma teknisyeni, mimari teknisyeni, jeodezi teknisyeni, inşaat teknisyeni);
- **Ormancılık-ağaç işletme mesleği ve kimyasal-teknolojik mesleği** için fizik programı (eğitim profilleri: mobilya ve iç mekânları teknisyeni, odun işletim teknisyeni, gıda teknisyeni, üretim süreci teknisyeni ve kimyasal-teknolojik teknisyeni);
- **Sağlık mesleği ve kişisel hizmetler faaliyeti** için fizik programı (eğitim profilleri: hemşire, eczacı teknisyeni, diş teknisyeni ve tıbbi laboratuvar teknisyeni)

Yukarıda adı geçen mesleklerde, fizik genel öğretim dersi olarak haftalık iki ders (yıllık 72 ders) görünür. Her program kapsadıkları konularının 6 ile 9 konu kadarı kısmen benzer ve kısmen farklıdır, bundan dolayı bu kitap toplam olarak 22 konuyu kapsar. Ders öğretmenin görevi belli meslek için gereken programla ilgili istenilen konuları seçebilir.

Bu kitap öğrencilere düşünce etkinliği sağlar. Bundan dolayı, malzemenin daha açık ve daha iyi öğrenilmesi gerektiği için, deneyler veya çözümlenmiş örnekler verilmiştir. Hemen de her öğretim birimin sonunda ona ait sorular, ödevler ve etkinlikler bulunur, bunlardan çoğu bilgisayar yardımıyla çözülür ya da öğrencinin yapabileceği deneysel etkinlik bulunur.

Kitap yazıldığı sırada yazarlar arası ciddi işbirliği vardı fakat tekrar bilinmesi gerekir ki her yazar hazırladığı konunun sorumluluğunu taşımaktadır. Buna göre,

- **Dr. Nevenka Andonovska** şu bölümlerin yazarıdır: bölüm 7, altbölümler 8.1, 8.2, 8.7, 8.8, 8.9, 8.10, 8.11, 8.12, 8.13, bölüm 9, altbölümler 10.6, 10.7, 10.8, bölüm 20, altbölümler 22.1, 22.2, 22.3, 22.4, 22.5, 22.6;
- **Dr. Mimoza Ristova** şu bölümlerin yazarıdır: bölüm 15, bölüm 16, altbölümler 19.3, 19.4 ve altbölüm 22.7;

- **Dr. Miryana Yonoska** Şu b6l6mlerin yazarıdır: b6l6m 1, altb6l6mler 8.3, 8.4, 8.5, 8.6, b6l6m 12, b6l6m 13, b6l6m 14, b6l6m 18, altb6l6mler 19.1, 19.2, 19.5;
- **Dr. Margareta Pecovska-Gyorgyevik** Şu b6l6mlerin yazarıdır: b6l6mler 2, 3, 4 ve 5.
- **Dr. Oliver Zaykov** Şu b6l6mlerin yazarıdır: altb6l6mler 10.1, 10.2, 10.3, 10.4, 10.5, b6l6m 17 ve altb6l6m 19.6;
- **Dr. Danica Kırstovska** Şu b6l6mlerin yazarıdır: b6l6m 11;
- **Dr. Zora Mitrevska** Şu b6l6mlerin yazarıdır: b6l6m 6;
- **d-r Aleksandar Andonovski** Şu b6l6mlerin yazarıdır: b6l6m 21;

Yazarlar bu kitabın mesleki, 6đretim ve teknik bakımı açısından daha da iyi olması için t6m kullananlar tarafından yapılacak 6neriler için 6nceden Őukranlarımızı sunarız.

Haziran, 2010

Yazarlar

İÇİNDEKİLER

1. ARAŞTIRMA METODLARI. ÖLÇME ESNASINDA YANLIŞLAR	1
1.1. Fizikte Araştırma Metotları. Ölçme	1
Giriş	1
Fizikte Metotlar	1
Ölçme. Ölçme Çeşitleri	3
1.2. Ölçme Esnasında Hatalar	4
Hata Türleri	4
Hataların Hesaplanması	4
1.3. Dolaylı Ölçmelerde Hataların Hesaplanması	6
Ölçme Sonuçlarının Grafikselsel Gösterilmesi	7
2. KİNEMATİK	9
2.1. Vektörsel Büyüklükler	9
2.2. Mekanik	13
2.3. Kinematik	14
2.4. Maddesel Noktanın Hareket Kanunu	18
2.5. Maddesel Noktanın Tek Boyutlu Hareketi	18
2.6. Serbest Düşme. Düşey Atış	19
2.7. Maddesel Noktanın Çift Boyutlu Hareketi	21
2.8. Yatay ve Eğik Atış	21
2.9. Maddesel Noktanın Eğri Çizgili Hareketi	26
2.10. Maddesel Noktanın Dairesel Hareketi	26
3. DİNAMİK	29
3.1. Birinci Nefton Kanunu. Eylemsizlik Kanunu	29
3.2. İkinci Nefton Kanunu	30
3.3. Üçüncü Nefton Kanunu	32
3.4. Kuvvet Çeşitleri	34
3.5. Ağırlık Merkezi	40
3.6. Dinamikte Ödevlerin Çözümü	41
4. GRAVİTASYON	44
4.1. Kepler Kanunları	44
4.2. Gravitasyon için Nefton Kanunu	45
4.3. Uydular. Kozmik Hızlar.	48
5. İŞ VE ENERJİ	53
5.1. Enerji	53
5.2. Kuvvetin İşi	54
5.3. Kuvvetin Gücü	55
5.4. Kinetik Enerji	56
5.5. Potansiyel Enerji	57
5.6. Mekaniksel Enerji Korunum Kanunu	57
5.7. Cisim İmpulsu. Kuvvet İmpulsu	60
5.8. İmpuls Korunum Kanunu	61
5.9. Çarpışmalar	61

6. DÖNÜŞLÜ HAREKET	
6.1. Dönüşlü Harekette Katı Cismin Kinematığı	64
6.2. Dönüşlü Hareket Dinamiği. Dönüş Eksenine Göre Kuvvet Momenti	67
6.3. Dönüşlü Hareket Dinamiğın Temel Kanunu. Eylemsizlik Momenti	71
6.4. Dönüş eksenine göre impul momentı	75
6.5. Dönüş eksenine göre cisim impuls momentinin korunum kanunu	76
6.6. Dönüşlü hareketin kinetik enerjisi	78
6.7. Öteleme ve dönüşlü hareketlerde büyüklükler va kanunlar benzerliğı	82
7. MEKANİKSEL TİTREŞİMLER	82
7.1. Peryodik hareket	82
Titreşimli hareketin temel kavramları ve elemanları	82
Harmoniksel titreşimler. Titreşimli hareketin elemanları	83
7.2. Harmoniksel titreşimlerin karakteristik büyüklükleri	
Harmoniksel titreşimli hareketin hız ve hızlama (ivme) denklemleri	84
7.3. Harmoniksel osilatör enerjisi	88
7.5. Sönümlü titreşimler	90
7.6. Sönümsüz titreşimler. Mekaniksel rezonansı	91
8. DALGALAR VE SES	94
8.1. Dalga olayları	94
8.2. Düz dalğanın denklemleri	96
8.3. Dalgaların süperpozisyonu. Dalga girişimi	98
8.4. Haygens-Frenel prensibi	100
8.5. Dalgaların kırınımı	102
8.6. Duran dalgalar	104
8.7. Duran dalga denklemleri	105
8.8. Ses dalgaları	108
Ses Dalgaların Temel Karakteristikleri	108
Sesin Şiddeti ve Yüksekliğı	109
8.9. Sesin iki farklı ortamı geçme kanunu	111
8.10. Ses rezonansı	111
8.11. Akustik metotları. Askültasyon ve perkusi	112
8.12. Ses dalgası kaynağı. Binuaral efekti	113
8.13. Dopler efekti. Ses bariyerini kırma	114
9. FLÜİDLER MEKANİĞİ	118
9.1. Flüidlerin temel özellikleri	120
9.2. Paskal kanunu	121
9.3. Hidrostatik basıncı	122
9.4. Atmosfer basıncı	124
9.5. Basıncın ölçülmesi. Barometreler, manometreler	126
9.6. Kaldırma kuvveti. Arşimed kuvveti	128
9.7. Yoğunluğun belirlenmesi	129
9.8. Sıvılarda cisimlerin yüzmesi ve onların istikrarı. Aerometreler	131
9.9. İdeel fluidin sabit hareketi. Süreklilik denklemleri	133
9.10. Bernuli denklemleri	134

İçindekiler

9.11. Bernuli denklemin uygulanma örnekleri	137
9.12. Reel flüidler dinamiği. Sıvıların viskozitesi	138
9.13. Ortamın direnci. Stoks kanunu	139
9.14. Puazey kanunu. Viskozetreler	141
10. ISI	143
10.1. Isı ve sıcaklık	
Sıcaklığın ölçülmesi. Termometreler	
10.2. Isının taşınması	145
10.3. Isının miktarı. Özel ısı kapasitesi	147
10.4. Isı dengesi	148
10.5. Isı radyasyonun kanunları	151
10.6. Termografi ve onun uygulanması	154
10.7. Organizmin fiziksel termoregülasyonu	156
11. MOLEKÜLLER FİZİĞİ	159
11.1. Moleküller fiziği temel kavramları	159
11.2. Sıcaklık. Sıcaklığın ölçülmesi	161
11.3. Temel gaz kanunları	163
11.4. İdeal gaz durumunun temel denklemleri	166
11.5. Moleküler-kinetik teorisinin temel denklemleri	169
11.6. Yüzeysel gerilim	173
11.7. Kılcal olaylar. Islanmak ve ıslanmamak	176
12. FAZ GEÇİŞLERİ	178
12.1. Hal durumları. Hal durumlarının değişimi	178
12.2. Buharlaşma ve yoğunlaşma	181
12.3. Doymamış ve doymuş buhar. Endrü deneyleri. Kritik temperatür	183
12.4. Kaynama	186
12.5. Gazın sıvılaşması. Soğutma makineleri	188
12.6. Yüceltme. Durum diyagramı. Üçlü nokta	189
12.7. Hava nemi	191
12.8. Bulutlar. Atmosfer katmanları	195
13. TERMODİNAMİK	198
13.1. Termodinamiğin temel kavramları	198
Giriş	198
Temel kavramları	198
İçsel enerji	199
13.2. İç enerjini değişimi. Sıcaklık miktarı	201
İş yapma esnasında iç enerjinin değişimi	201
13.3. Termodinamiğin birinci prensibi	204
Gazın ve buharın iş yapması	205
13.4. Adyabatik süreci	207
13.5. Dönümlü ve dönüşsüz süreçler. Karno süreci	208
Termodinamiğin ikinci prensibi	208
Dönümlü süreçler	208

İçindekiler

13.6. Faydalı etkili sabite. Sıcaklık makinenin çalışma prensipi	211
14. ELEKTRİK ALANI	213
14.1. Elektriksel yükler. Yük korunum kanunu İki türlü elektriksel yükler	213
Yük korunum kanunu	214
14.2. Kulon kanunu	215
14.3. Etki ile elektrikleşme	218
Elektrostatik induksyonu	218
Elektrostatik polarizasyonu	220
14.4. Elektrik alanı. Elektrik kuvvet çizgileri	221
Süperpozisyon prensibi. Bileşik alan	222
Homojen elektrik alanı	223
Elektrik kuvvet çizgileri	223
14.5. Elektrostatik alanda iş ve enerji	225
Elektriksel potansiyeli. Gerilim	227
Alan şiddeti ile potansiyel arasındaki bağ Eşit potansiyelli alanlar	228
14.6. Elektrostatik alanda iletkenler ve yalıtkanlar	230
14.7. Elektriksel kapasite. Kondenzatörler	234
Elektriksel kondenzatör nedir?	
14.8. Kondenzatörlerin bağlanması	237
14.9. Kondenzatörde enerji birikimi Elektrik alan enerjisi	238
15. ELEKTRİK AKIMI	240
15.1. Elektrik akımı	240
15.2. Tekyönlü akım kaynakları	243
15.3. Elektriksel direnç	245
15.4. Akım şiddeti ve akım arasındaki bağ	247
15.5. Dirençler	252
15.6. Kirhov kanunları. Devrelerin çözümü	254
15.7. Dirençlerin bağlanması	257
Dirençlerin seri bağlanması	
Dirençlerin paralel bağlanması	
15.8. Elektrik akımın iş ve gücü	261
15.9. Elektrik enerjisinin sıcaklığa dönüşümü	264
15.10. Termoelektron yayımı	266
Katod borusu. Osiloskop	
Vakum diyotu	
Röntgen borusu	
15.11. Sıvılarda elektrik akımı – elektrolitler	270
Elektrolit ayrışması	
Elektroliz	
Faradey kanunları. Uygulanması	
15.12. Gazlarda elektrik akımı	274

İçindekiler

Kendi kendine olmayan ve kendi kendine deşarj	
Atmosfer deşarjı – yıldırım. Uygulanması	
Akıntılı deşarj	
16. YARIİLETKENLER	277
16.1. Yarıiletken malzemeleri	277
Öz iletkenliği	
Katkı iletkenliği	
16.2. <i>pn</i> -teması	280
<i>pn</i> -temanın elde edilmesi	
<i>pn</i> -temasta içsel değişimler	
Dış gerilimin <i>pn</i> -teması	
Diyotun Volt-Amper (VA) özelliği	
6.3. Diyot, fotodiyot. Led-diyot	285
İyonlaştırıcı ışın yarıiletken detektörleri	
Yarıiletken doğrultucuları	
16.4. Tranzistör. İlk üretilen tranzistör	288
Çift kutuplu katmanlı tranzistör	
Çift kutuplu tranzistörün katmanları	
Fet - tranzistör	
16.5. Güçlendirici gibi çift kutuplu tranzistör	
Emiterli topraklanmış gerilim güçlendiricisi	293
16.6. Diğer yarıiletken elektronik birleşikleri	293
Tiristör (diyak ve triyak)	
Yarıiletken termopar	
16.7. Entegre devreleri	295
Entegre devrelerin icadı	
Entegre seviyesi	
Entegre örneği gibi mosfet tranzistörü	
17. MIKNATIS ALANI	298
17.1. Gerçek mıknatısın manyetik alanı	298
17.2. Akım geçiren iletken ile manyetik alanı arasındaki etki	300
17.3. Harekette bulunan elektriksel yükü ile manyetik alanı arasındaki etki	304
17.4. Akım geçiren iletkenin manyetik alanı	306
Akım geçiren iki paralel iletken arasındaki etki	
17.5. Süpstanların manyetik özellikleri	
Feromanyetikler, paramanyetikler ve diyamanyetikler.	309
18. MANYETİK İNDUKSİYON	313
18.1. Elektromanyetik induksiyonu	313
Elektromanyetik induksiyonun temel kanunu	
18.2. Lorens kuralı ve induksiyon akımı	316
18.3. Özindüksiyon. İnduktivite	318
18.4. Elektromanyetik induksiyonun uygulanması	321
Alternatif akım jeneratörleri	333
Transformatörler	333

İçindekiler

19. RADYODALGALAR	324
19.1. Radyodalgaların doğası	324
19.2. Radyodalgalar spektrumu	326
19.3. Radyo transmisyon	327
Radyotekniğin elemanları	
Radyo. Modülasyon ve demodülasyon	
Amplifikatör	
19.4. Televizyon yayın kavramı. Cep telefonları	331
19.5. Mikrodalgalar. Mikrodalga fırının uygulanması	333
Mikrodalga Fırınları	
19.6. Fiber optik iletişimi	336
Optiksel iletkenler nasıl çalışırlar?	
20. BİOMEKANİK	339
20.1. Kemik bozunmasında potansiyel enerji	339
20.2. Çarpışma esnasında kuvvet impulsu	339
20.3. Reoloji. Reolji malzemelerinin klasifikasyonu	341
20.4. Reoloji modelleri. Elastiklik modelleri, plastiklik ve viskozite	342
20.5. Maksvel modeli. Kelvin modeli ve Maksvel-Kelvin reoloji modeli	343
20.6. Kasların hareket mekanizması	345
20.7. Kasların üç birleşik reoloji modeli	348
20.8. Kanın reolojik özellikleri	348
20.9. Kanın kritik gerilimi. Duvar efekti	350
20.10. Kan hematokriti	351
20.11. Tıpta Bernuli denklemin uygulanması	352
20.11.1. İlaçların aşısız alınması	333
20.11.2. Dişlerin ağrısız ilaçlanması için gaz turbo makinesinin çalışma prensibi	333
21. RELATİF MEKANİK	353
21.1. Rölatif mekaniğin temelleri	353
21.2. Aynştayn (Einstein) prensipleri	360
21.3. Olayların eşit zamanlı rölativitesi	364
21.4. Hızların toplanması Aynştayn (Einstein) kanunu	370
21.5. Rölativitenin özel teorisinde kütle	373
22. FİZİK VE YAŞAMSAL ORTAMI	378
22.1. Global iklim değişimi	378
22.2. Cam bahçesi efekti	383
22.3. Ozon tabakası değişiyor	386
22.4. Canlı organizmalara gürültünün etkisi	390
22.5. Canlı organizmalara iyonlaştırıcı ışımalarının etkisi	393
22.6. Radyoaktif çöplüğü	393
22.7. Alternatif enerji kaynakları	398

1. Araştırma metodları. Ölçme esnasında yanlışlar

1.1. FİZİKTE ARAŞTIRMA METODLARI. ÖLÇMELER

Giriş

Fizik doğal bir bilim dalıdır. O, diğer fen bilimleri gibi doğayı araştırmaktadır.

Fiziğin doğal bilimleri sisteminde her zaman ayrı bir yeri varmış, bugün de böyle bir yeri vardır. Bu nedenlerden dolayı fizik bilim amaçları şunlardır:

- “fizik” doğada bilimin gelişmesi arasında başta gelenlerdedir. Fiziğin gelişmesine bağlı ve ondan diğer doğal bilimleri ayrılmıştır (kimya, astronomi, biyoloji, jeoloji ve diğerleri);
- ikinci diğer özelliği, tüm yeni oluşan doğal bilimlerin yapısında fizik bulunur ve onun metodları ve araçları kullanılır. Demek ki, fizik tüm doğal bilimlerin temelini oluşturmaktadır;
- üçüncü, fizik kanunların icatları geniş çapta farklı ürünlerin ve malzemelerin üretilmesinde kullanılır. Fizik tekniğin temelidir. Fiziğin gelişmesiyle günümüzdeki farklı türlü teknolojinin gelişmesini sağlanmıştır, bunlarsız hayat düşünülemez;
- en son olarak, etrafımızdaki dünyayı öğrenmek ve anlamak fiziğin felsefe ile sıkı bağlı olmasından kaynaklanır.

Şöyle denilebilir *fizik basit ve bileşik doğal olayları, onların özelliklerini, malzeme yapısını ve onların değişim kanunlarını araştırır.*

Çağdaş fizik temel parçacıkları, atom çekirdeklerini, atomları ve molekülleri; parçacıkların, katı cisimlerin, sıvıların, gazların makroskopik yapısını; süpstanlar parçacıkları (yerçekimi, elektromanyetik ve nükleer) birbirlerini etki ettikleri fiziksel alanları; parçacıkların ve ortamların farklı hareket türleri ve düzensiz sıcaklık hareketi araştırır. Diğer sözlerle, *çağdaş fizik maddenin çeşit-*

* Fizik kelimesi, Yunan kökenli “fızis” kelimesiden ve doğa anlamını taşıyan kelimedenden gelmektedir.

li şekiller bilimini oluşturur, bunlar bileşik madde sisteminin yapısını oluşturur.

Fiziğin Metotları

Fizik olayların araştırılması bu olayları gözletmekle başlar, daha doğrusu istenilen olay doğadaki varlığıyla araştırılır. Bir anda serbest düşme kanunu bilinir olduğu farz edelim. İlk önce farklı cisimlerin serbest düşmeleri gözletlenir. Serbest düşme kanunu ile ilgi bilimsel bir bilgi sadece gözletmekle olmadığı bize apaçıktır. Kim bilir ki kaç kişi Galileo Galilei'den (Galileo Galilei, 1564-1642) önce serbest düşmeyi gözletmiştir, fakat hiçbiri gözletdiklerini bir sisteme yerleştirmemişlerdir, bir de olayla ilgili fikir üretmemişlerdir (bilimsel hipotez). Yerküre tüm cisimlere eşit hızlamayı (ivmeyi) yaptırır. Bununla ilgili hipotezi sadece açıklama değil o hipotezin ispatlanması için yol bulunması gerekir.

Demek ki, gözletme kaliteli bilgilere ulaştırır. Fiziksel olayların araştırılmasının bundan sonraki sahnesi olayların *kaliteli analiz* edilmesidir ve bununla hipotez olarak aslı açıklanır ve onun deneysel olarak ispatlanması için yol hazırlanır.

Fiziksel deney araştırmanın sonraki sahnesidir, gözletmeyle bağlıdır fakat ondan asıl olarak farklıdır. Gözletme olay alanında bulunanları sadece sabitler. (Örneğin, Galilei'den önce tüm bilim adamları yenilik olan cisimler ağır olan cisimlerden daha yavaş serbest düşüklerini açıklamışlardır). Deneyde istenilen olay laboratuvar şartlarında sadece gerçekleştirilmez, olayın asıl şartlara ve parametrelere (bileşenlere) bağlılığı araştırılır, o şartların özellikleri ve belli ölçmeleri yapılır.

Olayın açık ve belirgin oluşması, deneyin hazırlanması için uygun şartlar yapılır. Böylece, eğer belli yükseklikten aynı anda yüzeyleri aynı olan kâğıt parçası ve metal plaki serbest düşme yaparsalar, onlar farklı düşerler. İkna olmamız için farklı düşmenin sebebi cisimlere hava direnci farklı etki etmesinden kaynaklanır, kâğıt parçasını metal parçası üzerinde yerleştirdiğimiz za-

1. Araştırma metodları. Ölçme esnasında yanlışlar

man, bu sefer hava direncini eşitledik ve serbest düşme yapmalarını bırakalım. Kâğıt parçası metal parçası ile eşit zamanda düşer. Bu deney benzer Galiley kâğıt parçası ve metal parçası yerine eşit boyutlarda iki topcağız kullanmıştır.

Deney esnasında bilim için yeni gerçekler elde edilmiştir ve olayın temel gerçeği doğru yansır. Olayın asıl gerçeğini bulmak için deneysel elde edilen neticeler hakkında teorik bilgi gerekir, belirli bilimsel gerçek matematiksel hazırlanması gerekir. Fiziksel kanunun matematiksel hazırlanır. Bu da olayın araştırılmasında en ağır sahneyi oluşturur, onsuz doğru bilim bilgileri elde edilmez bir de fiziksel teori hazırlanamaz. Bununla ilgi Maks Born'un şöyle demiştir: "Fizikten önce var olan problem: real olaylar gibi, kendi organlarımızla gözetleyip ve farklı aletlerle zenginleştirerek, basit kavramlara dönüştürülür, tam ölçmelere uygun olmaları ve fiziksel kanunların niceleyici hazırlanması için kullanışlı olmaları".

Bu sahnede matematik kullanılır ve matematik işlemleri ile önceki öğrenilen büyüklükler yardımı ile yeni fiziksel büyüklük ifade edilir. Bununla fiziksel büyüklüklerin ölçülmesi için gereken ön şartlar oluşturulur. Örneğin, cisimlerin

serbest düşme kanununu araştırırken, düşmenin başlangıç hızı ve bitiş hızı gibi kavramlar ve hızlama (ivme) alınır.

Deney sonuçlarının teorik analizi sunu sağlar, araştırmakla yeni deneysel kanunları kurulur ve bunlar fiziksel teoriyi oluştururlar.

Fiziksel teori, verilen süreci açıklayan, şunlardan oluşmuştur: 1) deneysel gerçekler onları açıklar ve onun yapısını oluşturur; 2) matematiksel araç, bununla teorinin temel kanunları düzenlenir ve 3) araç kavramı elde edilen denklemlere "fiziki anlam" verir.

Böylece, fizikçiler ayrışmayan iki metodu kullanırlar: deneysel ve teorik. Deneyden önce yapılan gözetlemeler hakkında teorik analiz kurulmazsa deneyin gerçekleşmesi sağlanmaz. Teorinin ve deneyin birliği ayrışmayan bir bağlılık metodu oluşturur ve biri diğerini tamamlar, her iki metod insan için dünyayı ve etrafını tanıması için dir.

Fiziksel büyüklükler. Birimler.

Fiziksel süreçleri araştırırken maddenin ve olayların özellikleri araştırılır.

TEMEL FİZİKSEL BÜYÜKLÜKLER				ÖLÇÜ BİRİMLER	
	İsim	İşaret	Boyut	İsim	İşaret
1	uzunluk	l, s, r	L	Metre	m
2	kütle (ağırlık)	m	M	Kilogram	kg
3	zaman	t	T	Saniye	s
4	elektrik akım şiddeti	I	I	Amper	A
5	termodinamik temperatür	T	Θ	Kelvin	K
6	ışık şiddeti	J	J	Kandela	cd
7	süpstans miktarı*	n	N	Mol	Mol

1. Araştırma metodları. Ölçme esnasında yanlışlar

Doğada maddelerin özelliklerine veya fiziksel olayların özelliklerine **fiziksel büyüklükler** denir.

Her fiziksel büyüklüğün belli *büyüklüğü* (*şiddeti*) vardır. Fiziksel büyüklüğün şiddetini (büyükliğini) onun niceleyici özelliği oluşturur.

Fiziksel büyüklükler birbirleri arasında bağlıdır. Bu bağlılıklarından dolayı, uluslararası anlaşmalar yardımıyla onlardan az bir kısmına birimler tanıtılır, birbirleri arası bağımsız birimler yâda *temel fiziksel büyüklükler* gibi adlandırılırlar. SI sistemde *temel fiziksel büyüklükler* yedi tane dirler. Onların sıralanması tablo 1'de verilmiştir. Diğerler için birimler daha doğrusu *ek fiziksel büyüklükler* onları *temel fiziksel büyüklükleri* ile bağlayan kanunlardan elde edilirler.

Verilen büyüklüğün ile temel fiziksel büyüklüğün fonksiyonel bağlılığını veren denklem verilen fiziksel büyüklüğün boyutunu belirler. Temel fiziksel büyüklüğü orta parantezler içerisinde alınarak işaret ile işaretlenir, ya da tablo 1'de verilen büyük Latin harfleri yardımıyla işaretlidir. Temel ve ek fiziksel büyüklükler birimleri beraber olarak ölçü birimler sistemini oluştururlar. Ülkemizde yasal olarak SI sistemin birimleri ve çok az sayıda sistem dışı birimlerin kullanılması getirilmiştir, onlardan bazıları örneğin, gündüz gece, yıl, dakika ve diğerleri yasal olarak kullanılmaktadırlar.

Ölçme. Ölçme çeşitleri

Verilen fiziksel kanunun tazdiklanması için, fiziksel büyüklüklerin ölçünmesi yapılır.

Aynı cinsten olan fiziksel büyüklüklerin büyüklüklerini (şiddetlerini) kıyaslarken, **fiziksel büyüklüklerin ölçümünü** yaparız. *Belli fiziksel büyüklüğün ölçülmesi o büyüklüğün değeri aynı cinsten ve birimi şartlı alınmış olan fiziksel büyüklük değeri kıyaslanmasıdır.*

Ölçmeler dolaysız ve dolaylı iki türlü dürler. Örneğin, bir cismin geçtiği yol uzaklığı dolaysız olarak uzunluk ölçü aracı ile ölçülür, diğer yandan

cismin hızı cismin geçtiği yol ölçülür ve yolun geçilmesi için zaman ölçülüp belirlenir.

Dolaylı ölçmelerde değeri belirlenmesi gereken büyüklük belli kanunla bağlı bulunan fiziksel büyüklükleri ölçülür. Ölçülen değerler belli kanundaki fiziksel büyüklüklerde yerleştirilerek dolaylı olarak fiziksel büyüklük belirlenir.

Fiziksel büyüklüklerin ölçülmesi için kullanılan aksesuarlara ölçü araçları denir. Örneğin, uzunluğu ölçmek için cetvel, kumpas, mikrometre; zaman aralığını ölçmek için kronometre; hacim menzürle ölçülür; sıcaklık termometre ile ölçülür; gerilim voltmetre ile ölçülür ve diğerleri.

Ölçmeye başlamadan önce verilen ölçü aracının merdiveni en küçük birime getirilir. Şekil 1'de bazı fiziksel büyüklüklerin ölçü araçları verilmiştir.



Şekil 1. Çeşitli ölçü araçları: yukarı, uzunluk ölçü araçları – cetvel, mikrometre ve kumpas; aşağı termometre, menzür ve voltmetre

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Fizikte temel araştırma metodları kimlerdir?
2. Deney ve teoremin ayrılmaz bağlılığını ve birbirlerini tamamladıklarını gösterecek örnek veriniz.

1. Araştırma metodları. Ölçme esnasında yanlışlar

3. Temel fiziksel büyüklükler nedir? SI sistemde temel fiziksel büyüklükler kimlerdir? SI sistemde temel birimler kimlerdir?

4. Verilen fiziksel büyüklüğü ölçme nedir?

5. Bazı fiziksel büyüklüklerin dolaysız ve dolaylı ölçülmesi ile ilgili örnekler veriniz.

**Aşağıdaki her kavramın önemi açıklansın.
(Gerektiği yerde örnek de verilsin)**

- araştırma metodu	- ölçme
- gözetleme	- temel fiziksel büyüklükler
- deney	- ek fiziksel büyüklükler
- deneysel sonuçların analizi	- dolaysız ölçme
- fiziksel teori	- dolaylı ölçme
- fiziksel büyüklük	- ölçü aracı

1.2. ÖLÇME SIRASINDA YAPILAN HATALAR

Fiziksel büyüklüklerin ölçülmesi ölçü araçları yardımı ile yapılır. Tüm sayılar, ölçme sonucu olarak elde edilen, yaklaşık, dırlar.

Hata türleri

Ölçmede oluşan hata türleri: *sabit*, *rastgele* (tesadüf) ve *sistematik* tir.

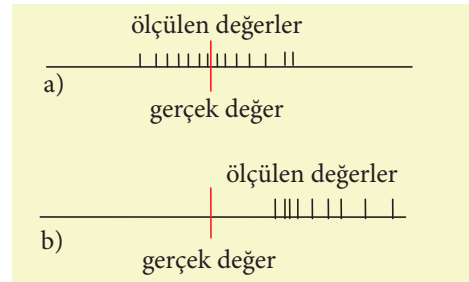
Sabit hata eğer ölçme arızalı ölçü aracı ile yapılırsa oluşur, eğer deneyi gerçekleştiren şahıs ölçme metodu hakkında yeterli bilgisi yoksa veya ölçme esnasında alınan ölçme metodu yanlış şartlar altında yapılırsa oluşur. Öyle bir hata, örneğin, ölçü aracında en küçük bir birimin yanlış okunması veya elektriksel ölçü aracın yanlışlıkla açılması esnasında oluşan hata. Sabit hatalardan kaçınmak gerekir. O tür hatalı ölçümlerin sonuçları geçersizdir.

Ölçme esnasında hataların azalması için, çok sayıda ölçmeler yapılır. Ölçmenin çok kez tekrarlanması sonuçlarından ölçmelerin birbirleriyle eşit olmaması görülebilir, birde onların bir de-

ğer etrafında yakın olması görülür, *gerçek değer*. Ölçme esnasındaki hatalar kendi değerlerini bir de işaretlerini değiştirirler, bunlara *rastgele* (tesadüf) hatalar denir.

Bu tür hataların sebebi *sübjektif* tir, eğer sonuçlar ölçümü yapan şahsın kişisel özelliklerine bağlı ise, onun dikkatliliği, görme keskinliği ve sayı veya *objektif* (her deneyde ölçü aracı farklı değerler gösterir, onun gelişmemiş olması veya ölçülen fiziksel büyüklüğün belirli koyu bir değer olmaması. Bu tür hatalar ölçmeyi çok kez tekrarlamakla azalır.

Sistematik hatalar genelde ölçü aracından kaynaklanan hatalardır. Deney esnasında onlar değer ve işaretlerini korurlar. Sistematik hatalı ölçmelerde ölçülen değerler gerçek değer bir tarafında yığılırlar (Şekil 1.b). Böyle hata oluşmasının sebebi ölçü aracının merdivenindeki sıfır değeri tam yerinde bulunmamasından dolayı kaynaklanır.



Şekil 1. Sistematik hata esnasında, tüm ölçme sonuçları bir tarafa yığılırlar

Bu tür hatalardan kurtulmak için yapılan ölçümler diğer doğru bir ölçü aracın yapılan ölçümleri ile kıyaslanır. Kıyaslama esnasında sistematik hata olduğu öğrenilir ve hata belirlenir, ölçmeler devamında hatalı ölçü aracı yardımı ile yapılabılır fakat sonuçlara sistematik hata değeri eklenir veya alınır.

Hataların hesaplanması

Herhangi bir ölçmede rastgele hatalardan kurtulamayız.

1. Araştırma metodları. Ölçme esnasında yanlışlar

Onları değerlendirmemiz gerekir. Söylediğimiz gibi ölçmeleri çok kez ölçmekle doğrularız. O zaman, fiziksel büyüklüğün tüm yapılan ölçümleri onların *ortalama değeri gerçek değere* en yakın olduğu alınır. Eğer fiziksel büyüklüğün (x) ölçümü esnasında elde edilen değerler x_1, x_2, \dots, x_n , ortalama değeri x_{sr} şöyle elde edilir:

$$x_{sr} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \quad (1)$$

Ölçülen büyüklüğün her hangi bir değerinden ortalama değerin çıkarılması farkına mutlak hata Δx_i denir:

$$\Delta x_1 = x_1 - x_{sr}; \Delta x_2 = x_2 - x_{sr}; \dots, \Delta x_n = x_n - x_{sr} \quad (2)$$

Mutlak hata pozitif veya negatif olabilir. Fakat ölçme hatasını hesaplamak için genelde *mutlak ortalama hatası* (Δx_{sr}) aranır. Ölçmenin mutlak hatasının ortalama değerini belirlemek için, her mutlak hata değeri pozitif işaretli alınır, öyle ki:

$$\Delta x_{sr} = \frac{|\Delta x_1| + |\Delta x_2| + \dots + |\Delta x_n|}{n} = \sum_{i=1}^n \frac{|\Delta x_i|}{n} \quad (3)$$

Ölçmedeki değerler ortalama değerinden farklı olarak küçük veya büyük olabilir, bundan dolayı sonuç şöyle hesaplanır:

$$x = x_{sr} \pm \Delta x_{sr} \quad (4)$$

bu demektir ki fiziksel büyüklüğün (x) gerçek değeri $x = x_{sr} - \Delta x_{sr}$ ve $x = x_{sr} + \Delta x_{sr}$ arasında bulunur:

$$x_{sr} - \Delta x_{sr} > x < x_{sr} + \Delta x_{sr} \quad (5)$$

Mutlak hata her zaman sayı değeridir ve ölçülen fiziksel büyüklüğün (x) birimi gibi birim olarak söylenir. Ortalama değerin hesaplanması esnasında, sonuç mutlak hata olarak belirlenen değer düzeyinde değer olarak yuvarlanır. Örneğin, eğer

ölçülen hata birin ondalık basamakta bulunursa ortalama değer de birinci ondalık basamakta yuvarlanır, eğer hata tam sayı düzeyinde bulunursa ortalama değer de tam sayı düzeyinde yuvarlanır ve diğer.

Bir fiziksel büyüklüğün ölçme tamamlığı daha kesin *rölatif hata* (δ_x) ile ifade edilir. Bu da ölçmenin ortalama mutlak hatası (Δx_{sr}) ve ölçülen büyüklüğün ortalama değerinin (x_{sr}) oranı oluşturur:

$$\delta_x = \frac{\Delta x_{sr}}{x_{sr}} \quad (6)$$

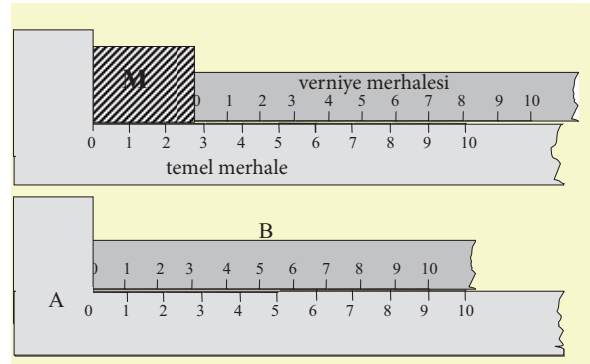
Bu hata yüzdelik olarak ifade edilir:

$$\delta_x = \frac{\Delta x_{sr}}{x_{sr}} \cdot 100\% \quad (7)$$

Rölatif hata isimsiz bir sayıdır.

Deneyler ve teori ortalama mutlak hatalar değerlerin çok kez ölçülmesiyle bununla rölatif hatalar da daha küçük olduğunu gösterir.

ÖRNEK. (Şekil 1) mikrometreli vint yardımı verilen cismin uzunluğu ölçülür.



Şekil 1. M adlı cismin mikrometreli vint yardımı ile uzunluğu ölçülür.

1. Araştırma metodları. Ölçme esnasında yanlışlar

Mikrometrelili vint 0,1 mm tamamlıkla ölçer. Temel merdivenden A yapılmıştır ve her 1 mm eşit birimler bulunur ve ikinci merdiveni B dir. B merdiveni hareket eder, temel ekseninde kayar. B merdivenindeki değerler öyle alınmıştır ki, A merdivenindeki 9 mm B merdivenindeki değer 10 birime ayrılır.

Ölçme öyle yapılır ki cisim her iki merdivenin sıfır işaretleri arasında yerleştirilir. Tam milimetreler merdiven A'dan okunur, onluk bölümler ise merdiven B'den okunur. Merdiven B'den herhangi bir bölüm okunur ki merdiven A birimiyle en yakın paylaşır. Uzunluğun ölçülmesi 10 kez tekrarlanır. Ölçmenin sonuçlarını (Tablo 1) ile gösteririz.

Tablo 1.

Ölçme numarası	l_i (mm)	Δl_i (mm)
1	2,7	0
2	2,6	-0,1
3	2,8	+0,1
4	2,7	0
5	2,7	0
6	2,8	+0,1
7	2,9	+0,2
8	2,6	-0,2
9	2,9	+0,2
10	2,7	0
Ortalama değer	$l_{sr} = 2,74 \cong 2,7$	$\Delta l_{sr} = 0,9/10 = 0,09 \cong 0,1$

Sonuçları yazıyoruz:

$$l = (2,7 \pm 0,1) \text{ mm}$$

Rölatif hata:

$$\delta l = \frac{0,1}{2,7} \cdot 100\% = 3,7\%$$

Cisim M'in aynı uzunluğu daha kesin olarak mikrometrelili vint ile ölçülebilir. Eğer uzunluğun ortalama değeri $l_{sr} = 2,7$ mm ise, ortalama mutlak hata $\Delta l_{sr} = 0,06$ mm dir, ölçmenin sonucunu şöyle gösterelim:

$$l = (2,71 \pm 0,06) \text{ mm}, \text{ rölatif hata ise şöyle olacak}$$

$$\delta l = \frac{0,06}{2,71} \cdot 100\% = 2,2\%$$

Görüldüğü gibi mikrometrelili vint ile yapılan ölçmenin daha büyük tamamlığı vardır.

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Ölçmede hangi hata türleri bulunur?
2. Ayrılmış ölçmenin mutlak hatasını açıkla. Ölçmede rölatif hata nasıl belirlenir? Bu iki hatadan hangisi sonucu belirler?
3. Dünyadaki en yüksek sirk cinin yüksekliği 2,31 m dir. Paris'teki Eifel kulenin yüksekliği 300 m dir. Büyük Okyanusun en büyük derinliği 11 km dir. Holanda toprağının yüksekliği 394 m deniz altı yüksekliğindedir. Eğer tüm bu uzunluklar 1 cm tamamlıkla ölçüldüyse, bu ölçmelerin sonuçlarını nasıl yazmamız gerekir ve ölçmelerden hangisi tamamdır? Bu uzunluklar ölçme tamamlığına göre sıralansın.
4. Bir kuvvet % 0,01 tamamlığıyla ölçülmüştür. Onun değeri 12300 N dur. Ölçmenin sonucu mutlak hatayla nasıl yazılacaktır?

Aşağıdaki her kavramın önemi açıklansın. (Gerektiği yerde örnek de verilsin)

- sabit hata
- rastgele hata
- sistematik hata
- ölçmenin ortalama değeri
- ayrılmış ölçmenin mutlak hatası
- ortalama mutlak hata
- ortalama rölatif hata
- yüzdellik hata
- ölçme sonucunun yazılması

1.3. DOLAYLI ÖLÇMELERDE HATALARIN HESAPLANMASI. SONUÇLARIN GRAFİKSEL GÖSTERİLMESİ

Çoğu kez ölçtüğümüz fiziksel büyüklüğü dolaysız ölçme ile elde edilmez. Örneğin, küpün hacımı

1. Araştırma metodları. Ölçme esnasında yanlışlar

onun uzunluğu, genişliği ve yüksekliği ölçülmekle belirlenir. Ya da, verilen homojen cismin süps-tans yoğunluğu o cismin kütlesi ve hacim ölçüle-rek belirlenir. Böyle ölçmeler dolaylı ölçmelerdir. Ölçülen fiziksel büyüklüğün dolaylı ölçme hataları, aranan büyüklüğün değerini hesaplamak için ayrı ayrı dolaysız ölçülen büyüklüklerin hatalarına bağlıdır. Bu yanlışların katkısı aranan büyüklüğün ve dolaysız ölçülen büyüklüklerin fonksiyonel bağlılığına bağlıdır. Tablo 2'de rölatif hataları hesaplama denklemleri ve bazı fonksiyonel bağlar verilmiştir.

Tablo 2.

Fiziksel büyüklük x	Ölçülen büyüklükler	Ölçme hatası
cebirselsel toplam $x = a + b - c$	a, b, c	$\Delta x = \Delta a + \Delta b + \Delta c$
çarpım $x = a \cdot b \cdot c$	a, b, c	$\delta x = \frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta c}{c}$
orantı $x = \frac{a}{b}$	a, b	$\delta x = \frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}$
derece $x = a^N$	a	$\delta x = \frac{\Delta x}{x} = N \cdot \frac{\Delta a}{a}$
N kökü $x = \sqrt[N]{a}$	a	$\delta x = \frac{\Delta x}{x} = \frac{1}{N} \cdot \frac{\Delta a}{a}$

Dolaylı ölçülen büyüklüklerin ölçme hatalarını hesaplamak için laboratuvar ölçmelerde kullanılır.

Arızalı ölçü aletinden kaynaklanan ölçmelerdeki hatalar kolayca fark edilirler, çünkü en büyük hata şartlı ölçü aracın yapısından kaynaklanır, ölçü aracında hata değeri bilgi olarak yazılı bulunur. Eğer ölçü aracında öyle yazılı bir bilgi bulunmazsa o zaman hata değeri merdivenin en küçük birimin yarısı kadar değer alınır. Örneğin cetvel ile uzunluk ölçüldüğü zaman, merdivenin en küçük birimi 1 mm olduğu için, hata değeri $0,5 \text{ mm}$ alınır.

ÖRNEK. Cetvel yardımı ile kitap sayfasının kenarları ölçülür ve sayfa alanı hesaplanır. Sayfanın yüksekliği $a=24,7 \text{ cm}$, genişliği ise $b=16,3 \text{ cm}$ dir.

Alanını ölçerken yapılan hata nekadardır? Sonuç olarak hata yanlışlığı yazılsın.

Çözüm.

Yüksekliğin ve genişliğin çarpımı ile alan hesaplanır:

$$P = a \cdot b = (24,7 \cdot 16,3) \text{ cm}^2 = 402,61 \text{ cm}^2$$

Tablo 2'ye göre alan P yanlışlığı:

$$\delta P = \frac{\Delta P}{P} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}; \text{ dir; çünkü } \Delta a = \Delta b = 0,05 \text{ cm},$$

o zaman

$$\delta P = \frac{0,05}{24,7} + \frac{0,05}{16,3} = 0,002 + 0,003 = 0,005 \text{ ya da}$$

$\delta P = 0,5\%$. Mutlak hata ΔP rölatif hatadan elde edilir.

$$\Delta P = P \cdot \delta P = 0,005 \cdot 402,61 \approx \pm 2 \text{ cm}^2$$

Sonuç şöyle yazılır: $P = (402,61 \pm 2) \text{ cm}^2$, daha doğrusu hatanın belirlendiği ondalığa yuvarlanması elde edilir:

$$P = (403 \pm 2) \text{ cm}^2.$$

Ölçme sonuçlarının grafiksel gösterilmesi

Fiziksel kanunların formüllerle-denklemlerle temsil edilmelerine *matematiksel* denir. Böyle gösterilmeleri araştırılan fiziksel büyüklüklerin aralarındaki kantitatif bağlılığı gösterir.

İki fiziksel büyüklüğün fonksiyonel bağlılığı, veya fizik kanunu, tablo yardımı ile gösterilebilir. *Tablo şeklinde gösteri* (sıkça ölçülen fiziksel büyüklüklerle) ile büyüklük-fonksiyon bağımlı değişkenin hesaplanan değerleri gösterilir.

Açıklanana rağmen, fiziksel kanunları sıkça *grafiksel* gösterilirler. O anda, bağımsız fiziksel büyüklük değişkeni (çoğu kez dolaysız ölçülen) koordinat sistemin yatay ekseninde yerleştiririz, dikey (dikey) ekseninde ise, uygun ölçeğe göre, fonksiyonun değerleri yerleştirilir (çoğu kez dolaylı ölçülen fiziksel büyüklüğün hesaplanmış değerleri). Her iki büyüklüğün çift değerlerine koordinat sisteminin alanında birer nokta uygundur.

1. Araştırma metodları. Ölçme esnasında yanlışlar

Elde edilen noktaları bağlayan çizgi elde edilen kanunun *grafığını* verir.

Eğer grafik fiziksel büyüklüğün x sayı değerlerine göre çizilirse, ölçmenin sonucu olarak, ve fiziksel büyüklüğün $y = y(x)$ grafiği sayı değerleri merdivenine *diyagram* denir.

Diyagramlar milimetrelık kâğıtlarda çizilir. Koordinat sisteminde birimlerin (merdivende) seçilmeleri ayrıyetten önemlidir. O seçim öyle olmalıdır ki, bağıllık grafiği koordinat sisteminin tüm alanını kaplamalıdır. Bu açıdan ölçek önemlidir, daha doğrusu koordinat sisteminin birim büyüklüğü önemlidir.

Ölçülen ya da x 'in şartlı değerleri merdivene kolayca uygun olmalıdır. Aynısı y için geçerlidir.

Diyagramı çizerken dikkate alınması gereken şudur ki koordinat sistemi eksenlerinin kesişmeleri ile x ve y değerlerinin sıfır değerlerinde olmalıdır.

Değerler yazıldıktan sonra, deneysel olarak elde edildikleri, diyagramda $y = y(x)$ eğrisi çizilir, kesintisiz bir eğriyi oluşturur ve elde edilen noktalar biri diğerinden ayrıdır ve biri eğrinin üstünde veya altında bulunur (Şekil 1'deki örneğe bak).

ÖRNEK. Bir direncin uçları arasındaki bulunan gerilim ve elektrik akım bağıllığını belirle. Ölçülen gerilim ve akım değerleri tablo 3'te gösterilmiştir. Üçüncü sutonda elde edilen direnç değerleri yer alır.

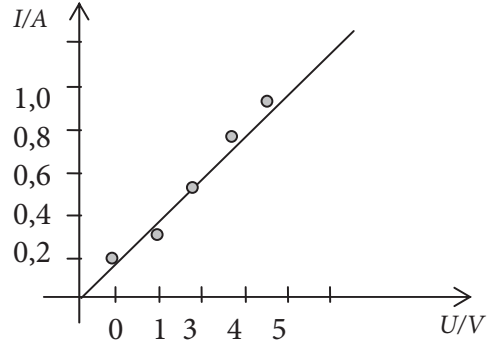
Sayı	Gerilim volt (V)	Akım şiddeti Amper (A)	Hesaplanan direnç: $R = \frac{U}{I}$ (Ω)
1	1,0	0,22	4,55
2	2,0	0,4	5,00
3	3,0	0,58	5,17
4	4,0	0,78	5,13
5	5,0	1,02	4,90
		ortalama değer	4,95

Eğer ölçümler koordinat sisteminde yazılırsalar elde edilecek grafik Şekil 1'de gösterilmiştir. Gra-

fiksel bağıllığın $I=I(U)$ deneysel değerleri kesintisiz çizilen bağıllığın üzerinde yatmazlar (deneysel eğrilerinin arasında çizilen doğru). Elektrik devresinin bir kısmı için Ohm kanunu söz konusu olur, ona göre

$$I = \frac{U}{R}$$

Direnç sürekli aynı olduğu için, bağıllık doğru çizgiyi oluşturur.



Şekil 1. Deneysel ölçmelerin grafikleri milimetrelık kâğıt üzerinde gösterilir.

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Dolaylı ölçmede hata nasıl hesaplanır açıkla.
2. Bir küp alınız, örneğin ayakkabı kutusu olsun. Cetvel ile küp kenarları beş kez ölçülsün. Her köşe için ortalama değer ve ortalama mutlak hatası hesaplınsın. Küpün hacımı ve ölçme hataları hesaplınsın.

**Aşağıdaki her kavramın önemi açıklansın.
(Gerektiği yerde örnek de verilsin)**

- dolaylı ölçmede hatanın hesaplanması
- ölçümlerin matematiksel gösterilmesi
- fiziksel kanunun grafiksel gösterilmesi
- diyagram

2. Kinemati

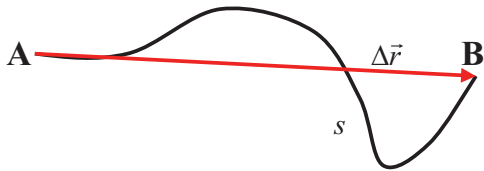
2.1. VEKTÖRSEL BÜYÜKLÜKLER

Fizikte iki türlü büyüklükler mevcuttur: skaller (sayı) ve vektörel. Skaler büyüklükler kendi değerleri ile belirlenirler. *Skaler fiziksel büyüklüğü sayı değeri ve ölçü birimi ile belirlenir.*

Skaler büyüklük örnekleri kütle ve sıcaklıktır.

Vektörel fiziksel büyüklüğü kendi değeri, yönü ve ortamdaki doğrultusu ve ölçü birimiyle belirlenir.

Vektörler işareti üzerine okçukla ve geometrik olarak doğrunun başlangıç ucu okla belirlenir. Vektörün büyüklüğü onun uzunluğu ile belirlenir, yönü ve okun doğrultusu doğadaki yerleşimini belirler. Fizikte rastladığımız ilk vektörlerden yarıçap vektörü \vec{r} cismin durumunu bir referans noktaya göre belli eder, bir de yerdeğişim vektörü $\Delta\vec{r}$. Yer değişimi vektörü hareketin başlangıç noktasından başlıyor, bitiş noktasında ise sona erer. O geçilen yoldan farklıdır ve onu cisim hareket ettiği yörünge üzerinde yer alan iki nokta arası yörünge uzunluğu oluşturur.



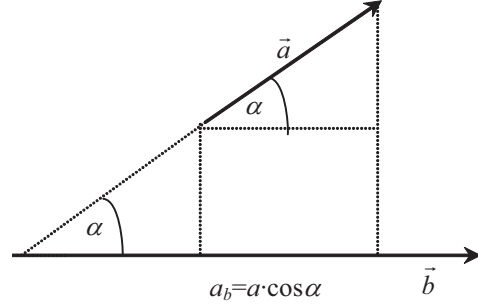
Şekil 1.

Diğer karşılaştığımız vektörler: ortalama hız vektörü, ortalama hızlama vektörü, ani hızlama vektörü. Paralel doğruları üzerinde yatan vektörlere (aynı veya ters yönlü) **koliner vektörleri** denir. Paralel yerdeğişimi ile koliner vektörler aynı doğru üzerinde yatmaları sağlanabilir.

Yönü vektör \vec{b} ile belirlenen vektör \vec{a} 'nın izdüşümüne büyüklük denir:

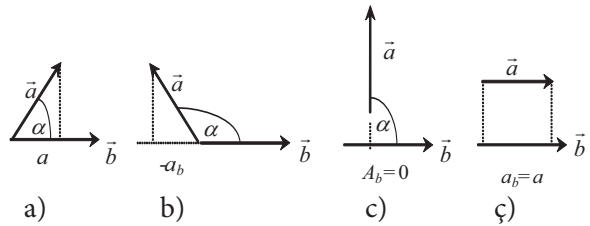
$$\text{Pr}_{\vec{b}} \vec{a} = a_b = a \cos \alpha \quad (1)$$

nerede ki açı vektör \vec{a} ve vektör \vec{b} ile yönü belirlenen aralarındaki açıdır (Şekil 2.).



Şekil 2.

Eğer verildiği yön ile vektör dar açıyı oluşturursa ($0 < \alpha < \pi/2$), o zaman $\cos \alpha > 0$ ve izdüşümü pozitif tir (Şekil 3.a.). Eğer açı α geniş açı ise ($\pi/2 < \alpha < \pi$), o zaman $\cos \alpha < 0$ ve izdüşümü negatif tir (Şekil 3.b.). $\alpha = \pi/2$ için, $\cos \alpha = 0$ ve izdüşümü sıfır dır, $a_b = 0$, (Şekil 3.c.). $\alpha = 0$ için, $\cos \alpha = 1$ ve izdüşümü vektör büyüklüğü kadar dır, $a_b = a$, (Şekil 3.d.).



Şekil 3.

Vektör koordinat sisteminde gösterilebilir, birbirine dik duran iki vektörden ibaret olan.

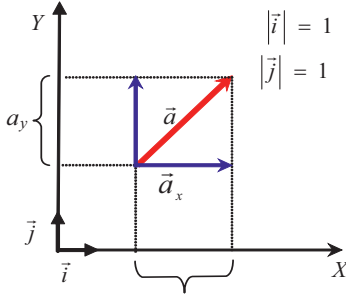
Düzlemde veya ortamda alınan vektör \vec{a} , x ve y eksenlerine gelen izdüşümleri ile temsil edilebilir.

2. Kinemati

Vektör \vec{a} düzlemde şu şekilde yazılır:

$$\vec{a} = a_x \vec{i} + a_y \vec{j} \quad (2)$$

nerede a_x ve a_y vektör \vec{a} 'nın koordinat eksenlerindeki bileşenleri (izdüşümleri) dirler birde bunlara dik açılı Dekart koordinatları denir. \vec{i} ve \vec{j} vektörleri bir birimlik vektörler dirler, doğrultusu ve yönleri koordinat eksenlerin doğrultu ve yönlerinde dir birde modülü (büyüklüğü) bir birimdir.

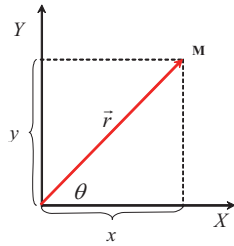


Şekil 5.

a_x ve a_y büyüklükleri dikdörtgen kenarlarının uzunluklarına eşittir, büyüklüğü ise $a = |\vec{a}|$ dikdörtgen diyagonalin uzunluğuna eşittir ve $a_x \vec{i}$ ve $a_y \vec{j}$ vektörleri ile kurulan (Şekil 4.). Budan dolayı her zaman şu denklem geçerlidir:

$$|\vec{a}| \equiv a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} \quad (3)$$

Radyus-vektörü \vec{r} verilen noktanın durumunu belirler. Koordinat sistemin başlangıcından başlayan verilen noktaya çekilen vektörü oluşturur (Şekil 5.).



Şekil 5.

Denklem (2)'ye uygun olan, radyus-vektör x ve y eksenlerindeki izdüşümleri (bileşenleri) ile şu şekilde yazılabilir:

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} \quad (4)$$

Resmin geometrisinden görebildiğimiz şudur, radyus vektör ve onun izdüşümleri dik açılı üçgeni oluştururlar. Vektör ve onun bileşenleri arasındaki bağ açı θ ile belirlenmiştir.

$$\begin{aligned} \frac{x}{r} &= \cos \theta \\ \frac{y}{r} &= \sin \theta \\ \frac{x}{y} &= \text{tg } \theta \end{aligned} \quad (5)$$

Radyus-vektörün büyüklüğü eşittir:

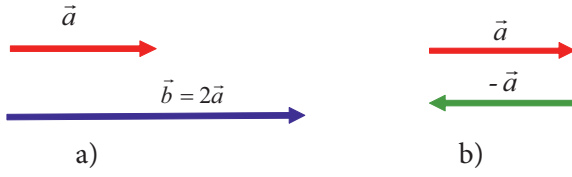
$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (6)$$

Vektörler biri diğeriyle toplanır, biri diğerdenden çıkarılır ve biri diğeriyle çarpılır. Skaler m ile çarpılan vektör \vec{a} yeni vektör \vec{b} 'ye eşittir:

$$\vec{b} = m \vec{a} \quad (7)$$

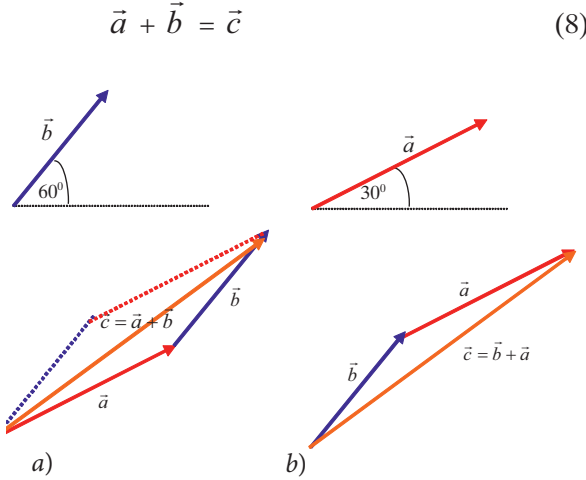
onun büyüklüğü $|m|$ kadar vektör \vec{a} 'dan ($b = |m| a$) büyüktür. Vektör \vec{b} 'nin yönü vektör \vec{a} 'nın yönünde dir. Vektör \vec{b} 'nin doğrultusu vektör \vec{a} 'nın doğrultusunda (eğer $m > 0$), veya ters doğrultusunda (eğer $m < 0$) dir. Örneğin, verilen vektör \vec{a} skaler 2 ile çarpılırsa, o zaman vektör \vec{a} 'dan iki kez daha uzun olan yeni vektör elde edilir (Şekil 6.a.). Eğer verilen vektör skaler -1 ile çarpılırsa, $-\vec{a}$ vektörü elde edilir ve vektör \vec{a} 'nın zıt (negatif) vektörü denir. \vec{a} ve $-\vec{a}$ vektörlerin eşit büyüklükleri vardır, birde zıt yönleri vardır (Şekil 6.b.). Sıfır vektör skaler 0 ile çarpılan herhangi bir vektöre denir. Onun büyüklüğü sıfır dir, yönü yoktur.

2. Kinemati



Şekil 6.

Vektörlerin toplanmasını tanımlamamız için, Şekil 7'de olduğu gibi iki vektörü farz edelim, vektör \vec{a} 'nın uzunluğu 2 dir ve herhangi bir referans çizgi ile 30° açı yapar; vektör \vec{b} 'nin uzunluğu 1 dir, ve aynı referans çizgi ile 60° açı yapar. Eğer toplamak istersek $\vec{a} + \vec{b}$, o zaman vektör \vec{b} 'yi kendisiyle paralel olarak hareket ettiririz ve vektör \vec{a} 'nın sonuna onun uc noktası yerleştirilir. Böylece yeni vektör \vec{c} vektör \vec{a} 'nın başlangıç noktasından vektör \vec{b} 'nin bitiş noktasına doğru çizilerek elde edilir ve \vec{a} ve \vec{b} 'nin *toplam vektörü* olarak adlandırılır (Şekil 7.a.):



Şekil 8.

Eğer $\vec{b} + \vec{a}$ toplamını elde etmek istersek aynı yöntemi uyguluyoruz fakat vektör \vec{a} paralel olarak vektör \vec{b} 'nin sonuna getirilir (Şekil 7.b). Yukarıdaki resimlerde görülüyor ki vektörlerin toplamında komutatif kanunu geçerlidir ve şöyle verilir

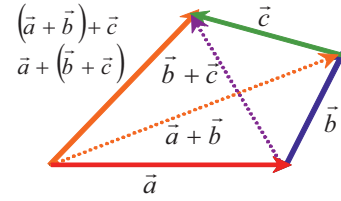
$$\vec{a} + \vec{b} = \vec{b} + \vec{a} \quad (9)$$

Vektör $\vec{a} + \vec{b}$ paralelogramın diyagonalini verir \vec{a} ve \vec{b} vektörleri ile belirlenerek (Şekil 7.a.). Bu nedenden dolayı vektörleri toplama kuralı *paralelogram kuralı* gibi bilinir.

Vektörlerin toplanılmasında asosyatif kanunu da geçerlidir. Örneğin, eğer \vec{a} , \vec{b} ve \vec{c} vektörlerin toplanması gerekirse o zaman ilk önce $\vec{a} + \vec{b}$ bulunur ve onu vektör \vec{c} ile toplayalım, ya da ilk önce $\vec{b} + \vec{c}$ hesaplınsın ve onu vektör \vec{a} ile toplayalım. Her iki olayda aynı vektör sonuç olarak elde edilir (Şekil 8.):

$$\vec{a} + (\vec{b} + \vec{c}) = (\vec{a} + \vec{b}) + \vec{c} \quad (10)$$

Şekil 8'den görüyoruz ki toplama $\vec{a} + \vec{b} + \vec{c}$ yeni vektörü temsil eder ve vektör \vec{a} 'nın uc noktasıyla başlıyor ve son vektör olan vektör \vec{c} 'nin sonu ile biter. Bu kural çok sayıda vektörlerin toplanması için geçerlidir.



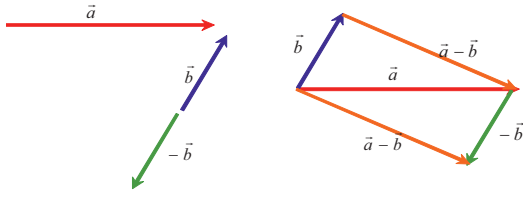
Şekil 8.

Eğer vektörleri toplama kuralı bize tanıdıkça, o zaman iki vektörün farkını yapmayı biliriz, çünkü çıkarma işlemi ters işaretli toplama işlemi (negatif vektör) oluşturur:

$$\vec{a} - \vec{b} = \vec{a} + (-\vec{b}) \quad (11)$$

\vec{a} , ve \vec{b} vektörleri varsa ve farkı bulmak istersek $\vec{a} - \vec{b}$, o zaman ilk önce $-\vec{b}$ vektörünü tasarlayalım sonrasında onu vektör \vec{a} ile toplayalım (Şekil 9.).

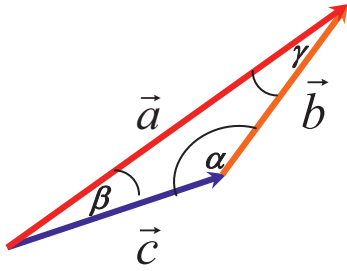
2. Kinemati



Şekil 9.

Eğer vektörleri toplama ödevimiz varsa, dar açılı üçgen için ödevin çözümü kosinüs ve sinüs teoremlerini uygulayarak yapılır.

Kosinüs teoremi: *üçgen kenarının karesi diğer iki kenarlarının karelerinin toplamından kenarların arasındaki kosinüs açısı ve kenarların çift çarpımını çıkarılarak eşitliği sağlar.* Bunun örneğini aşağıda çizilmiş olarak göreceğiz:



Şekil 10.

$$\begin{aligned} a^2 &= b^2 + c^2 - 2bc \cdot \cos \alpha \\ b^2 &= a^2 + c^2 - 2ac \cdot \cos \beta \\ c^2 &= a^2 + b^2 - 2ab \cdot \cos \gamma \end{aligned} \quad (12)$$

Sinüs teoremi: *üçgenin kenarları onlara zıt yatan sinüs açıları ile orantılı bulunur.*

$$a : b : c = \sin \alpha : \sin \beta : \sin \gamma$$

Yukarıda uygulanan aynı üçgen için sinüs teoremi şunu verir:

$$\frac{a}{b} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

$$\begin{aligned} \frac{a}{c} &= \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} \\ \frac{b}{c} &= \frac{\sin \beta}{\sin \gamma} \end{aligned} \quad (13)$$

Üçgen dik açılı olduğu zaman, denklemler basitleşir kosinüs ve sinüs dik açıları değerlerinden ötürü.

Örnek 1. Birinci vektörün koordinatları \vec{a} (1,-2) ve \vec{b} (5,4), bileşenleri, büyüklüğü ve her iki vektörün toplamının ve farkının yönü bulunsun.

$$\vec{a} + \vec{b} = (1+5, -2+4) = (6, 2)$$

$$\vec{a} - \vec{b} = (1-5, -2-4) = (-4, -6)$$

Büyüklükleri:

$$|\vec{a} + \vec{b}| = \sqrt{6^2 + 2^2} = \sqrt{40} = 2\sqrt{10}$$

$$|\vec{a} - \vec{b}| = \sqrt{(-4)^2 + (-6)^2} = \sqrt{52} = 2\sqrt{13}$$

Örnek 2. Uçak kuzeyden 30° açısı yönünde 500 km/s hızla hareket eder, rüzgâr 37 km/h hızıyla batıdan 30° açısı yönünde eser. Eğer uçak pilotu uçağın yönünü doğrultmazsa uçak hızının büyüklüğü ve yönü nedir bulunsun?

Uçağın ve rüzgârın hız vektörlerinin bileşenleri hesaplınsın.

$$\text{Uçak: } v_1 = 500 \cos(60) = 250 \text{ km/h}$$

$$v_2 = 500 \sin(60) = \sim 433 \text{ km/h}$$

$$\text{Rüzgâr: } u_1 = 37 \cos(30) = 32 \text{ km/h}$$

$$u_2 = 37 \sin(30) = 18,5 \text{ km/h}$$

Uçağın hız vektörü rüzgârın \vec{m} etkisinden iki vektörün toplamı olacaktır $\vec{m} = \vec{v} + \vec{u}$, onun bileşenleri ise \vec{v} ve \vec{u} vektörlerin bileşenleri toplamıdır.

$$m_1 = v_1 + u_1 = 250 + 32 = 282 \text{ km/h;}$$

$$m_2 = v_2 + u_2 = 433 + 18,5 = 451,5 \text{ km/h}$$

Vektörün büyüklüğü şöyle verilecektir:

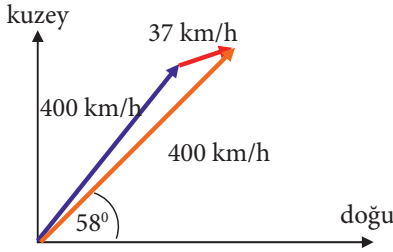
$$m = |\vec{v} + \vec{u}| = \sqrt{282^2 + 451,5^2} = 532,3 \text{ km/h}$$

Aynı vektörün yönü şu denklemlerle belirlenir:

2. Kinemati

$$\operatorname{tg} \left(\frac{v_2 + u_2}{v_1 + u_1} \right) = \operatorname{tg} \left(\frac{451,5}{282} \right) \approx 58^\circ$$

Uçağın hareket ettiği yön 58° doğuya doğru ya da 32° kuzeye doğru dur. Şekil 11'de hareketin diyagramı verilmiştir.



Şekil 11.

Ödevler:

1. İki ipliğin yardımı ile vapur kanal boyu çekilir. Vapur çekildiği iplerin kuvvetleri 400 N ve 600 N dur, ipler arası açı 60° dir, vapurun bileşke kuvveti ve iplerin kanalla yaptıkları açılar bulunsun. Bileşke kuvveti kanalla paralel dir.

Yardım: kosinüs teoremi uygulansın.

(Cevap: $F_R=872$ N, $\phi=23,4^\circ$, $\theta=36,65^\circ$)

2. Verilen iki kuvvet biri 56 N ve 125° açısı yönünde dir, ikincisi 43 N ve 220° açısı yönünde dir. İki kuvvet bileşkesinin büyüklüğü ve yönü bulunsun. Yönler x-eksenine göre verilmiştir. Vektörsel diyagram çizilsin (Cevap. 67,2 N ve açısı $164,6^\circ$)

2.2. MEKANİKSEL HAREKETLER

Mekanikğin başlangıcı Arşimet'in döneminde (Archimedes, 287-212 m.ö.) kaynaklanır. O ilk askeri makineleri tasarladı, gök küresini ki ondan yıldızların hareketi gözetlenir birde Güneş'in ve Ay'ın kavuşması, tarlaları sulama makineleri ve sayı. Arşimet'in mekanikte önemli başarılarından biri kaldıraç için birinci matematiksel teoriyi kurması ve kütle ağırlığı teorisini kurması.

Mekanik hızlıca XV^{ci} ve XVI^{ci} yüzyıllarında yayılır, Nikola Kopernik'in (Nikolaus Copernicus, 1473-1543) çalışmasıyla, Güneş etrafında gezegenlerin hareketi için heliosentrik teorisinin kurucusu dur birde tüm hareketlerin rölativitesini temelden yorumlamıştır. Johan Kepler (Johannes Kepler, 1571-1630), Mars gezegeninin hareketini gözetlediği sonuçlara göre gezegenlerin hareket kanunlarını tanımlamıştır. O kanunlara Kepler kanunları denir, bununla İsak Nefton'a (Isaac Newton, 1642-1727) temel gravitasyon kanununu tanımlamasını sağlamıştır.

Mekanikğin gelişmesi için önemi rol oynayanlardan biri Galileo Galilei (Galileo Galilei, 1564-1642) dir, dinamiğin ilk temel kanunu (eylemsizlik kanunu) kurmuştur. O çağdaş kinematiğin temellerini kurmuştur. Serbest düşme kanununu ve cisimlerin hareket kanunlarını (eğik açı üzere fırlatılan hava direncini gözününe bulundurmadan) ilk bulanlardan biridir. Hareketlerin tanımlanması için en büyük rolü İsak Nefton oynamıştır, klasik mekaniğin temellerini kurmuştur, bu kanunları kururken şu kavramları kullanmıştır zaman, cisimlerin birbirine etkisi, ortam ve zaman, birde üç temel kanunu (mekaniğin prensipleri). Bu prensipler "Doğa felsefesinin matematiksel prensipleri" adlı kitabında verilmiştir nerdeki Nefton üçünü birleştirmiştir, genişletmiştir ve mekaniğin çağdaş buluşlarını kurmuştur.

Mekanik XIX^{cu} yüzyılın sonlarına kadar fizikte ayrı dalları oluşturacak elektrisite ve manyetizmin bulunmasıyla gelişmiştir, bulunan bu dalların mekaniğin kanunları ile açıklanması imkansızmış. XX^{ci} yüzyılında Nefton'un (klasik) mekaniği yardımı ile atomlar ve nükleer sistemlerde (mikrokosmos) bulunan elektronların ve diğer temel parçacıkların hareketlerin hesaplanması yapılamamış. Bundan ötürü fizikte Danimarkalı fizikçisi Nils Bor (Niels Bohr, 1885-1962) tarafından **kuantum mekaniği** denen kurulmuştur.

Mekanik süpstairs ve alanın en basit hareket boyutlarını fizikte araştıran bölümdür.

2. Kinemati

Eski Yunan kelimesi *mehane* olan ve manası **makine** ismini almıştır. Hızları güneş ışıkları (300 000 km/s) hızından küçük olan makroskopik cisimlerin (çok sayıda molekülü ve atomu olan cisimler) hareketlerini araştıran bölüme **klasik mekanik** denir. Öyle cisimler Güneş sisteminin gezegenleri dir, ışık hızından küçük hızla hareket eden onların uyduları. Işık ışınların hızına benzer hızlarla hareket eden cisimlerin hareketi Nefton mekaniği ile açıklanmaz, büyük hızlarda kütlelenin hızla bağlı olduğu XX yüzyılda bulunmuştur, birde vakumda ışık hızı referans sisteminden bağımsız olmasından dolayı açıklanamaz. Bunun böyle olması **özel rölativite teorisinin** Albert Aynştayn tarafından 1905 yılında bulunması sağlandı. Özel teoriye dayanarak, daha sonraları genel rölatif teorisine de yeni mekanik **rölatif mekaniği** denen kurulur. Klasik mekaniğe göre cisimlerin hareket hızları sonsuz olabilir, rölatif mekaniğe göre cismin maksimum hareket hızı vakumdaki ışık ışığının hızı c kadar olabilir. Pratikte bu ulaşılamaz bir hızı oluşturur, bazı parçacıklar elektronlar gibi o hıza yakın bir hıza ulaşırlar. Kozmik ışınlarda protonların yakalandıkları hızları 10^{-10} m/s düzeyinde dir ve vakumdaki ışık hızından küçük tür.

Bizler bugün Nefton mekaniğini hala kullanırız çünkü etrafımızdaki olayları incelediğimiz zaman büyük kütleli ve düşük hızlı cisimler için sonuçlar büyük tamamlıkla elde edilir.

Mekanik maddenin en temel fiziksel özelliklerini araştırır, onlar da: hareket şekilleri, hareket hangi nedenlerden ötürü oluşmuştur, hangi şartlarda oluşmuştur, fakat süpstantın molekül yapıasını incelemeyiz. Mekaniğin temel öde-

vi cismin (cisimlerin) yerdurumunu her an ve her zaman belirlemektir.

Klasik mekanik üç kısmı kapsar: **kinematik** (hareket türlerini inceler); **dinamik** (cisimlerin hareketlerine kuvvetlerin etkisini inceler) ve **statik** (kuvvetlerin etkisi altında cisimlerin denge şartlarını belirler).

2.3. KİNEMATİK

Kinematik hareketi oluşturan nedenlere girmeden mekaniksel hareketleri araştıran mekaniğin bir bölümüdür. Kinematik eski yunanca **kinema** kelimesi **hareket** manasından kaynaklanır. Kinematiğin kurucusu Galileo Galiley sayılır ve serbest düşme ve eğik atışlı hareketler kanunlarını ilk olarak bulmuştur.

Kinematikte kanunları maddesel noktanın (boyutları gözününde alınmayan cisim) hareketini yorumlayarak tanımlayalım. Maddesel noktanın ortamdaki durumu diğer bir cisme (cisimlere) göre belirlenebilir ve şartlı o cisim hareket-siz olarak alınır. O tür cisme **referans cisim** denir.

Referans cismin seçimi ödevin incelenmesi şartlarına ve oradaki hareketin en basit açıklanmasına bağlıdır. Referans cisim koordinat sistemine bağlı ise buna **referans sistemi** denir. Referans cisme göre durumunu değiştiren cisme **hareketli cisim** denir. Cisimlerden bazıları referans cisme göre hareket ederler bazıları ise hareket etmezler. Bundan anlaşılır ki mekaniksel hareketler rölatif dirler. Örneğin, trende bulunan yolcular trene göre hareketsizdirler fakat tren durağına göre hareket ederler.

2. Kinemati

Maddesel nokta referans cisme göre durumunu değiştirdiği zaman hareket eder deriz. Demek ki, maddesel nokta zamana bağlı olarak başlangıç durumundan bitiş durumuna geçmesine **hareket** denir. Maddesel nokta zaman bağımlı hareket etmesi ortamdaki durumu sürekli değişir, bir noktadan diğer bir noktaya geçerek. Bu noktaları bağlayarak maddesel noktanın **yörünge**si (*yol çizgisi veya yol*) elde edilir. Maddesel noktanın yörünge

sinin şekli referans sisteme bağlıdır. Buna göre hareketler doğru çizgili ve eğri çizgili hareketlere ayrılır. Örneğin, lokomotif çektiği platform üzerine yolcu bulunur. Yolcu bir cisim serbest düşme yapması için onu serbest bırakır. Cisim platform üzerindeki yolcuya göre düz çizgili hareket yapar, toprakta duran bir izleyiciye göre cisim parabol şeklinde bir yörünge çizer. Örnekte referans sisteme göre cismin doğrusal hareketi, diğer bir referans sisteme göre eğri çizgili olabilir.

Maddesel noktanın durumu ortamda referans cisme göre ya da referans sisteme göre belirlirse, zaman da bir başlangıç zaman anına göre ölçülür. Bir referans sisteme göre maddesel noktanın durumu zamanın t her anında belirlenirse, maddesel noktanın hareketi bilinir demektir.

Maddesel noktanın ortamdaki başlangıç zaman anındaki durumuna **başlangıç durumu** denir. Ortamdaki hareketli maddesel noktanın durumları ve zamanı onun hareket kanununu belirler. Mekaniğin temel ödevi cisimlerin hareket kanunlarını araştırmaktır.

Kinematik hareket nedenlerine girmeden maddesel noktanın hareketini açıklar. Kinema-

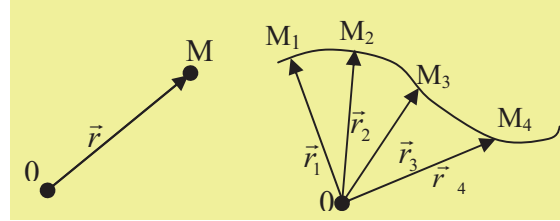
tikte maddesel noktanın hareketini açıklamak için şu kavramlar ele alınır: **yörünge (yol)**, **geçilen yol**, **yerdeğişimi**, **hız ve hızlama**.

Yerdeğişimi ortamda maddesel noktanın başlangıç ve bitiş durumunu bağlayan vektörü oluşturur, belli zaman aralığı Δt için. Yerdeğişimi vektörsel büyüklüktür.

Maddesel noktanın ortamdaki zamanın bir anındaki durumu hareketsiz bir noktaya göre vektör yardımı ile verilebilir. Bu vektöre **radius vektör** denir ve \vec{r} ile işaret edilir. Radius vektörü maddesel noktanın referans noktasını O ve maddesel noktasını M bağlayan yönlü doğru parçasını oluşturur. Ortamda maddesel noktanın yer durumu tamamen radius vektör \vec{r} ile belirlenir ve koordinat sistemin alınması gerekmez sadece referans cisim veya nokta (Şekil 1.)

Maddesel noktanın M hareket etmesiyle radius vektörü \vec{r} yönünü ve modülünü (Şekil 2.) değiştirir, daha doğrusu zamana t bağlıdır. Zamanın t_1 anında maddesel nokta M radius vektörü \vec{r}_1 ile belirlenmiştir, zamanın t_2 anında ise radius vektörü \vec{r}_2 ile belirlenir. O zaman maddesel noktanın hareketi şu denklemlerle verilir:

$$\vec{r} = \vec{r}(t) \quad (1)$$



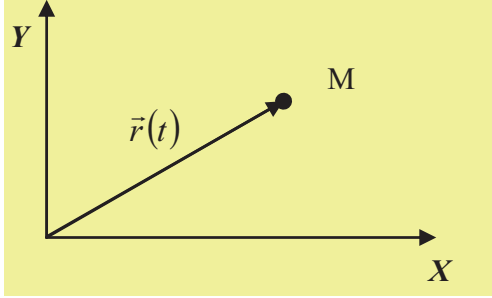
Şekil 1.

Şekil 2.

2. Kinemati

Eğer radyus vektörü \vec{r} koordinat sistemi ile bağlı bulunursa (Şekil 3.), o zaman şöyle tanımlanır:

$$\vec{r}(t) = \vec{i} \cdot x(t) + \vec{j} \cdot y(t) \quad (2)$$



Şekil 3.

Denklem (1) yardımı ile maddesel noktanın zamanın her anındaki durumu belirlenir, noktanın hareket kanununu belirler. Radyus vektörlerin \vec{r} kenarlarının geometriksel yerine **maddesel noktanın yörüngesi** denir ve onun hareket çizgisini oluşturur. Bundan dolayı denklem (1) maddesel nokta yörüngesinin vektörel denklemini oluşturur.

Hareketi tanımlayan temel büyüklükler: yerdeğişimi, hız ve hızlama (ivme).

a) Yerdeğişimi vektörü. Maddesel noktanın değişimi *yerdeğişimi* denen fiziksel büyüklükle açıklanır. Yerdeğişim vektörü maddesel noktası hareketinin aynı anda doğrultusunu ve yönünü gösterir ve başlangıcından bitiş durumuna yönlüdür. Maddesel M_1 noktasının zaman anında ki t durumu radyus vektörü $\vec{r}_1 = \vec{r}(t)$ ile belirlenmiştir. Küçük zaman aralığında (Δt) maddesel nokta M_2 durumuna ulaşır, ve radyus vektörü $\vec{r}_2 = \vec{r}(t + \Delta t)$ ile belirlenir. O zaman aralığı (Δt) için maddesel nokta M_1 yer durumundan M_2 yer durumuna geçmiştir. O zaman yerdeğişimi vektörü şöyle verilir:

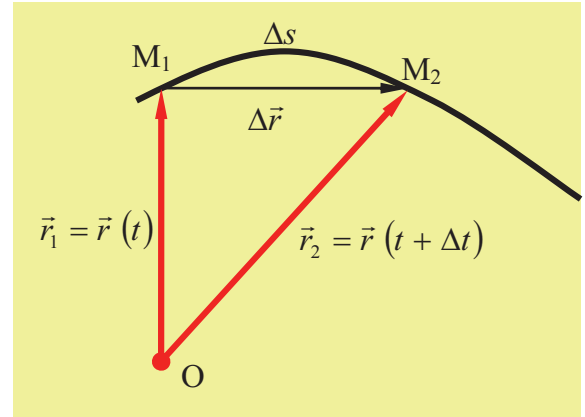
$$M_1M_2 = \Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1 = \vec{r}(t + \Delta t) - \vec{r}(t) \quad (3)$$

Yerdeğişimi modülü (vektör uzunluğu) maddesel noktanın başlangıcı ile bitiş noktaların en kısa mesafesine eşittir.

Yörünge uzunluğu üzerinde M_1 ile M_2 noktalar arası mesafeye *geçilen yol* Δs denir. Geçilen yol skaler bir büyüklüktür. Görüldüğü gibi yerdeğişim vektör modülü geçilen yoldan küçük veya eşittir:

$$\Delta r \leq \Delta s$$

Yerdeğişim vektörün yolu ve modülü (uzunluğu) çakışır, $\Delta s = |\Delta\vec{r}|$, sadece cisim doğru çizgi ve bir yönde hareket ederse. Tüm diğer olaylarda yerdeğişim modülü geçilen yoldan küçüktür. Yerdeğişim birimi metre m dir.



Şekil 4.

b) Hız vektörü. Farklı hareketlerin kıyaslanması için, büyüklük olarak *hız* alınmıştır. Yerdeğişim vektörü $\Delta\vec{r}$ ile zaman aralığı Δt oranına eşit olan büyüklüğe *ortalama hızı* denir, vektörel büyüklüktür \vec{v}_{sr} ile işaret edilir:

$$\vec{v}_{sr} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \frac{\vec{r}(t + \Delta t) - \vec{r}(t)}{\Delta t} \quad (4)$$

2. Kinemati

Ortalama hız vektörü yönü yerdeğişim vektörü $\Delta \vec{r}$ ile çakışan hız vektörü gibi belirlenir ve büyüklüğü şöyledir:

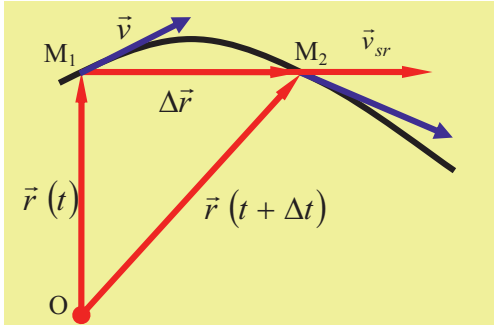
$$|\vec{v}_{sr}| = \frac{|\Delta \vec{r}|}{\Delta t} \quad (5)$$

Zamanın bir anında cismin ani hızını hesaplamak istersek, çok küçük bir zaman aralığı için ortalama hızı hesaplarız. Zaman aralığın küçülmesiyle ani hıza yavaşça ulaşırız. Zaman aralığı Δt sifira yaklaştığı şartlarda ani hızı \vec{v} tanımlarız:

$$\vec{v}(t) = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \quad (6)$$

Ani hız vektörün doğrultusu ve yönü maddesel noktanın yerdeğişim doğrultusu ve yönü ile çakışır.

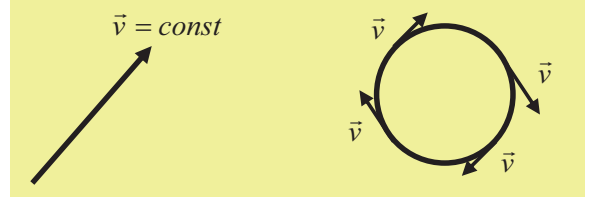
Ani hızı maddesel noktanın yörüngesindeki teğet ile aynı yönü vardır (Şekil 5.). Çünkü hız vektörel büyüklüktür, onun yönü yerdeğişimi temel vektörünün yönüyle eşittir, daha doğrusu yörüngenin verilen noktasında teğet yönünde.



Şekil 5.

Maddesel noktanın öyle hareketi, zamanla değişen hız vektörü *değişen* ya da *düzgün olmayan* hareket denir.

Eğer hareket düzgün doğrusal ise o zaman ani hızı hareketin her anında sabittir ve o düzgün hareketin hızına eşittir.



a

b

Şekil 6.

Düzgün doğrusal hareketlerde hız sabittir, düzgün olmayan hareketlerde ise değişen büyüklüktür ve zamanın farklı anlarda farklı değerleri vardır. Hız ölçü birimi m/s dir.

c) Hızlama. Maddesel noktanın hızı zamanla değişir ister büyüklük olarak ister yön olarak. Zaman biriminde hız değişmezse ($v = const$), o zaman hareket düzgündür deriz. Sabit hızıyla hareketi esnasında hız yönü değişmeyebilir ya da zamanla değişir. Eğer hızın yönü ve büyüklüğü değişmezse, o zaman *düzgün doğrusal hareket* yapılır (Şekil 6.a). Eğer hız büyüklüğü değişmezse, fakat hız vektörünün yönü değişir, o zaman *eğri çizgili hareket* vardır. Örneğin, maddesel noktanın çember üzerindeki hareketi hızlanan hareketi temsil eder (Şekil 6.b).

Eğer zaman biriminde hız değişirse, o zaman *hızlanan hareket* vardır. Çünkü maddesel noktanın düzgün olmayan hareketinde değişken büyüklüğü temsil eder, o değişimi açıklamak için yeni büyüklük olan *hızlama (ivme)* alınır. Hızlama hızın zaman biriminde değişimini ifade eder. Hız vektörün ve zaman aralığın değişimi oranına

Ortalama hızlama \vec{a}_{sr} denir, hareketin başlangıç anı $\vec{v}(t)$ ve bitiş anı $\vec{v}(t + \Delta t)$ olduğuna göre zaman aralığından Δt sonra:

2. Kinemati

$$\vec{a}_{sr} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}(t + \Delta t) - \vec{v}(t)}{\Delta t} \quad (7)$$

Eğer maddesel noktanın hızlamasını verilen anda belirlemek istersek o zaman, zaman aralığını küçük değer elde edeceğimize kadar sürekli küçütelim. O zaman maddesel noktanın ani hızlamasını Δt sifıra yaklaşan ortalama hızlamasının sınır değeri gibi tanımlanır. Hızlama ölçü birimi saniye karede metre m/s^2 dir.

2.4. MADDESEL NOKTANIN HAREKET KANUNU

Maddesel noktanın hareket kanununun genel şekli şöyledir:

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 \cdot t + \frac{\vec{a} \cdot t^2}{2} \quad (1)$$

Burada maddesel noktanın başlangıç durumu \vec{r}_0 dir, t zaman süresi sonrası bitiş durumu \vec{r} dir.

Maddesel noktanın hız vektörünün şekli şöyle tanımlanır:

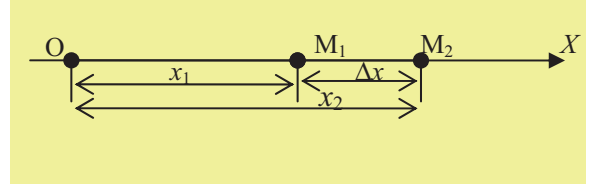
$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a} t \quad (2)$$

nerede \vec{v}_0 hareketin başlangıç hızıdır.

Maddesel noktanın bir boyutlu hareketini inceleyelim. Hareket doğrusaldır. Maddesel nokta eğer $t_1 = t$ zaman anında M_1 durumunda bulunursa, o zaman onun koordinatı $x_1 = x(t)$. Bir zamandan sonra $t_2 = t + \Delta t$, maddesel nokta M_2 durumuna geçmiştir, koordinatı ise $x_2 = x(t + \Delta t)$ dir (Şekil 2.).

Maddesel nokta Δt zaman aralığında şu mesafeyi geçmiştir:

$$\Delta x = x_2 - x_1 = x(t + \Delta t) - x(t) \quad (3)$$



Şekil 1.

Koordinatın büyümesi Δx zaman aralığındaki Δt oranına t ile $t + \Delta t$ noktaları arasında maddesel noktanın ortalama hızı denir. Tanıma göre, maddesel noktanın ortalama hızı:

$$v_{sr} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x(t + \Delta t) - x(t)}{\Delta t} \quad (4)$$

Hızın zamanla değişimi ortalama hızlama dir. Tanıma göre, şuna eşittir:

$$a_{sr} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v(t + \Delta t) - v(t)}{\Delta t} \quad (5)$$

Hızlaması sabit olan maddesel noktanın değişken hareketine *düzgün hızlanan hareket* ya da *düzgün değişen hareket* denir. Düzgün hızlanan hareketi olaylarında doğrusal hareketi en fazla rastlanır.

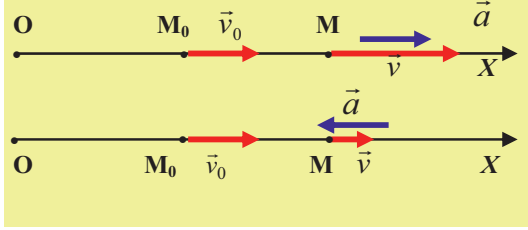
2.5. MADDESEL NOKTANIN BİRBOYUTLU HAREKETİ

Maddesel noktanın düzgün hızlanan ve doğrusal hareketi esnasında hız vektörü (anın hız) \vec{v} büyüklük olarak değişir. Maddesel noktanın x ekseninde başlangıç hızı \vec{v}_0 olan doğrusal hareketini alalım:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a} t \quad (1)$$

2. Kinemati

Çünkü tüm vektörler, $(\vec{v}, \vec{v}_0, \vec{a})$ aynı X eksenini üzerinde yatan doğruya bulunurlar, onlar koliner dirler ve izdüşümlerinin mutlak değerleri o vektörlerin büyüklüklerine eşittir. İzdüşüm işaretleri o vektörlerin yönüne bağlıdır (Şekil 1.)



Şekil 1.

Eğer başlangıç hızı \vec{v}_0 olan vektörün yönü ve hızlama (ivme) vektörünün yönü aynı ve X ekseninin pozitif yönü ile çakışırsa, o zaman maddesel noktanın hız modülü zaman biriminde büyür:

$$v = v_0 + a \cdot t \quad (2)$$

Diyelim ki hızlanır. Eğer hızlamanın \vec{a} yönü, başlangıç hızı \vec{v}_0 ile ters yönde ise, o zaman maddesel noktanın hız modülü zaman biriminde azalır:

$$v = v_0 - a \cdot t \quad (3)$$

Maddesel nokta yavaşlar veya durur. Demek, doğru çizgi üzerinde düzgün değişen hareketler hızlanır ve yavaşlar gibi ayrılırlar. Mekanikte her doğrusal düzgün olmayan harekete hızlanan denilir. Yavaşlayan hareket hızlanan hareketten alınan koordinat eksenini üzerindeki hızlama vektörü izdüşümünden farklıdır.

X eksenini üzerinde yerdeğişimi vektörün izdüşümü:

$$\Delta \vec{r} = \vec{v}_0 \cdot t + \frac{\vec{a} \cdot t^2}{2}$$

$$\Delta x = x - x_0 = v_0 t + \frac{a t^2}{2} \quad (4)$$

Maddesel noktanın t zaman anında x koordinatı denklemini şöyledir:

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{a t^2}{2} \quad (5)$$

$t_0 = 0$ zaman anında x_0 cismin koordinatıdır.

Maddesel nokta düzgün doğrusal harekette sabit hızla $\vec{v} = \text{sabit}$ hareket eder, $\vec{a} = 0$, o zaman yerdeğişimi vektörü Δr şöyle belirlenir:

$$\Delta \vec{r} = \vec{v} \cdot t \quad (6)$$

onun x eksenine izdüşümü

$$\Delta r_x = x = v \cdot t \quad (7)$$

t zaman anında maddesel noktanın x koordinatı şöyle belirlenir:

$$x = x_0 + v_0 t \quad (8)$$

nerede $t_0 = 0$ zaman anında maddesel noktanın x_0 koordinatıdır.

Sonuç: Sabit hızlama hareketi esansında şu denklemler uygulanır:

$$\Delta x = v_0 t + \frac{a t^2}{2} \quad (9)$$

$$v = v_0 + a t \quad (10)$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (11)$$

Hızlama değişirse önceki denklemler geçerli değildir.

Düzgün doğrusal hızlanan hareket için özel olay düşey (dikey) yönde yapılan hareket sayılır (**serbest düşme ya da dikey atış**).

2. Kinemati

2.6. SERBES DÜŞME. DİKEY ATIŞ

Serbest düşme kavramını ilk olarak Galileo Galilei kullanmıştır. Onun deneyleri tüm cisimler serbest düşme yaptıkları bilgisine ulaştırdı. Galilei deneylerini Pizza şehrindeki Eğik Kule'den farklı kütleli cisimleri salarak gerçekleştirmiştir. Serbest bırakılan cisim Yerküre'nin gravitasyonundan (ağırlık kuvveti) ötürü hareket eder. Bu cismin hareketi dünyanın merkezine doğru yönlüdür. Daha sonraları Galilei'nin buluşlarını Nefton alıp kendi hareket kanunlarını tanımlamıştır.

Bu tür bir boyutlu hareketlerde eksen olarak y eksenini alırız, yönü ise ödevin şartlarında bağlıdır yukarıya ya da aşağıya yönlüdür. Hızlama \vec{a} Yerküre'nin hızlamasına eşittir, $\vec{a} = \vec{g}$.

Ay'daki hızlama daha zayıftır, Yerkürenin her yerinde de aynı değildir.

Yerçekimi hızlamasının değeri yere göre değişir. 45° coğrafi genişliğinde 9,81 m/s² dir, kutuplarda 9,83 m/s² dir, ekvatorda sıfır deniz üstü yükseklikte 9,78 m/s², birde 6000 m deniz üstü yükseklikte 9,76 m/s² dir. Yerçekimi hızlamasına etki eden büyüklükler coğrafi genişliği ve deniz üstü yüksekliği dir.

Düzgün doğrusal hızlanan hareketin dikey yöndeki yerdeğişim vektörü $\Delta\vec{r}$ ve hızı \vec{v} şu denklemlerle verilir:

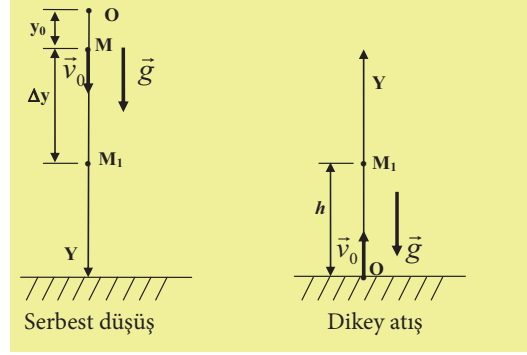
$$\Delta\vec{r} = \vec{r} - \vec{r}_0 = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{g} t^2}{2} \quad (1)$$

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g} t \quad (2)$$

Y eksenine izdüşümleri ise:

$$v_y = v_{0,y} \pm g \cdot t \quad (3)$$

$$\Delta r_y = \Delta y = y - y_0 = v_{0,y} t \pm \frac{g t^2}{2} \quad (4)$$



Şekil 4.

\pm işaretleri, + işareti serbest düşmeyi ve - işareti ise dikey atışı gösterir. Eğer cisim başlangıç hızı $\vec{v}_0 = 0$ olmadan düşerse, geçilen yol şöyledir:

$$y = y_0 + \frac{g t^2}{2}, \quad \Delta y = \frac{g t^2}{2} \quad (5)$$

SORULAR, ÖDEVLER, ETKİNLİKLER

1. Otomobil dururken hızlanır, hızlaması sabittir ve 5,21 s zaman süresinde 110 m geçer. Otomobilin hızlaması belirlensin.

(Cevap. 8,1 m/s²).

2. Mühendis hava alanında pist inşa ediyor. İniş yapan uçakların minimum hızlaması 3 m/s² v'tür. Uçağın havalanması için gereken hız 65 km/h dir. Pistin uzunluğu ne kadar olması gerekir gereken hızlamaya ulaşılın? (Cevap. 704 m).

3. Kangur 2,62 m yüksekliğe kadar sıçrayabilir. O yüksekliğe ulaşması için başlangıç hızı ne kadar olması gerekir?

(Cevap. 7,17 m/s²).

4. Çocuk trampolin üzerine sürekli sıçramaktadır. İşaretleri ve hızlama büyüklüğünü tanımla, havada bulunduğu an ve ayakları ile trampolin üzerinde bulunduğu anı.

2. Kinemati

5. Eğer ki hız yönünü değiştirirse cismin sabit hızlaması olabilir mi?
6. Eğer hızlaması azalırsa cismin pozitif ve yükseleme hızı olabilir mi?
7. Hızlanmış kamyonun yolundan yaşlı bir kadını kurtarmayı deniyorsunuz. Hızlamasını hızlandırabilirsiniz 20 m/s² değerinde. Eğer yaşlı kadın başlangıçta durursa, 2m yerdeğişimi yapması için ne kadar zaman gerekir? (Cevap. ~ 0,45 s).

2.7 MADDESEL NOKTANIN İKİBOYUTLU HAREKETİ

Maddesel nokta düzlemde hareket ederken, cismin hareketini hareket denkleminin $\vec{r} = \vec{r}(t)$ x ve y eksenlerine izdüşümleri ile tanımlarız:

$$x = x(t) \quad y = y(t) \quad (1)$$

Böyle iki boyutlu harekette, hızın iki bileşeni olacak v_x ve v_y

$$v_x(t) = \frac{\Delta x(t)}{\Delta t} \quad v_y(t) = \frac{\Delta y(t)}{\Delta t}$$

onun değeri ise şu denklemlerle belirlenir:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad (2)$$

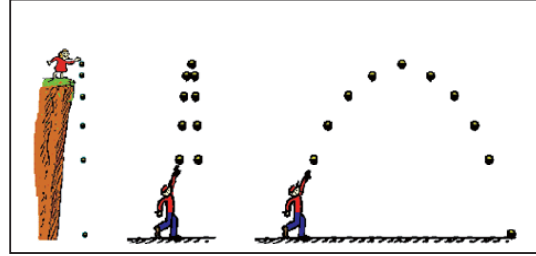
Maddesel noktanın düzlemde hızlaması:

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} \quad (3)$$

Bileşenleri ise:

$$a_x(t) = \frac{\Delta v_x(t)}{\Delta t} \quad a_y(t) = \frac{\Delta v_y(t)}{\Delta t} \quad (4)$$

İkiboyutlu hareketlerde maddesel noktanın eğri çizgili hareketi yatay ve eğik atış gibi yorumlanır.

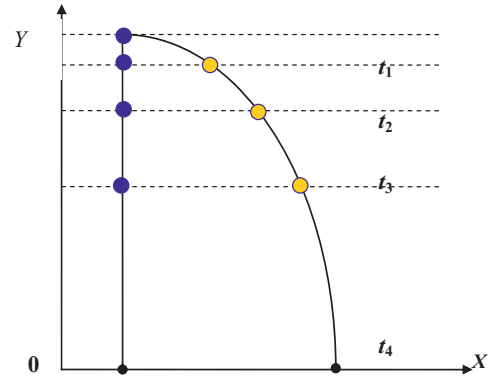


Şekil 1. Serbest düşme, dikey atış ve eğik atış

2.8. YATAY VE EĞİK ATIŞI

Yatay yönde fırlatılan cismin hareketine yatay atışı denir.

İki top alınırsa birini başlangıç hızıyla belli yükseklikten yatay fırlatırsak, ikincisini ise aynı yükseklikten serbest düşme yapması için bırakırsak, her iki top aynı anda yere düşerler. Yukarıdan bakılırsa yatay yönde fırlatılan top x ekseninde yerdeğişimi yapmıştır, ikinci top ise yatay yönde yerdeğişimi yapmamıştır.



Şekil 1.

2. Kinemati

Bir cisim h yükseklikte \vec{v}_0 başlangıç hızıyla yatay yönde fırlatılmıştır. Ortamın yaptığı direnç deney esnasında göz önünde alınmaz. Koordinat sistemi alınır ve 0 noktası toprak üzerinde bulunur, X eksenin yönü ve başlangıç hızın \vec{v}_0 yönü aynıdır. Yerçekimi hızlaması vektörünün \vec{g} yönü aşağıya dikey dir. Hız ve yerdeğişimi vektörel denklemleri:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g} t \quad (1)$$

$$\Delta \vec{r} = \vec{r} - \vec{r}_0 = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{g} t^2}{2} \quad (2)$$

Onların X eksenine ve Y eksenine izdüşümleri:

$$v_x = v_{0x} + g_x t = v_0 \quad (3)$$

$(g_x = 0 ; v_x = v_{0x} = v_0)$

$$\Delta r_x = v_{0x} t + \frac{g_x t^2}{2} \quad (4)$$

$$\Delta r_x = v_{0x} t = v_0 t \quad (5)$$

$$v_y = v_{0y} + g_y t = -gt \quad (6)$$

$(v_{0y} = 0, g_y = -g)$

$$\Delta r_y = v_{0y} t + \frac{g_y t^2}{2} = -\frac{g t^2}{2} \quad (7)$$

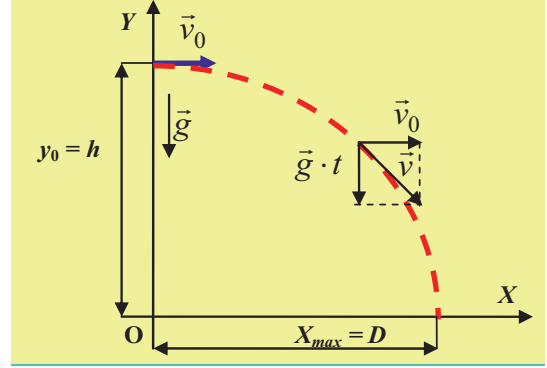
Hareket denklemleri koordinat biçimde şöyledir:

$$\Delta x = x - x_0 = v_0 t ; \quad (8)$$

$$\Delta y = y - y_0 = \frac{g \cdot t^2}{2} \quad (9)$$

Çünkü $y_0 = h, x_0 = 0$, şöyle yazılabilir:

$$x = v_0 t ; \quad y = h - \frac{g \cdot t^2}{2} \quad (10)$$



Şekil 2.

Her iki denklem cismin hareket kanununun koordinat şeklini temsil eder. Hızın bileşenleri şöyledir:

$$v_x = v_0 ; \quad v_y = -gt$$

Toplam hız şöyle belirlenir:

$$v = \sqrt{v_0^2 + (-gt)^2} \quad (11)$$

Yörünge denklemini $y = y(t)$ bulmamız için hareket denklemlerinden zamanın sadeleşmesi gerekir. Birinci denklemden $(x = v_0 \cdot t)$ zamanı buluruz ve denklem (10)'da değiştiririz:

$$t = \frac{x}{v_0} ;$$

$$y = y_0 - \frac{g}{2} \cdot \left(\frac{x}{v_0} \right)^2 = ;$$

$$= y_0 - \frac{g}{2v_0^2} \cdot x^2 ; \quad (12)$$

Yatay yönde h yükseklikten fırlatılan cismin yörüngesi **parabolik** tir.

Yatay yönde cismin ulaşacağı yatay uzaklığa yatay menzili denir.

$$x_{max} = D$$

2. Kinemati

$x_{max}=D$ ulaşılması için şart $y=0$ (y eksenini sıfıra eşit olmalıdır) olmalıdır.

$$y = h - \frac{g \cdot t^2}{2} = 0 ; h = \frac{g \cdot t^2}{2} ,$$

$$\Rightarrow t = \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (13)$$

$$x_{max} = D = v_0 t =$$

$$= v_0 \cdot \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2h v_0^2}{g}} \quad (14)$$

Eğik atışı. Cisim hareketine x eksenine göre belli açı üzere ve belli başlangıç hızıyla \vec{v}_0 fırlatılmasına *eğik atış* denir. Eğik atışı yapan bir cisim inceleyelim ve onun hareket kanununu koordinat şeklinde bulalım, yörünge denklemi $y = y(t)$, maksimum dikey menzile ulaşması için zaman t_1 , maksimum dikey menzili $y = y_{max}$, maksimum yatay menzile $x = x_{max}$ ulaşması için zaman t_2 .

Cismin hareket ve hız denklemleri şu şekilde verilmiştir:

$$\Delta \vec{r} = \vec{r} - \vec{r}_0 = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{g} t^2}{2}$$

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g} t$$

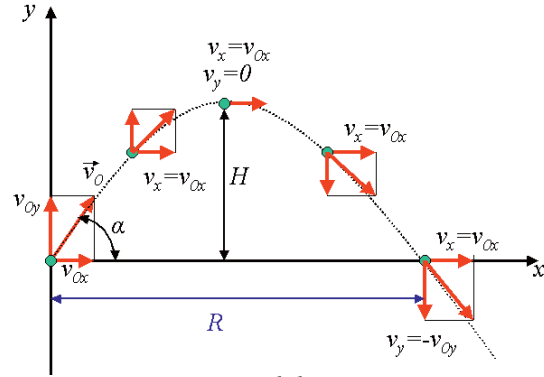
Koordinat sistemi XOY kurulsun, koordinat sisteminin başlangıcı 0 cismin fırlatıldığı yerden bulunsun, Şekil 3'te olduğu gibi.

X eksenindeki izdüşümü:

$$\Delta r_x = v_{0x} t + \frac{g_x t^2}{2} = v_{0x} t \quad (15)$$

çünkü $g_x = 0$;

$$v_x = v_{0x} \quad (16)$$



Şekil 13.

Y eksenindeki izdüşümü:

$$\Delta r_y = v_{0y} t + \frac{g_y t^2}{2}$$

$$\Delta r_y = v_{0y} t - \frac{g t^2}{2} \quad (17)$$

Çünkü $g_y = g$;

$$v_y = v_{0y} - g t \quad (18)$$

Yerdeğişimi vektörünün izdüşümleri denklemleri koordinat eksenlerinde:

$$\Delta r_x = \Delta x = v_{0x} \cdot t ;$$

$$\Delta r_y = \Delta y = v_{0y} \cdot t - \frac{g \cdot t^2}{2}$$

Şekil 3'ten şunları elde ederiz:

$$v_{0x} = v_0 \cos \alpha ; \quad v_{0y} = v_0 \sin \alpha ;$$

$$v_x = v_0 \cos \alpha ; \quad v_y = v_0 \sin \alpha \pm g t$$

Uygun değişmelerden sonra yerdeğişimi vektörünün izdüşümleri:

$$\Delta r_x = \Delta x = x - x_0 = v_0 \cos \alpha \cdot t ;$$

$$\Delta r_y = \Delta y = y - y_0 = v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{g \cdot t^2}{2}$$

Verilen olayda $x_0 = 0$ ve $y_0 = 0$ alınır. Bundan dolayı x ve y koordinatları için şunu elde ederiz:

2. Kinemati

$$x = v_0 \cos \alpha \cdot t ; \quad (19)$$

$$y = v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{g \cdot t^2}{2} \quad (20)$$

Bu iki denklem fırlatılan cismin hareket kanununu temsil eder, \vec{v}_0 başlangıç hızıdır ve α açısı x eksenine göre yapıldığı açıdır.

Yörünge denklemini bulmak için zamanın sadeleştirilmesi her iki denklemden gerekir.

$$t = \frac{x}{v_0 \cos \alpha} ;$$

$$y = v_0 \sin \alpha \cdot \frac{x}{v_0 \cos \alpha} - \frac{g \cdot \left(\frac{x}{v_0 \cos \alpha} \right)^2}{2}$$

$$y = x \cdot \operatorname{tg} \alpha - \frac{g \cdot x^2}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha} \quad (21)$$

Elde edilen son eşitlik maddesel noktanın yörünge denklemini temsil eder. Demek ki t_1 zamanında y_{\max} maksimum dikey menzili $v_y = 0$ olunca elde edilir. Çünkü y eksenindeki hız bileşeni

$$v_y = v_0 \sin \alpha - g t ,$$

$$y = 0 \text{ olduğu zaman elde edilir: } t_1 = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$$

$$y_{\max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{g} - \frac{1}{2} \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{g}$$

$$y_{\max} = \frac{1}{2} \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{g} \quad (22)$$

Cisim en büyük yüksekliğe ulaşacak eğer ki $\sin \alpha = 1$ şartı gerçekleşirse veya $\alpha = 90^\circ$ olursa, öyle bir durumda cisim yukarıya doğru fırlatılır demektir.

Maksimum yatay menzili $x_{\max} = D$ elde etmek için $y = 0$ şart olarak yörünge denkleminde alınır ve t_2 zamanı tanımlanır:

$$v_0 \sin \alpha \cdot t_2 - \frac{g \cdot t_2^2}{2} = 0$$

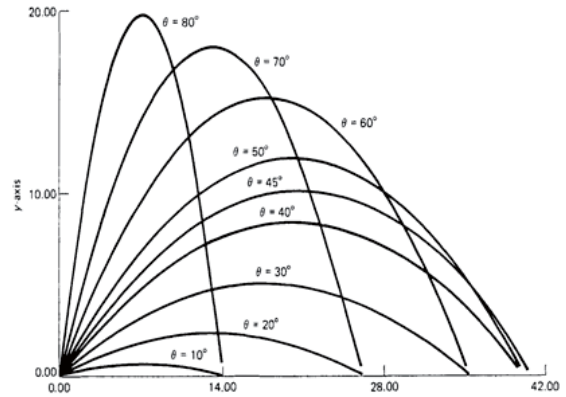
$$v_0 \sin \alpha \cdot t_2 = \frac{g \cdot t_2^2}{2} \Rightarrow$$

$$t_2 = \frac{2 v_0 \sin \alpha}{g} = 2 t_1$$

$$x_{\max} = v_0 \cos \alpha \cdot t_2$$

$$x_{\max} = \frac{2 v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g}$$

$$x_{\max} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} \quad (23)$$



Şekil 1.33. Farklı açılarda eğik atışları.

Şekilden görüldüğü gibi maksimum menzili $\sin 2\alpha = 1$, $\alpha = 45^\circ$ değerleri esnasında gerçekleşir.

Örnek 1. Cisim yatay yönde $v_0 = 3,50 \text{ m/s}$ başlangıç hızıyla, $h = 4,00 \text{ m}$ yükseklikten fırlatılır. Havanın direnci ele alınmazsa, a) cisim yere düşeceği zaman hesaplanırsın, b) yatay menzili, c) toprağa hangi hızla vurması gerekir hesaplanırsın ve d)

2. Kinemati

eğer cisim aynı yükseklikten yatay olarak fırlatılırsa, uçuş zamanı ne kadar dır?

Çözüm: a) geçilen yol denkleminde y'da yükseklik sıfır alınır. Bundan uçuş zamanını buluruz.

$$y = y_0 + v_0 t - \frac{g \cdot t^2}{2}$$

$$0 = 4,00 - \frac{9,81 t^2}{2}$$

$$t^2 = 2 \cdot 4,00 / 9,81 = 0,815 s^2$$

$$t = 0,903 s$$

b) yatay menzili hızın yatay bileşeninden elde edilir

$$x = v_0 \cos \alpha \cdot t = 3,50 \cdot 0,903 = 3,45 \text{ m}$$

c) ismin yere vurması gerektiği hız iki bileşenden elde edilir:

$$v_x = v_{0x} + a_x t = v_{0x} = 3,50 \text{ m/s}$$

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + g^2 t^2}$$

$$= \sqrt{(3,5)^2 + (9,81 \cdot 0,903)^2} = 9,53 \text{ m/s}$$

d) Eğer cisim iki katı kadar hızla fırlatılırsa, zaman başlangıç hızına bağlı değildir.

Örnek 2. Futbol oyuncusu topu yatay ekseninden 37° açı üzere 25 m/s başlangıç hızıyla fırlatır. Başlangıç hızın yatay ve dikey bileşenleri bulunsun; hızın büyüklüğü ve yönü bulunsun; yüksekliği ve $1,5 \text{ s}$ sonra yatay uzunluğu bulunsun.

a) $v_{0x} = v_0 \cos \alpha = 20 \text{ m/s}$; $v_{0y} = v_0 \sin \alpha = 15 \text{ m/s}$

b)

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 - 2v_0 g t \sin \alpha + g^2 t^2}$$

$$v = \sqrt{(20)^2 + (0)^2} = 20 \text{ m/s}$$

$$\text{tg} \alpha = \frac{0}{20} = 0, \quad \alpha = 0$$

c) $y_{1,5} = v_0 t - \frac{g \cdot t^2}{2} =$

$$15,0 \cdot 1,5 - \frac{9,81 \cdot 1,5}{2} = 11,3 \text{ m}$$

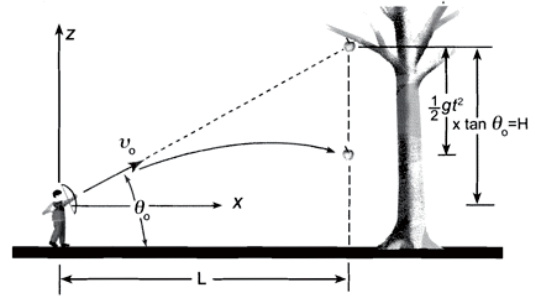
$$x_{1,5} = v_{0x} t = 20 \cdot 1,5 = 30 \text{ m};$$

Örnek 3. Ağaçtan düşme anında bir elmaya ok fırlatılır. Okun yönü nasıl olması gerekir ki elmaya vursun?

Çözüm: Elmanın ve okun hareket denklemleri yazılır.

$$x_j = L; \quad z_j = H - \frac{g \cdot t^2}{2}$$

$$x_s = v_{0x} T; \quad z_s = v_{0z} t - \frac{g \cdot T^2}{2}$$



Şekil. Elmaya çarpan ok yörüngesi

Çarpışma anında, $t=T$ olması gerekir

$$L = v_{0x} T \rightarrow T = \frac{L}{v_{0x}}$$

$$v_{0z} t - \frac{g \cdot t^2}{2} = H - \frac{g \cdot t^2}{2}$$

$$v_{0z} \frac{L}{v_{0x}} = H \quad \frac{v_{0z}}{v_{0x}} = \frac{H}{L}$$

SORULAR, ÖDEVLER, ETKİNLİKLER

1. Kayadan yatay yönde fırlatılan taş 3 s sonra 40 m uzaklıkta düşer. Kayalık ne kadar yüksektir? (Cevap. $44,1 \text{ m}$).

2. Uçak 300 m yükseklikte bulunurken yatay yönde roket 120 m/s başlangıç hızıyla fırlatılır. Roket hangi hızla hareket eder; havada ne kadar zaman kalacaktır; maksimum menzili ne kadar dır ve hızın dikey bileşeni ne kadar dır?

2. Kinemati

3. Küçük çocuk topu duvara 25,3 m/s başlangıç hızıyla ve 43° açı üzere fırlatır. Duvar 21,8 m uzaklıkta bulunur. Top duvara ne kadar zaman sonra vurur? Hangi yükseklikte vuracak? Duvara vurunca hızın bileşenleri ne kadar dır? Yörünge- nin en yüksek noktasına ulaşılmış mıdır? (Cevap. 1,16 s; 13,0 m; 18,8 m/s; 5,55 m/s).

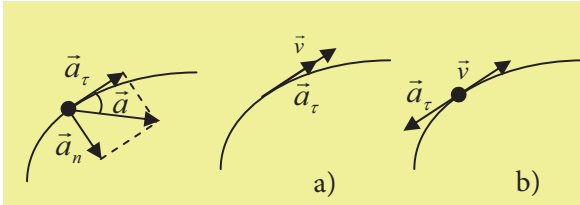
2.9. MADDESEL NOKTANIN EĞİK ÇİZGİLİ HAREKETİ

Maddesel noktanın herhangi bir düzlemde eğri çizgili hareketini gözetleyelim (Şekil 1.) Bu yörünge ve hareket denklemi ile tanımlanır. Maddesel noktanın hızı yörünge- nin her noktasında teğet yönünü izler. Teğet normalini vektör normali \vec{n} gibi tanımlarız.

Hızlama vektörel bileşenleri toplamından elde edilir, öyle ki birisi cisim yörüngesinin teğet yönünde dir, diğeri ise cisim yörüngesine normal dir ve onun merkezine doğru yönlüdür.

$$\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n \quad (1)$$

Birinci hızlama \vec{a}_τ gibi açıklanır ve buna *teğet hızlaması* denir. İkinci hızlama yörüngeye normal gelir ve onun merkezine doğru yönlüdür ve buna *normal (merkezcil) hızlama* denir.



Şekil 1.

Şekil 2.

Teğet hızlamanın büyüklüğünü zaman birimindeki hız büyüklüğü verir:

$$|\vec{a}_\tau| = \left| \frac{\Delta v}{\Delta t} \right| \quad (2)$$

Eğer $\frac{\Delta v}{\Delta t} > 0$, hız büyüklüğü büyür, \vec{a}_τ vektörü ise hızla \vec{v} aynı yöndedir (Şekil 2.a). Eğer $\frac{\Delta v}{\Delta t} < 0$, hız büyüklüğü zayıflar, \vec{a}_τ ve \vec{v} vektörleri ise birbirlerine ters yönde bulunurlar (Şekil 2.b.). Hız vektörün yön değişimi cisim yörünge- sinin şekline bağlıdır. Cismin düzgün hareketin- de hızın değişimi modül olarak sıfır dır ($\frac{\Delta v}{\Delta t} = 0$) aynen teğet hızlaması da sıfır dır $\vec{a}_\tau = 0$. Cisim bir eğri üzerinde sabit hızla hareket ederse o zaman normal (merkezcil) hızlaması vardır:

$$a_n = \frac{v^2}{R} \quad (3)$$

Normal (merkezcil) hızlamanın büyüklüğü hız vektörünün değişimini yön ve doğrultu bakımından nitelendirir.

Hızlama büyüklüğü şu denklemle belirlenir:

$$\begin{aligned} a &= \vec{a}^2 = \sqrt{\vec{a}_\tau^2 + \vec{a}_n^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{\Delta v}{\Delta t}\right)^2 + \frac{v^2}{R}} \end{aligned} \quad (4)$$

onun yönü ise α açısı ile belirlenir, bu açı hızlama ve yörünge- nin teğeti arasındaki açı dır (Şekil 1):

$$\text{tg } \alpha = \frac{a_n}{a_\tau} \quad (5)$$

2. Kinemati

2.10. MADDESEL NOKTANIN DAİRESEL HAREKETİ

Eğri çizgili hareketlerin en basit hareketini dairesel hareketi oluşturur.

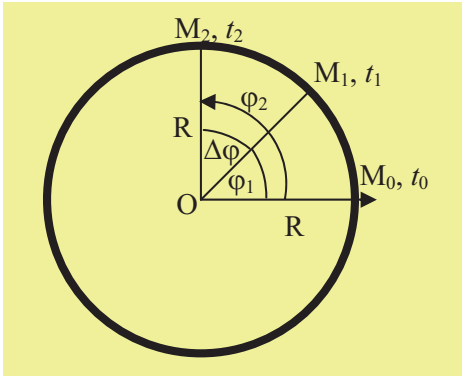
Dairesel hareketi yapan cismin durumu her zaman φ açısı ile belirlenir. φ açısının zamana bağlılığı şöyle verilir:

$$\varphi = \varphi(t) \quad (1)$$

ve cismin verilen daire üzerinde hareket kanununu oluşturur. Eğri çizgili hareketlerde açısal yerdeğişimin ya da dönme açısının ölçü birimi *radyan* (*rad*) dır.

Dairesel hareketi yapan cismin temel açısal özellikleri: açısal yerdeğişimi (dönme açısı) φ , açısal hızı ω ve açısal hızlaması ε .

Belli zaman aralığında Δt cisim küçük açı $\Delta\varphi$ kadar döner (Şekil 1.).



Şekil 1.

Dönme açısının değişimi $\Delta\varphi$ ve zaman aralığı Δt oranına *ortalama açısal hızı* φ_{sr} denir:

$$\omega_{sr} = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \quad (2)$$

Açısal hız ölçü birimi *rad/s* dir.

Ani açısal hızı ω ortalama açısal hız vektörünün sınır değeri gibi tanımlanır, zaman aralığını küçük değerlere azaltarak ya da Δt sıfıra yaklaşıarak.

Maddesel noktanın dönme hızının değişmesiyle (o zaman büyüklük olarak değişir) açısal hızı ω değişir ya da ortamda dönme ekseninin dönmesi nedeniyle (o zaman yön olarak değişir). Belli zaman aralığında Δt açısal hız değişimi $\Delta\omega$ alınsın. Cismin hareketi esnasında açısal hız değişimi daire üzerinde açısal hızlaması ε ile nitelenir. Açısal hız değişimi $\Delta\omega$ ve zaman aralığı Δt oranına *ortalama açısal hızlaması* denir ε_{sr} :

$$\varepsilon_{sr} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (3)$$

Açısal hızlaması ölçü birimi *rad/s²* dir.

Verilen zaman anında t açısal hızlamasına ε_{sr} 'e yaklaşan büyüklük denir Δt sıfıra yaklaştığı zaman.

Eğer açısal hızlaması sabitse $\varepsilon = \text{sabit}$ o zaman maddesel noktanın daire üzerindeki hareketi *düzgün hızlanan* dır. Ondan düzgün hızlanan kanunu $\varphi = \varphi(t)$ bulunabilir. Eğer başlangıç açısı $\varphi = \varphi_0$ ve başlangıç hızı $\varphi = \varphi_0$ alınırsa, o zaman:

$$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2} \quad (4)$$

Açısal hızı şöyledir:

$$\omega = \omega_0 + \varepsilon t \quad (5)$$

2. Kinemati

Burada dönme açısına da uygun denklem verebiliriz başlangıç ve bitiş açısal hızından kaynaklanarak:

$$\varphi = \frac{\omega_2 + \omega_1}{2} t \quad (6)$$

$t = 0$ için $\varphi_0 = 0$ dır. Açısal hızı sabitse, $\varepsilon = 0$, maddesel noktanın daire üzerindeki hareketi *düzgün harekettir*. Bununla ilgili elde edilen denklemler:

$$\omega = \omega_0 = \text{const}; \quad (7)$$

$$\varphi = \omega_0 t \quad (8)$$

Eğer açısal hızı ve açısal hızlaması denklem (5) aynı işaretlere sahipler o zaman dönme hızlanan dır, açısal hızın ve açısal hızlamanın yönleri ters bulunursalar o zaman dönme düzgün yavaşlayan dır.

Maddesel noktanın dairesel üzerindeki sabit açısal hızlı hareketine *düzgün dönüşü* denir. Maddesel noktanın bir kez dönmesi için zaman süresine *periyot* (T) denir. Periyotun zamansal boyutu vardır ve ölçü birimi *saniye s* dir. Bazen ω 'ya *dairesel frekansı* denir. Dairesel frekansı ve periyot bağıllığı denklemi:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (9)$$

2π tam açıyı maddesel nokta bir kez dönmesiyle oluşturur ya da bir periyot. Bu açı 360° dönme açısına uygundur ya da tam açıyı 2π rad. Bundan dolayı açısal hız birimi rad/s dir. Zaman birimindeki dönme sayısına *frekans f* denir ve denklemi şöyledir:

$$f = \frac{1}{T} \quad (10)$$

Dairesel frekans ω ve frekans f bağıllığı:

$$\omega = 2\pi f \quad (11)$$

SI sisteme göre frekans birimi (s^{-1}) dir.

Örnek 1. Dakikada 300 dönüş yapan otomobilin 10 s zamanda süresinde hızlaması 20 rad/s kalır. Bulunsun:

a) 10 s zaman süresi için dönme açısı

b) toplam dönme sayısı.

Çözüm: Saniyede dönme sayısını tanımlayalım:

$$\omega_1 = \frac{300}{60} \cdot 2\pi = 31,42 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Açı hesaplınsın

$$\varphi = \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2} =$$

$$31,4210 + \frac{20}{2}10 = 1,314\text{rad}$$

$$\varphi = \frac{1,314}{2\pi} = 209,1 \text{ dönüş}$$

SORULAR, ÖDEVLER, ETKİNLİKLER

1. Uçağın motörü çalışırken dakikada 300 dönüş yapar, anide hızlanır. Üçüncü saniyenin sonunda dakikada 2400 dönüş hızı yakalar. Eğer hızlama sabitse, hesaplınsın:

a) ortalama açısal hız vektörü; b) toplam dönme açısı. (Cevap. 141,1 rad/s; 424,2 rad).

2. Otomobil motoru dakikada 120 dönme ile çalışır. Sabit hızlama altında 4 s zaman süresinde dakikada 3600 dönme hızı yakalar. Bulunsun: a) açısal hızlamasını; b) 4 s zaman süresi için toplam dönme açısını.

Aşağıdaki her kavramın önemi açıklansın.

- | | |
|--------------------|----------------------|
| - yerdeğişimi | - açısal yolu |
| - ortalama hızı | - açısal hızı |
| - ani hızı | - ani hızlaması |
| - ortalama hızlama | - teğet hızlaması |
| - serbest düşme | - periyot |
| - dikey atışı | - merkezci hızlaması |
| - yatay atışı | - frekans |
| - eğik atışı | - dairesel frekansı |

3. Dinamik

3. DİNAMİK

İnsanlar çoğu İsak Nefton'u gravitasyon hakkında yaptığı icadından ötürü tanımaktadırlar, elma ağacından elmanın düşmesinden esinlenerek icat etmiştir. Nefton fiziksel ortamda yeni kanunların kurulması için sorumluluğu da taşır, onları ifade eden prensipleri ve cisimlerin hareket nedenlerini. Bu prensipler onun hareket kanunları oluşturur fakat Galileo Galiley, Nikola Kopernik ve Yohanes Kepler tarafından kurulmuştur. Nefton bunu şöyle ifade etmiştir: *Diğer insanlardan daha uzağı gördüğüm, çünkü cinlerin omuzlarında durduğum.* Cinlerin omuzlarında durmasıyla, kendisinden önceki ünlü ilim adamlarını Galileo Galiley'i kastetmiştir.

Nefton'un buluşlarından dolayı insanlar bugün Ay üzerinde ve müthiş eğlenceli parklar üzerinde adım atmaktadırlar.

Hareket kanunlarının nedenlerini araştıran mekaniğin kısmına *dinamik* denir. Dinamiğin temel ödevi kuvvetlerin ve hareketin arasındaki temel kanunlarını bulmasıdır. Kütle ve kuvvet temel dinamik kavramlarını ortaya koyarak kinematikte kurulan denklemler *dinamiksel* gibi tanınırlar.

İsak Nefton dinamiği kuranlardan biri sayılır. Kütle ve kuvvet kavramlarını ortaya alarak hareketleri belirleyen temel prensipleri kurmuştur. Asıl bu prensiplerin kurulması için temelleri Galiley atmıştır. Bu prensiplere "Nefton'un hareket kanunları" denir. Makroskopik cisimler ışık hızından küçük hızla hareket etmeleri şartlarda, Nefton'un mekaniği büyük bir tamamlıkla tazdiklanır ve bizler onu her günkü hayatta uygularız.

Nefton'un üç temel kanunu gözden geçirelim.

3.1. BİRİNCİ NEFTON KANUNU. EYLEMSİZLİK KANUNU

Bu kanun otobüsün aniden durmasında, şoför güvenlik kemerini takmadığından dolayı ön cama doğru fırlatıldığını açıklar. Otobüs belki ani duruş yapmıştır, güvenlik kemerlerini takmayan tüm yolcular öne doğru hareket ederler kemerlerini.

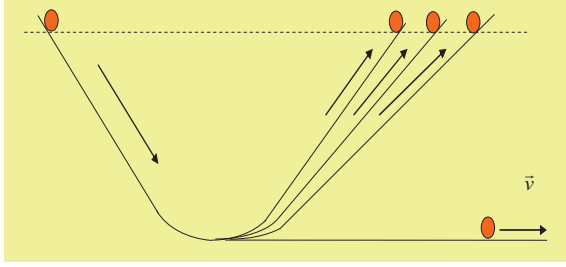


Şekil 1.

Aynı hareket otomobil içinde suyla dolu bardağın bulunması ve otomobilin büyük hızla hareket etmeğe başladığı zaman olur. Bardaktaki suya baktığımız anda su seviyesini otomobil hareket etmeden önce gibi tutması çabasında bulunur, olayda görüldüğü gibi suyun arka kısmında su seviyesi yükselir.

Cisimler doğal olarak hareket durumlarındaki değişmelere karşı durma tabiatları vardır. Buna *eylemsizlik* denir. Eylemsizlik kavramını Galiley tanıtmıştır. Galiley'e göre hareket eden cisimler sonunda sürtünme kuvvetinden ötürü dururlar ve eğer sürtünme kuvveti tamamen yok edilirse, o zaman karşılıklı eğik düzlemlerden hareket eden top, tekrar harekete başladığı düzleme ulaşır. Bu durumda, topçağızın hareketi düzlem açısına bağlı değildir, topçağız aynı yüksekliğe ulaşır, Şekil 2. Eğer düzlem açısı azalır, topçağız o yüksekliğe ulaşacağı kadar yatay düzlemde hareket eder.

3. Dinamik



Şekil 2.

Newton'un birinci kanunu:

“Her cisim sükûnet veya düzgün doğrusal hareketini, ona dış bir kuvvet durumunu değiştirmesi için etki edene kadar korur”.

Bu kanun sürtünmeyi göz önünde almaz, cisim sükûnet durumuna getirebilir. O esnada, doğrusal ve düzgün hareket durumunu korumak için neden gerekmez. Düzgün ve doğrusal hareketleri, birde cisimlerin sükûnet durumları doğal durumlardır eğer dış etkilerden serbest veya etki eden dış kuvvetlerinin toplamı sıfır değerinde ise. Böyle harekete eylemsiz hareketi denir. Cisimler sükûnet veya düzgün doğrusal hareket durumlarını koruma özelliğine *eylemsizlik* denir, olaya da *eylemsizlik olayı* denir. Demek ki cisimlerin eylemsizliği onun hareket nedeni değildir, onun özelliği dir.

Newton'un birinci kanunu referans sistemi alınarak hareketin incelenmesini tanımlar. Maddesel noktanın kinematığında tüm referans sistemleri eşittir ve kimin alınacağı fark etmez. Dinamikte ise böyle değildir çünkü hareket özelliği referans sistemin seçimine bağlıdır, daha doğrusu birinci Newton kanunu tüm sistemler için geçerli değildir. Dinamikte *eylemsiz referans sistemi* tanımlanır ve orada tüm serbest cisimler düzgün ve doğrusal hareket ederler daha doğrusu birinci Newton kanunu geçerlidir, birde eylemsizlik kanunu olarak adlandırılır. Birinci Newton ka-

nunun özü eğer cisme dış kuvvetler etki etmezse, o zaman referans sistemi bulunur ve onda cisim sükûnette bulunur, birde referans sistemler kümesi ve onlarda cisimler sabit hızlarla hareket ederler. O referans sistemlerine *eylemsizlik referans sistemleri* denir. Eğer referans sistemi eylemsiz birine belli bir hızla hareket ederse, o sisteme *eylemli referans sistemi* denir.

Eğer Yerküre üzerindeki cisimlerin hareketi bakılırsa ve onlara göre Yerküre'nin hareket etmediği veya hareketsiz olduğu yorumlanır. O zaman eylemsizlik sistemi *jeomerkezcil referans sistemi* gibi alınır ve onun merkezi Yerküre merkezi olduğu alınır. Onu Yerküre etrafında uyduların hareketini belirlemek alırız.

Güneş sisteminin gezegenlerine yönlü olan kozmik gemilerin hareketini araştırmak için, Yerküre Güneş etrafında eliptik bir yörüngede hareket eder. Öyle hareketin merkezcil bir hızlaması olduğu bilinir ve onu eylemli gibi jeomerkezcil referans sistemi tanımlar. Böyle olaylarda *heliomerkezcil referans sistemi* kullanılır ve merkezi Güneşin merkezinde bulunur. Bu da tamamen doğru değildir çünkü Güneş galaksimizin merkezine göre hareket eder. Samanyolu, o hareket göze alınmaz kadar küçüktür ve Güneş'in hareketsiz olduğu yorumlanır.

3.3. İKİNCİ NEFTON KANUNU

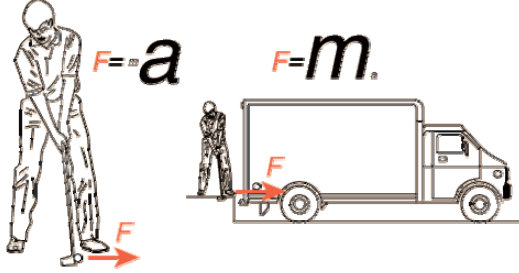
Bu kanuna hızlama kanunu da denir. Bu kanuna göre cismin kütlesi ne kadar büyükse dış kuvveti hızlamasını değiştirmek için karşı gelmesi küçüktür. Cisme etki eden kuvvet ne kadar büyükse, o kadar da hızlama büyüktür.

Bunu her günkü hayatta deneyebiliriz. Bir topçağızı ve bir kamyonu aynı kuvvetle nasıl itebilirsiniz düşünün, Şekil 1.

3. Dinamik

Hangi cismin hızlaması daha büyük olacaktır?

Bir taşı yalnız ittiğinizi düşünün, ondan sonra iki arkadaş ile beraber. Hangi cismin daha büyük hızlaması olacaktır?



Şekil 1.

Aynı deneyleri Galiley de yapmıştır, daha sonraları Nefton da yapmıştır. Onlardan görüldüğüne göre aynı etkilerle farklı cisimlerin farklı hızlamaları olmuştur. Bu demektir ki, verilen dış etkilerden, eylemsizlik özellikleri ile hareket eden cisimlerin özelliklerinden hızlamaları bağlıdır. Kuvvetin etkisi ne kadar zaman sürer daha doğrusu cismin hareket hızı değişmesi için ne kadar zaman gerekir, cismin eylemsizliğine bağlıdır. Zaman ne kadar büyükse, eylemsizlik de o kadar büyüktür.

Cismin eylemsizliği *cismin kütlesi* denen fiziksel büyüklük ile belirlenir. Nefton'un mekaniğinde kütle sabit büyüklüğü oluşturur, cismin durumuna bağlı değildir, cismin hareket hızına da bağlı değildir. SI siteme göre kütle ölçü birimi *kilogram* dır, işareti *kg* dır.

Kuvvet ikinci dinamiksel büyüklüktür. Cisme etki eden kuvvet ve onun yüzünden aldığı hızlamayı, kuvvet ve hızlama arasındaki bağlantı ikinci Nefton kanunu ile verilir:

“Cisme etki eden kuvvet cismin kütlesi ve aldığı hızlamanın çarpımına eşittir”.

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} = m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \quad (1)$$

SI sitemde kuvvet türetilmiş büyüklüktür. Kuvvet ölçü birimi $F = m \cdot a$ denkleminde elde edilir $\text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \text{N}$, görüldüğü gibi ölçü birimi Nefton $[N]$ dur, bilim adamın ismini taşır. Kütlesi bir kilogram *kg* olan cisim bir saniye karede metre (m/s^2) hızlaması ile hareket ederse ona etki eden kuvvet bir Nefton *N* dur denir. Kuvvet ve hızlama vektörel büyüklükler dirler ve aynı yönleri ve doğrultuları vardır. Kütle sabit büyüklük tür daha doğrusu skaler dir. Kuvvet vektörünün başlangıcı cisme etki eden kuvvet noktası dır, hamle (saldırı) noktası olarak adlandırılan.

Nefton'un ikinci kanunu şart olarak gözetleyici eylemsizlik referans siteminde bulunursa geçerlidir. Eğer gözetleyici eylemli sistemde bulunursa, bu kanun ve diğerleri geçersizdir.

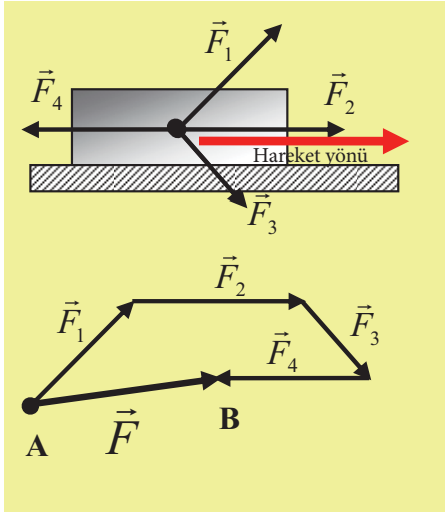
Kuvvetlerin bağımsızlık etkisi prensibi.

İkinci Nefton kanununa göre cismin hızlaması için kuvvetin sorumluluğu var. Bu durumda, onun hareket durumunu sadece dıştan etki eden kuvvetler değiştirebilir. Bir cisme çok sayıda kuvvetlerin etki etmesi olayında, Şekil 2. her kuvvetin etkisi diğer kuvvetlerin mevcut olmasına bağlı değildir. Aynı anda birkaç kuvvet etki ettiği zaman her kuvvetin bağımsız etkilerinin toplamına eşittir.

Buna *kuvvetlerin bağımsızlık etkisi prensibi* denir, dinamikte vektörel kuvvetlerin toplanmasını sağlar, çok sayıda vektörlerin toplamı çokgenlerin kuralı uygulanarak yapılır, Şekil 2. Toplanan kuvvetlere *bileşenler* denir, kuvvetlerin vektörel toplamı sonucuna ise *bileşke* denir.

Bir cisme çok sayıda kuvvet etki ettiği zaman $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \dots$ (Şekil 2.), cisim dinamiğinin temel denklemi şöyle olacak:

3. Dinamik



Şekil 2.

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots = m \cdot \vec{a} \quad , \quad (2)$$

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$$

Nerde ki m cismin kütlesi dir, cisme etki eden kuvvetlerden ötürü aldığı hızlama \vec{a} dır.

Vektörel denklem (2) üç skaler denkleme ayrılabilir uygun Dekart bileşenlere göre:

$$\begin{aligned} m \cdot a_x &= \sum_i F_{ix} ; \\ m \cdot a_y &= \sum_i F_{iy} ; \\ m \cdot a_z &= \sum_i F_{iz} ; \end{aligned} \quad (3)$$

Cisme etki eden kuvvetlerin bileşenleri bilinirse, (3, 4) denklemleri yardımı ile hızlama bileşenleri elde edilebilir ve bunlardan ise hız bileşenleri ve radyus vektörü tanımlanır, böylece cismin hareketi tamamen belirlenir.

3.3. ÜÇÜNCÜ NEFTON KANUNU

Hareketin üçüncü kanununa karşılıklı etki kanunu denir. Bu kanuna göre cisimlerin birileri diğerlerine etkisi açıklanır. Her etki büyüklüğüne göre ve ters yönlü karşılıklı eşit tepki üretimine dayanır. Eğlenceli parkta, arabacık sürerken diğer bir arabacığa vurduğumuz zaman o arabacıktan gelen vuruşu biz de hissediyoruz, o arabacık dururken olsa bile. Kuvvetler ters yönlü olduğu için arabacıklar birbirlerini iterler. Havaya uçmak için, örneğin, basketi atarken, ilkönce yere iniyoruz ondan sonra toprakta uçuyoruz (diğer sözlerle toprağı bastırıyoruz). Aynı anda toprak da bizlere bastırıyor böylece havaya uçmamızı sağlar.

Doğada cisimlerin tek yönlü etkileri yoktur. Cismin diğer cisme her etkisi diğer cisimden birinci cisme tepkisini sağlar, daha doğrusu cisimlerin birbirlerine etkisi. Üçüncü Nefton kanunu iki cismin birbirlerine mekaniksel etkilerini tanımlar, bir diğerine. Şöyle denir:

“Etki kuvveti tepki kuvvetine büyüklük olarak eşittir, yön olarak terstir” veya

“Etki tepkiye eşittir”

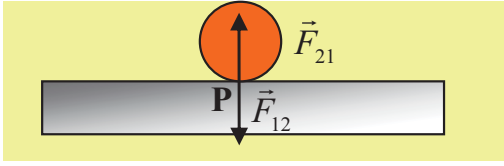
Matematiksel denklemlerle şöyle dir:

$$\vec{F}_{21} = - \vec{F}_{12} \quad (1)$$

nerde ki \vec{F}_{12} kuvveti cisim 1 cisim 2'ye etki eder, \vec{F}_{21} kuvveti ise cisim 2 cisim 1'e etki eder.

Örnek böyle karşılıklı etki topcağızın tabana bastırması dır Şekil 3.5. Topcağız P noktasında \vec{F}_{12} kuvvetiyle bastırır. Taban ise topcağıza ters yönlü kuvvetle \vec{F}_{21} bastırır. Nefton'un üçüncü kanunu eylemsizlik referans sitemlerde geçerlidir.

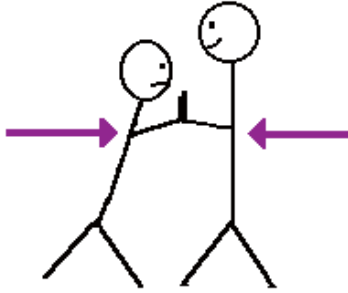
3. Dinamik



Şekil 1.

Newton'un üçüncü kanununa göre kuvvetler çiftler şeklinde oluşurlar: her kuvvet bir cisme yönelmiş bulunan diğer bir cisme yönelmiş bir kuvvetle karşılaşır. Kuvvetler hangisi etki dir hangisi de tepki dir pek önemli değildir, taa ki onlardan birisi diğerinden ayrı bulunmaz.

Cisimlerin karşılıklı etki kuvvetleri (etki ve tepki) modül olarak eşittirler, doğrultuları aynıdır ve farklı yönleri vardır, fakat biri diğerini yok etmez çünkü farklı cisimlere etki ederler. Her iki cisimden birilerine sadece birer kuvvet etki eder ve hızlama yaptırır. (Cismin durumu ona etki eden kuvvetlere bağlıdır, o diğer cisimlere etki ettiği kuvvetlerine bağlı değildir).



Şekil 2.

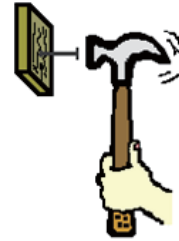
Örnekler: Karşılıklı etki gravitasyon kuvvetleri arası Yerküre'nin ile ondan belli yükseklikte duran taşın modül olarak eşittir ve yön olarak terstir. Yerküre taşı aynı kuvvetle çeker, taş da Yerküre'yi aynı kuvvetle çeker. Taş serbest bırakılınca, taş ve Yerküre birbirine doğru yaklaşır. Yerküre'nin büyük kütlelerinden dolayı, onun hızlaması ve hızı gözle alınmayacak kadar küçüktür, taşın hızlama-

sına ve hızına göre, böylece taşın Yerküre'ye düştüğü gözükür.

Tabanca patlatıldığı zaman zıplar bu da kurşunun fırlatılma tepkisinden ötürü dür.

Roketlerdeki tesis: roket fırlattığı gazın tepkisinden sürekli zıplar ve hızlaması olur. Roketin yukarıya itilmesi fırlatılan gazın ve atmosferin vuruşundan ötürü olması yanlış düşünce dir. Roketin hızlaması itilerek sapmasından değil de fırlatılan gazın tepki kuvvetinden dir, ister hava olsun ister hava olmasın. Roket atmosfer üzeri yani onun hızını sınırlayan hava basıncı olmadığı mekânda daha iyi çalışır.

Helikopterin çalışması, kalkması, inmesi ve dalması: helikopterin pervaneleri öyle tasarlanmıştır ki hava parçacıklarını aşağıya doğru etki eder öyle ki hava pervaneleri yukarıya doğru tepki. Yukarıya doğru tepki yapmasına kaldırma kuvveti denir. Kaldırma kuvveti Yerçekimi ağırlığından büyük olduğu zaman, yukarıya doğru kalkıyor; kuvvetler eşit olduğu zaman sabit duruyor veya dalıyor. Bu çalışma prensibi uçaklarda da kullanılır, kuşlar da aynısını kullanır.



Şekil 3. Etki ve tepki örneği

SORULAR

1. Hangi kanunun ve arabada güvenlik kemerlerini neden takmamız gerektiğini açıklar?
2. Hangi kanun aynı hızlamalı iki cisim için, büyük kuvvet büyük kütleli cisim için yoksa küçük kütleli cisim için gerektiğini açıklar?

3. Dinamik

3.4. KUVVETLER TÜRLERİ

Klasik mekanikte gravitasyon kuvvetleri, elastik kuvvetleri ve sürtünme kuvvetleri ile karşılaşırız. Bu kuvvetlere diğer kuvvetler de eşitleştirilir kim ki mekaniksel hareketlerini araştırırken cisimlere etki ederler. Cisimlerin mekaniksel hareketleri esnasında araştırılan üç türlü kuvvetler, iki türlü temel kuvvetleri temsil ederler: doğada temel gravitasyon kuvvetleri ve elektromanyetik kuvvetleri. Elastiksel kuvvetleri ve sürtünme kuvvetleri temel değildirler, doğal olarak onlar elektromanyetik kuvvetleri dirler çünkü verilen süpstanların (moleküller arası kuvvetlerin elektromanyetik kökeni vardır) ve moleküllerin birbirlerine etki etme özelliğinden belirlenmiştirler. Bu iki kuvvet cisimlere dolaysız dokunma ile oluşurlar, onlara *dokunma kuvvetleri* denir.

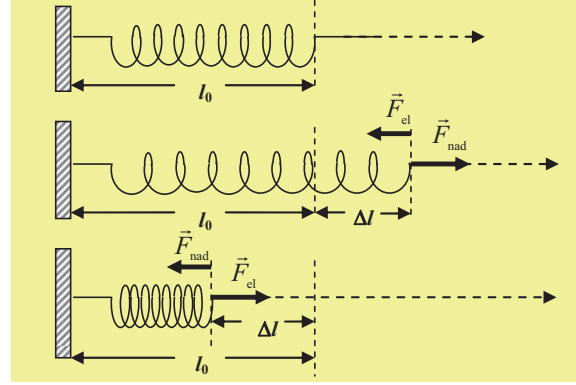
3.4.1. Elastik kuvvetler. Cisimlerin deformasyonu esnasında oluşan kuvvetler (boyutlarının ve şeklinin değişmesi) *elastik kuvvetleri* denir. Herhangi bir cisimde elastiksel kuvvetlerin oluşması cisimi oluşturan ve onu bütün olarak tutan atomlar ve moleküller arası elektriksel kuvvetler etki etmesiyle açıklanır. Cismin deformasyonu esnasında atomlar ve iyonlar denge durumlarından uzaklaşırlar. Öyle uzaklaşmada, parçacıklar arası etki kuvvetleri karşı gelir, elastik kuvvetlerin oluşmasını sağlar, germe ve sıkma, cisme etki eden dış kuvvetleri bunlar dengelerler. Dış kuvvetin etkisi bittiği anda, deformasyon tamamen biter, elastiksel dir, cisimler elastiksel dir. Elastiksel cisimler örneği lastik topu, çelik yayı ve sayı dırlar. Etki kuvvetin bitmesiyle deformasyon kaybolmazsa, o zaman plastiktir denir, cisimlere ise plastik kuvvetler denir. Plastik cisimler örneği kil ve mumya dır. Cisimlerde oluşan deformasyonlar: sıkma, germe, bükme ve burma (torzi).

Elastik kuvvetleri cismin denge durumundan uzaklaşma ile orantılıdır ve denge durumuna yönü vardır. Vektörel şekilde şu denklemlerle verilir:

$$\vec{F} = -k \cdot \Delta\vec{r} \quad (1)$$

nerede cismin denge durumundan $\Delta\vec{r}$ vektörel uzaklığıdır, cismin elastiksel özellikleri sabitesi k dır.

Elastik kuvveti örneği gerilme (kasılma) esansında yayın elastik deformasyon kuvveti dir (Şekil 1.) Yayın normal durumda uzunluğu l_0 dur ve duvarın bir kenarına bağlı bulunur.



Şekil 1.

Ona dış bir kuvvetle etki edilirse \vec{F}_{nad} tepki gibi dış kuvvete gelen elastik kuvveti, modül olarak aynıdır, doğrultusu aynıdır, etki eden kuvvete yönü terstir ve yayın uzanan kısmı $\Delta\vec{r}$ ile tanımlanır:

$$\vec{F}_{nadv} = -\vec{F}_{el} = k \cdot \Delta\vec{r} \quad (2)$$

Eğer problem bir boyutlu olduysa, elastik kuvveti uzunluk bakımında deforme edilmiş yayın eksenini boyunca yönlüdür ve Huk kanunu ile belirlenir, elastik deformasyondaki gerilme Δl dir:

$$F = -k \Delta l \quad (3)$$

Yayın gerilmesi veya kasılması için gereken kuvvet gerilen veya kasılan yay mesafesi ile orantılıdır.

3. Dinamik

Yaya bağlı bulunan cisim dış kuvvet yardımı ile sağa doğru hareket etmesiyle İkinci Nefton kanununun yardımı ile belirlenmesi, yaya denge durumuna yönlü elastik kuvveti etki eder, daha doğru-su sola doğru. Bu kuvvetleri eşitleştirerek:

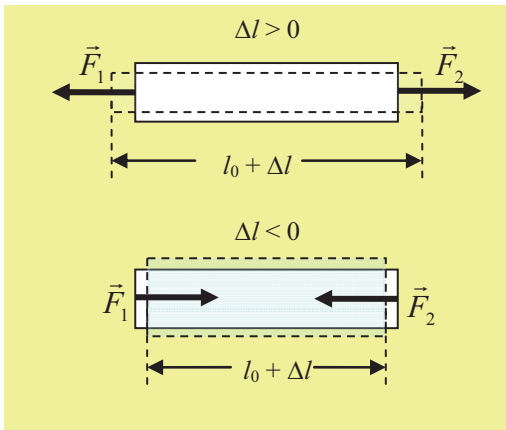
$$\vec{F}_{\text{nadv}} = - \vec{F}_{\text{el}}$$

$$m \cdot a = - k \cdot \Delta l$$

elastik yaya bağlı bulunan cismin hızlaması için şu denklem elde edilir:

$$a = - \frac{k}{m} \cdot \Delta l$$

Huk kanunu tüm cisimler için geçerlidir, sadece yaylar için değil. Cisme etki eden kuvvetin ölçünmesini sağlar, hızlaması ölçünmeden. Homojen tel ya da çubuk deformasyon esnasında yay gibi davranır. Eğer çubuğun uçlarına dış kuvvetlerle uzunluğu boyunca onun eksenine etki edilirse, çubuğun uzunluk bakımından uzamasıyla pozitif artışı $\Delta l > 0$ olur, uzunluk bakımında kısılmasıyla negatif artışı $\Delta l < 0$ olur, Şekil 2.



Şekil 2.

Cisimdeki deformasyon her zaman gerilmenin oluşmasını sağlar. Büyüklük σ elastik gerilme olarak bilinir, kuvvetin ve cismin yüzeyine etki eden orantıyı oluşturur:

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (5)$$

Belli malzemeden cismin rölatif uzunluk değişimi $\frac{\Delta l}{l_0}$ elastiksel deformasyon esnasında elastiksel gerilme ile orantılıdır:

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \frac{1}{E} \sigma \quad (6)$$

denklemde l_0 cismin (yayın) başlangıç uzunluğu kuvvetin etkisinden önce dir, Δl uzunluk değişimi kuvvetin etkisinden oluşan dır. Büyüklük E Yung elastik modülünü oluşturur ve değeri cismin yapıldığı malzemeye bağlıdır. Yung modülün ölçü birimi paskal ($\text{Pa} = \text{N}/\text{m}^2$) dır.

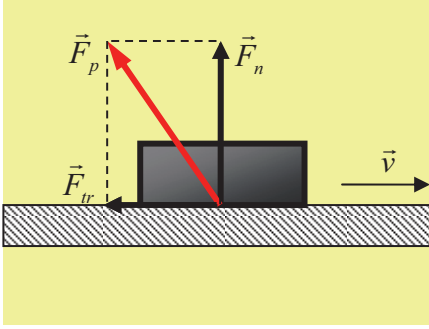
Homojen çubuk için Huk kanunu şu şekilde verilir:

$$F = \sigma S = \frac{E S}{l_0} \Delta l \quad (7)$$

3.4.2 Sürtünme kuvveti. Sürtünme kuvvetleri cisimlerin yerdeğişimi yaptığı esnada dokunmayla oluşur, ya da aynı cismin farklı kısımları ile. Temasta bulunan her iki cismin moleküllerinin çok sayıda elektriksel etkileşimlerinden sürtünme kuvvetleri oluşur. Burada iki cisim arasında oluşan sürtünmeyi inceleyelim, ya da katı cisim ve sıvı ya da gaz arasındaki sürtünme, veya flüid katmanları arasındaki sürtünmeye *viskozite* denen, daha sonraları incelenecektir.

Cisim sükûnette bulunduğu zaman kendi ağırlığı ile bastırır. Üçüncü Nefton kanununa göre taban da ona normal kuvvet denen ya da tepki kuvveti ile bastırır. Bir cisim öteleme hareketi esnasında diğer bir cismin yüzeyi üzerinde, tabanın tepki kuvveti temasta bulunan yüzeylerin normal çizgisi yönünde değildir, hız yönüyle geniş açığı oluşturur (Şekil 3.).

3. Dinamik



Şekil 3.

Tabanın tepki kuvveti \vec{F}_p iki bileşene ayrılırken: biri normal yönde \vec{F}_n ve diğeri temasta bulunan yüzeylerin teğet yönünde \vec{F}_t :

$$\vec{F}_p = \vec{F}_n + \vec{F}_t \quad (8)$$

denklemden \vec{F}_n normal yönde tabanın tepki kuvveti ve \vec{F}_t sürtünme kuvveti dir.

Sürtünme kuvvetleri üç türlüdür: *sükûnet esnasındaki sürtünme kuvveti, kayma esnasındaki sürtünme kuvveti ve dönme esnasındaki sürtünme kuvveti*. Sükûnet esnasındaki sürtünme kuvveti cisim sükûnet durumundan çıkması çabasıyla oluşur, cismin diğeri cisim üzerindeki hareketini engelleyerek:

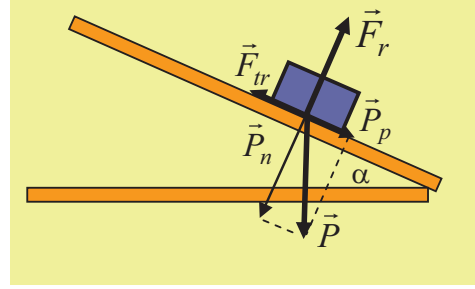
$$F_{max} = F_0 = \mu_0 F_n \quad (9)$$

denklemden μ_0 *sükûnet esnasındaki sürtünme sabitesi* dir.

Kayma esnasında sürtünme kuvveti şu denklemlerle verilir:

$$F_{tr,l} = \mu_1 F_n \quad (10)$$

ve cisimlerin temastaki yüzeylerin uzunluğu boyunca yönü vardır, cismin yerdeğişimi hızının yönüne ters gelir. Boyutsuz sürtünme sabitelerinin μ_0 ve μ değerleri süpstanın doğasına ve temasta bulunan yüzeylerin durumlarına bağlıdır (yağlı, pürüzlü).



Şekil 4.

Cismin kayma esnasındaki sürtünmesini değişken açısı olan α eğik düzlemde inceleyelim, Şekil 4. Bir sınır açıda $\alpha = \alpha_0$, cisim eğik düzlemde kayar, o anda ona üç kuvvet etki eder: ağırlık kuvveti \vec{P} , tabanın normal tepki kuvveti \vec{F}_n ve sürtünme kuvveti \vec{F}_t . Ağırlık kuvvetini iki bileşene ayıralım, biri düzleme normal \vec{F}_n gelen ve diğeri düzlemle paralel \vec{F}_p gelen. Cisim düzlemde kayması için sınır şartı $\alpha = \alpha_0$ gerçekleşmesi gerekir ve kuvvet bileşenleri şu geçerlidir:

$$P_n = F_r ;$$

$$P_p = F_{tr,max}$$

Şekilden görüldüğü gibi

$$P_p = P \sin \alpha_0 \quad \text{ve}$$

$$F_{tr,max} = \mu_0 F_r = \mu_0 P \cos \alpha_0$$

Bu nedenle:

$$\mu_0 = \frac{\sin \alpha_0}{\cos \alpha_0} = \tan \alpha_0 \quad (11)$$

Cisim hareket etmeğe başladığı anda sürtünme sabitesi sükûnet esnasındaki sınır açısının teğetine eşittir.

Kayma esnasında sürtünme sabitesi μ_1 eğik düzlemi deneyi yardımıyla belirlenir.

3. Dinamik

Eğik düzlemin açısı α cisim onun üzerinde sabit hızla hareket ettiği anda belirlenir. O olayda ağırlık kuvvetin paralel bileşeni kayma esnasında sürtünme kuvvetini sadeleştirir, cisim de eğik düzlemde düzgün hareket eder. İki kuvvetin eşitlik şartından şu denklem elde edilir:

$$\mu_1 = \tan \alpha \quad (12)$$

Reel şartlar altında cismin hareket etmesi, sürtünme kuvvetleri altında, cismin aldığı hızla dış kuvvetin F ve sürtünme kuvvetlerin $F_{tr,l}$ bileşke kuvvetinden kaynaklanır:

$$a = \frac{F - F_{tr,l}}{m} \quad (13)$$

Önceki denklemden görüldüğü gibi reel şartları altında cismin düzgün hareket etmesi için dış kuvvetin büyüklüğü ve sürtünme kuvvetin büyüklüğü eşit olması ($F = F_{tr}$) gerekir. Eğer $F > F_{tr}$ cismin hızlanması olur. Eğer $F < F_{tr}$ cisim sükûnette bulunacak ya da düzgün hareket edecek.

Sürtünme teknikte ve doğada büyük rol oynar. Sürtünme yardımı ile tüm enerjiler sıcaklığa dönüşürler. Sürtünmeden ötürü taşıyıcı araçların hareketleri veya durmaları mümkündür. Tüm olaylarda nerde ki sürtünme zararlara uğrattır, onun yağlamakla aşılması yapılır.

Kayma esnasında sürtünmenin azalması için diğer türlü onun dönme esnasında sürtünme ile değiştirilmesi yapılır, Şekil 5.

Bu amaç için tekerlekler, makaralar, rulman ve diğerleri.

Dönme esnasında sürtünme kuvveti denklemi:

$$F_{tr,t} = k \cdot \frac{F_n}{R} \quad (14)$$

denklemde k kayma esnasında sürtünme sabitesi dir, F_n normal basınç kuvveti, yuvarlanan cis-

min yarıçapı R dir. Yuvarlanma esnasında sürtünme sabitesinin uzunluk boyutu vardır, ölçü birimi *metre (m)* dir.



Şekil 5.

3.5.3. Ağırlık kuvveti ve ağırlık. Ağırlık kuvveti Yerkürenin cisimleri çektiği kuvvettir, onun etrafında bulunanlar. Ağırlık kuvveti cisimlerin birbirlerini çekmesi dir. Bundan dolayı ağırlık kuvvetin ve gravitasyon kuvvetin doğası aynıdır. Serbest düşmeye cisimlerin havasız ortamda ağırlık kuvveti etkisi hareketini oluşturur. Bundan dolayı ağırlık kuvvetini ikinci Nefton kanununun hızlaması ile tanımlarız ve yerçekimi hızlaması \vec{g} dir:

$$\vec{P} = m \cdot \vec{g} \quad (15)$$

Yerçekimi hızlaması değeri gravitasyon temel denklemi Yerküre ve onun yakınındakine uygulanan:

$$\vec{P} = G \frac{M_z m}{R_z^2} = m\vec{g}$$

$$\vec{g} = G \frac{M_z}{R_z^2} = 9,81 \frac{m}{s^2} \quad (16)$$

Serbest düşme esnasında cisimlerin aldıkları hızlama sabittir ve cisimlerin kütesine bağlı değildir, çünkü kütesi iki kat büyük olan cisime iki büyüklüğünde gravitasyon kuvveti etki eder.

3. Dinamik

$$\vec{g} = \frac{\vec{P}}{m} = \frac{2\vec{P}}{2m} = \frac{3\vec{P}}{3m} = const$$

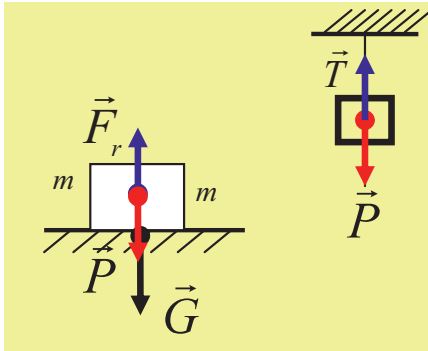
Gerçek şartlar altında serbest düşme esnasında, hava her zaman cismin hareketine direnç göstermektedir. Düşen cismin hızının büyümesiyle, havanın direnci de büyür, cismin hızlaması azalır ne zaman ki havanın direnci büyüklük bakımından ağırlık kuvvetine eşit olacak, öyle düşen bir cismin hızlaması sıfır olur. Devamında, cismin hareketi düzgün olacak. Cisim Yerkürenin yüzeyine göre sükûnette bulunursa, ağırlık kuvveti \vec{P} tabanın tepki kuvveti \vec{F}_r ile dengeleşir veya ipliğin gerilme kuvveti \vec{T} ile (teпки kuvvetleri) ki cismin düşmesine izin verirler, Şekil 6.

$$\vec{F}_r = -\vec{P} \quad , \quad (\vec{T} = -\vec{P}) \quad (17)$$

Newton'un üçüncü kanununa göre, eğer cisimlere tabanın tepki kuvveti etki ederse (ipliğin gerilme kuvveti), o zaman cisim de tabana etki eder (iplik) büyüklük bakımından aynı kuvvetle, fakat ters yönde:

$$\vec{G} = -\vec{F}_r \quad ; \quad (\vec{G} = -\vec{T}) \quad (18)$$

kuvvet G ve kuvvet P aynı olduğu elde edilir.



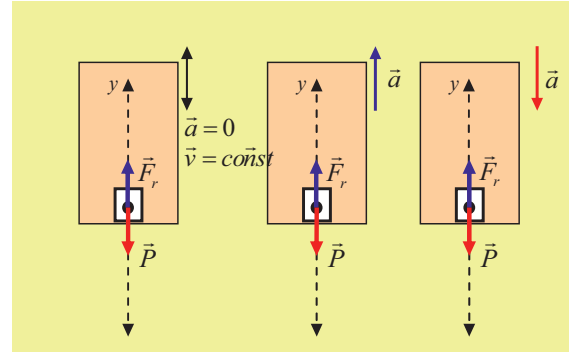
Şekil 6.

Cisim tabana kuvvet G ile basınç yapar (ipliği gerir) buna cismin *ağırlığı* denir. Bu ağırlık

kuvvetine eşittir eğer ki cisim ve taban Yerküre'ye göre sükûnette bulunursalar. Onların Yerküre'ye göre belli bir hızlama \vec{a} ile hareket etmeleri, cismin ağırlığı Yerküre ağırlık kuvvetinden farklıdır ($\vec{G} \neq m \cdot \vec{g}$). Bunu ilerideki örneklerle izah edelim.

Örnek. Kütlesi m olan cisim asansörde yerleştirilmiştir, asansör yukarıya doğru hızlama \vec{a} ile hareket eder, Şekil 7.

Başlangıçta cisim asansörün tabanına basınç yaptığı kuvvet bulunsun, daha doğrusu cismin ağırlığı.



Şekil 7.

Birinci olayda (Şekil 7.a) hızlama sıfır olduğu alınır, $\vec{a} = 0$, daha doğrusu asansör sabit hızla $\vec{v} = \text{sabit}$ hareket eder. Cisme iki kuvvet etki eder: ağırlık kuvveti $\vec{P} = m \cdot \vec{g}$ ve tabanın tepki kuvveti \vec{F}_r . O zaman hareket denklemleri şöyledir:

$$\vec{P} + \vec{F}_r = 0 \quad (19)$$

Denklemin izdüşümü y ekseninde şöyle dir:

$$-P + F_r = 0 \quad \text{buradan da şu elde edilir}$$

$$P = F$$

Ağırlık kuvvetinin büyüklüğü P tabanın tepki kuvveti büyüklüğüne eşittir, bununla cismin ağırlık büyüklüğüne eşittir, cisim asansörle sükûnette aynı bulunduğu gibi.

3. Dinamik

İkinci olayda cisme aynı iki kuvvet etki eder: ağırlık kuvveti $\vec{P} = m \cdot \vec{g}$ ve tabanın tepki kuvveti F_r , fakat sistemin hızlaması sıfırdan farklıdır. Cismin hareket denklemi şöyle dir:

$$\vec{P} + \vec{F}_r = m \cdot \vec{a} \quad (20)$$

a) ilk olay gibi *hızlama yukarıya yönlü olsun*, Şekil 7.b. y eksenin pozitif yönü yukarıya yönlü olsun. Vektörel denklemin izdüşümü y eksenini boyunca şöyle dir:

$$m \cdot a = -m \cdot g + F_r$$

buradan şu elde edilir:

$$F_r = m(a + g) \quad (21)$$

Tabanın tepki kuvveti büyüklüğü cismin ağırlık büyüklüğüne eşittir:

$$\vec{F}_r = -\vec{G} \quad ; \quad (F_r = G)$$

Buradan cismin ağırlığı için elde edilir:

$$G = m(a + g)$$

Demek ki, bu olayda cismin ağırlığı Yerçekimi kuvvetinden büyüktür.

b) *Hızlama aşağıya doğru yönlü olsun* Şekil 7.c. Vektörel denklemin izdüşümü y eksenini boyunca şöyle dir:

$$-m \cdot a = -m \cdot g + F_r$$

teпки kuvveti için şu elde edilir:

$$F_r = m(g - a) \quad \text{yani..}$$

$$G = m(g - a) \quad (22)$$

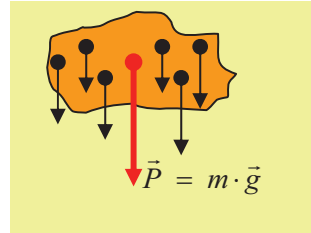
Bu olayda cismin ağırlığı Yerçekimi kuvvetinden küçüktür.

Yukarıdaki örneklerden görüldüğü gibi cismin ağırlığı \vec{G} daha küçük veya daha büyük ağırlık kuvvetinden \vec{P} olabilir. Sistemde serbest düşmede ($\vec{a} = \vec{g}$), ağırlık \vec{G} kiminle ki cisim taban etki eder, sıfır dır. Diyoruz ki cisim *ağırlıksız* bir durumda bulunur.

Cisim sükûnette iken ağırlık ve ağırlık kuvveti büyüklük, doğrultu ve yön olarak aynı dırlar. Fakat her zaman bilinmesi gerekir ki bu kuvvetler farklı dırlar ve farklı cisimlere etki ederler: *ağırlık kuvveti cisme etki eder, ağırlık ise tabana etki eder*. Ağırlık kuvveti cisim kütlesi ve yerçekimi hızlamasının çarpımına eşittir ve cismin hareket özelliğine bağlı değildir, cismin ağırlığı ise ona bağlıdır ve değerleri büyük veya küçük olabilir ($m \cdot g$) den.

Yerçekimi hızlamasının farklı coğrafi genişliklerinde farklı değerleri sahip olduğu için yerçekimi kuvveti ve cismin ağırlığı farklı coğrafi genişliklerinde farklı değerleri vardır. Örneğin, ekvatördeki değer %0,5 kadar kutuplardaki değerlerden farklı dırlar. Ay'ın hızlaması Dünya hızlamasından ~6 kez daha küçüktür ve aynı bir cismin Dünya'ya göre 6 kez ağırlığı Ay'da daha küçüktür.

Belli boyutlu cismi incelediğimiz zaman, ağırlık kuvvetini bileşke gibi belirleriz ona etki eden tüm kısımların kuvvetlerinden ya da Yerküre tarafından çekilen cismin parçacıkları. Bu kuvvetleri vektörler gibi alırken, ve onları aşağıya doğru paralel yerleştirip, onları toplayarak bileşke kuvveti elde ederiz, Şekil 8.



Şekil 8.

Deney olarak tek bir kuvvet cismin ağırlık kuvvet bileşkesini \vec{P} dengeleyebileceği gösterilebilir, cismin belli bir noktasına bağlı bulunursa. O noktaya *hamle (saldırı) noktası* denir, birde *ağırlık merkezi* ya da *kütle merkezi* denir. Ağırlık kuvveti etkisinde, kütle ağırlığı maddesel nokta hare-

3. Dinamik

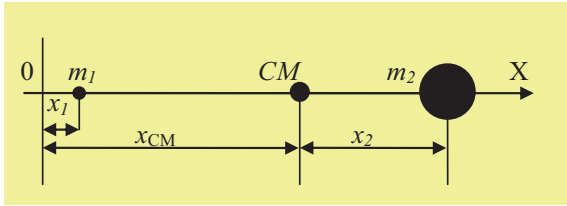
ket ettiği gibi hareket eder, incelenen cismin tüm kütlesi yoğunlaştığı gibi. Cisme diğer kuvvetler etki ettiği zaman, ki onlar onun diğer noktalarına bağlı bulunurlar, onları kendileri paralel hareket yapabilen vektörler gibi alırız. Aynen tüm kuvvetler hareket yapabilirler, öyle onların darbe (saldırı) noktaları kütle merkezi ile çakışır, ya da *eylemsizlik merkezi* ile (çünkü eylemsizliğin ölçüsü cismin kütlesi dir).

3.5. KÜTLE MERKEZİ

İki cisimli sistemin kütle merkezi nokta koordinatları X_{CM} bu denklemle tanımlanan:

$$x_{CM} = \frac{x_1 m_1 + x_2 m_2}{m_1 + m_2} \quad (1)$$

Diğer sözlerle, kütle merkezi ortalanan kütle ile belirlenen noktadır. İki cisim arasında noktayı oluşturur ve daha ağır olana yakındır. İki aynı kütle varsa mantıksal olarak onların kütle merkezi uzaklıkları yarısında bulunur.



Şekil 1.

Kütle merkezinin belirlenmesi için, üç veya fazla cisimlerin vektörel denklem uygulanır:

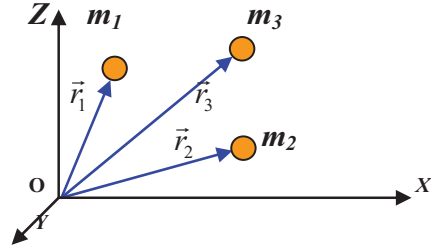
$$\vec{r}_{CM} = \frac{\sum m_i \vec{r}_i}{\sum m_i} \quad (2)$$

denklemde m_i her ayrı kütleyi oluşturur. Bu denklemi bileşenlerine ayırırsak, şunu elde ederiz:

$$x_{CM} = \frac{x_1 m_1 + x_2 m_2 + x_3 m_3 + \dots + x_n m_n}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n}$$

$$y_{CM} = \frac{y_1 m_1 + y_2 m_2 + y_3 m_3 + \dots + y_n m_n}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n}$$

$$z_{CM} = \frac{z_1 m_1 + z_2 m_2 + z_3 m_3 + \dots + z_n m_n}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n}$$



Şekil 2.

Ağırlık kuvveti böyle bir sistemin kütle merkezine etki eder.

Böyle bir sisteme dış kuvvetleri etki eder, kütle merkezi hareket eder sanki tüm kütlelerin bir noktada yoğunlaşması ve ona tüm dış kuvvetlerin toplamından ibaret olan bileşke kuvveti etki eder gibi.

Homojen cisimleri incelersek, kütlelerin merkezi geometrik merkezle çakışır. Kütlelerin merkezi cismin dışında da bulunabilir bazı olaylarda.

Ay ve Dünya iki cisimli bir sistemi oluştururlar ve kütle merkezi etrafında dönerler. Her iki cisim merkezci hızlama alırlar ve bu yüzden kütle merkezi etrafında dönerler.

Ödevleri çözmek için Nefton kanunlarını kullanırken, ayrıyettten dikkat edilmesi gereken incelenen cisme etki eden kuvvetlerin analizi dir. Bununla bir kuvvetin iki kez farklı isimlerle alınması hatasından kaçınılır.

3. Dinamik

3.6. DİNAMİKTEN ÖDEVLERİN ÇÖZÜLMESİ

Dinamiğin temel denklemini kullanarak ödevlerin çözülmesi için, yöntemin yapılması için adımlar:

1. Maddesel noktanın yönü ve hareket özelliği belirlensin;

2. Şeması çizilsin, cisme etki eden tüm kuvvetler temsil edilirler. Kuvvetler kütle merkezindeki hamle (saldırı) noktasıyla gösterilsinler, cisim maddesel nokta gibi incelenir;

3. Zamanın belli anında etki eden kuvvetler gösterilsin. Kuvvetleri ele alırken Newton'un üçüncü kanununa dikkat edilsin, cisimlere etki eden kuvvetler diğer cisimlerden kökenli oldukları bilinerek

4. İncelenen cismin hareket denklemi yazılır (temel dinamiksel denklemi – ikinci Newton kanunu) öyle ki sol taraftan cisme etki eden kuvvetler yazılır, sağ tarafta ise hareketi incelenen cismin kütlesi ve kuvvetlerin etkisinden aldığı hızmanın çarpımı yazılır:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots + \vec{F}_n = m \cdot \vec{a}$$

Daha basit çözmek için hareketi incelediğimiz sistemin koordinatları boyunca izdüşümleri yapılır. O anda şunlara dikkat edilir:

Kuvvetler birkaç yönde etki ederseler, fakat hepsi aynı düzlemde yatarlar, o zaman cisim X ve Y eksenleri aynı düzlemde yatan dik açılı koordinat sisteminde yerleştirilir. Cismin koordinatları tanımlanır. Cisme etki eden kuvvetlerin izdüşümleri koordinat sisteminin X ve Y eksenlerine yapılır. Böylece iki skaler denklem elde edilir:

$$\begin{aligned} F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + \dots &= m \cdot a_x \\ F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} + \dots &= m \cdot a_y \end{aligned}$$

5. Birbirine bağlı olan cisimler sisteminin hareketi incelenirse eğer, o zaman her cisim için ayrı denklemler yazılır, sistemdeki cisimlerin büyük-

lük olarak hızlamaları aynıdır. Eğer iplik hareket etmeyen veya hareket eden makaranın üzerinden atılmışsa, ipliğin kütlesi ve makaranın kütlesi çok küçük olduğundan dolayı göz önünde bulundurulmaz, cisimler ise gerilmeyen iplikle bağlıdır, o zaman sıkılan iplik her iki yana aynı büyüklükle etki eder;

6. Kuvvetler ve hızlamalar bulduktan sonra, maddesel noktaların koordinatları ve onların hızları bulunması gerekir, referans sistem için dinamik denklemleri yazılır. Ondan sonra elde edilen denklemler sistemi için çözümler aranır ve bilinmeyen büyüklükler belirlenir. Denklemlerin sol ve sağ kısımlarının boyutları araştırılmalıdır, bununla yöntemin doğru olduğu tazdiklanır ve SI sisteme göre aranılan büyüklüklerin birimleri verilir.

Örnek 1. Atvud makinesi iki ya da fazla sayıda cisimleri bağlamak için makara üzerinden ipliği kullanır. Kütlelerden biri ağırlığa karşı ağırlık olarak gravitasyon hızlamasını azaltmak için kullanılır. Atvud makine örneği çok katlı binalardaki asansördür. Ağırlığa karşı ağırlığı asansör kütlesi ve izinli yükün yarısı oluşturur.

Ödev: Atvud makinesinde, bir kütle 1,8 kg dır, ikinci kütle 1,2 kg dır. Eğer sürtünme göz önünde alınmazsa, sistemin hızlaması nekadardır. İpliğin gerilme kuvveti nekadardır?

Çözüm: Şekil çizilir ve onda cisme etki eden kuvvetler tanımlanır. Birinci cisimde ipliği geren kuvvet ikinci cisimde ipliği geren kuvvetle aynıdır, etki ve tepki yüzünden ve biri diğerini yok eder. Cisimler aynı hızlama ile hareket ederler.

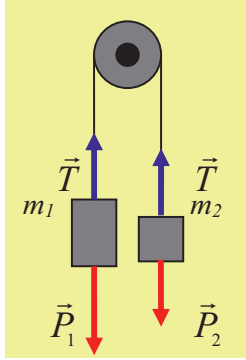
Birinci cisme etki eden kuvvetler: $\vec{P}_1 = m_1 \vec{g}$ ağırlık kuvveti ve \vec{T}_1 ipliği sıkın kuvvet. İkinci cisme etki eden kuvvetler: $\vec{P}_2 = m_2 \vec{g}$ ağırlık kuvveti ve \vec{T}_2 ipliği sıkın kuvvet. Birinci cismin vektörel hareket denklemi:

$$m_1 \vec{a} = \vec{P}_1 + \vec{T}$$

3. Dinamik

$$m_2 \vec{a} = \vec{P}_2 + \vec{T} \text{ ikincisinden ise:}$$

Denklemlerin izdüşümleri şunları verirler:



$$\begin{aligned} m_1 a &= P_1 - T; \\ m_2 a &= -P_2 + T \\ (m_1 + m_2)a &= P_1 - P_2 \\ a &= (m_1 - m_2)g / (m_1 + m_2) \\ a &= (1,81,2)9,81 / (1,8+1,2) \\ a &= 0,6 \cdot g / 3 \\ a &= 0,2g = 1,96 \text{ m/s}^2. \end{aligned}$$

T denklemlerden birinde değiştirilirse
 $1,8 - 1,96 = 1,8 - 9,8 - T$
 $T = 14,1 \text{ N}$

Örnek. Kütlesi 4 kg olan cisim yatay düzlemde kütlesi 1 kg olan ağırlığın etkisinden kayar, hareket etmeyen makaradan bir ipliğe bağlı bulunur, Şekilde olduğu gibi. Kayma esnasında sürtünme sabitesi düzlem üzerinde kayan cismin 0,1 dir. Sistemin hızlaması ve ipliğin sıkma kuvveti bulunsun. Makara ile sürtünme ve ipliğin kütlesi göz önünde alınmaz. İplik gerilmez.

Çözüm: Cisimlere etki eden kuvvetler çizilir. Önceki örnekte olduğu gibi her iki cisimde ipliği sıkma kuvvetleri aynıdır ve etki ve tepki yüzünden birbirini yok ederler. Cisimler aynı hızlama ile hareket ederler.

Birinci cisme etki eden kuvvetler: $\vec{P}_1 = m_1 g$ ağırlık kuvveti, \vec{F}_R normal tepki kuvveti, \vec{F}_{TR} sürtünme kuvveti cisim ve düzlem arasında ve \vec{T}_1 ipliği sıkma kuvveti. İkinci cisme etki eden kuvvetler:

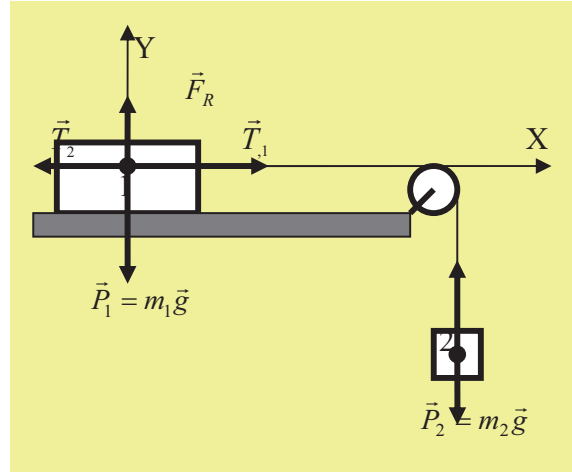
$\vec{P}_2 = m_2 g$ ağırlık kuvveti ve \vec{T}_2 ipliği sıkma kuvveti.

Cismin hareket denklemleri vektörel şekilde şöyle verilmiştir:

$$m_1 \vec{g} + \vec{T} + \vec{F}_R + \vec{F}_{tr} = m_1 \vec{a}$$

Ağırlığın hareket denklemleri şöyle verilmiştir:

$$m_2 \vec{g} + \vec{T} = m_2 \vec{a}$$



Vektörel denklemler X ve Y eksenleri boyunca ayrılırlar:

Ağırlık için: X eksen: $F_R - m_1 g = 0$

Y eksen: $T - F_{tr} = m_1 a$

$$F_R = m_1 g$$

$$F_{tr} = \mu F_R = \mu m_1 g$$

$$T - \mu m_1 g = m_1 a$$

Ağırlık için: Y eksen: $m_2 g - T = m_2 a$

X eksenindeki izdüşümün uzunluğu sıfır dır.

Denklemler sistemi elde edilir:

$$T - \mu m_1 g = m_1 a$$

$$m_2 g - T = m_2 a$$

Beraber çözüm şunu verir:

$$a = \frac{g(m_2 - \mu m_1)}{m_1 + m_2}$$

$$T = m_2 g - m_2 a$$

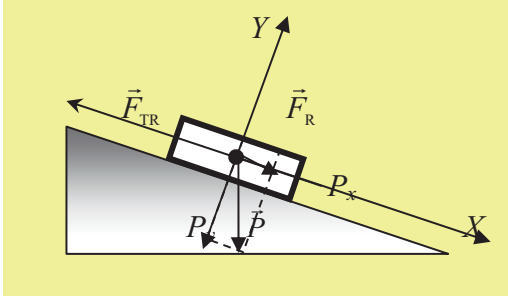
$$a = \frac{9,81(1 - 0,1 \cdot 4)}{1 + 4} = 1,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$T = 1 \cdot (9,8 - 1,2) = 8,6 \text{ N}$$

Örnek. Küçük cisim açısı α olan eğik düzlemde kayar. Cisim ile düzlem arasında sürtünme vardır. Düzleme göre cismin hızlaması bulunsun.

Çözüm: Şekil çizilir, şekilde kuvvetler tanımlanır. Cisim etki eden kuvvetler ağırlık kuvveti \vec{P} , sürtünme kuvveti \vec{F}_{TR} , düzlemin tepki kuvveti \vec{F}_R .

3. Dinamik



Şekil

Düzlemle koordinat sistemi bağlanır ve vektörel hareket denklemini kordinatlara paylaşıyoruz (ayırırız):

$$m\vec{g} + \vec{F}_R + \vec{F}_{tr} = m \vec{a}$$

X eksenine izdüşümü: $-F_{tr} + P_x = ma$

Y eksenine izdüşümü: $F_R - P_y = 0$

$$F_R = P_y$$

Şekilden şunu tanımlayabiliriz:

$$P_y = mg \cos \alpha$$

$$P_x = mg \sin \alpha$$

$$F_{tr} = \mu F_R = \mu mg$$

$$mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha = ma$$

hızlama için şunu elde ederiz:

$$a = g (\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$$

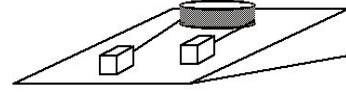
Eğer sürtünme göz önüne alınmazsa denklem şöyle yazılır:

$$a = g \sin \alpha$$

Doğru olarak incelenen cisme etki eden kuvvetlerin yönleri belirlenmesi için, şunlar unutulmamalı: ağırlık kuvvetinin yönü aşağıya doğrudur; düzlemin tepki kuvveti sürtünme olmadığı zaman; ipliği sıkan kuvvet. Yerküre yüzeyi yakınında bulunan cisimler için ağırlık kuvveti ve cisimlerin dolaysız temasta buldukları oluşan kuvvetler. Farklı cisimler arasında var olan çekme kuvvetleri o kadar küçüktür, yerçekimi kuvvetine göre, her ödevde, özel not alınmamışsa, göz önünde alınmazlar.

SORULAR, ÖDEVLER, ETKİNLİKLER

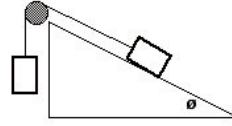
1. Kütleleri 2 kg ve 6 kg olan iki küp tel yardımı ile sürtünmesi olmayan makaradan üzerinden bağlıdır. Her iki cisim açısı 30° olan eğik düzlemde hareket ederler, sürtünme sabitesi $\mu = 0,18$ dir. Her iki cismin hızlaması ve teli geren kuvvet bulunsun. Telin kütlesi göz önüne alınmaz.



Şekil

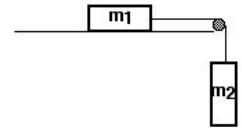
(Cevap. $0,9 \frac{m}{s^2}$; 66,3 N)

2. Ağırlığı 5 kg olan kütle 4 m uzunlukta pano üzerinde 20 kg ağırlığında cisim onu çekerek hızlama sü-kûnetten yapmağa başlar, Şekle bak. Panonun açısı 30° dir ve sürtünme sabitesi 0,26



dır. Ağırlığı 5 kg olan cismin hızlaması pano boyunca bulunsun, hızlama esnasında ipliğin sıkılma kuvveti bulunsun. (Cevap. $6,86 \text{ m/s}^2$; 44,8 N).

3. Ağırlığı 20 kg olan cisim iplik yardımı ile ağırlığı 5 kg diğer bir cisim ona bağlıdır ve asılı durumda bulunur. Sürtünme sabitesi 0,2 ise, hızlaması ve ipliği sıkan kuvvet bulunsun? (Cevap. $0,39 \frac{m}{s^2}$ 41,25 N).



4. Uzunluğu 4 m ve ağırlığı 6 kg olan çubuğun kenarlarında ağırlıkları 16 kg ve 10 kg cisimler yerleştirilmiştir. Onların kütle merkezi bulunsun. Çizilsin. (Cevap. 16 kg dan 1,625 m).

Aşağıdaki her kavramın önemi açıklansın.

- elastik kuvvet
- sürtünme kuvveti
- ağırlık kuvveti ve ağırlık
- kütle merkezi

4. Gravitasyon

4. GRAVİTASYON

Medeniyetin başlangıcında gezegenlerin ve diğer gök cisimlerin hareketleri için insanları hayretlere düşürmüştür. Yüzyıllar boyunca çok sayıda bilim adamları gök cisimlerin davranışlarını incelemişler ve onlar hakkındaki bilgilerden onlara uygun modeller tanımlamağa uğraşmışlar.

Antik zamanında Yerküre gezegenlerin merkezini oluşturduğu düşüncesindeymişler. O zamandaki inançlara göre, Yerküre plak gibi, yıldızlar doğudan doğar ve batıda kavuşur fikrindeymişler. Öyle bir jeomerkez bilime göre, Yerküre uzayın merkezini oluşturur ve diğer gök cisimleri onun etrafında dönermişler.

Jeomerkez bilime göre Aleksandriya'dan **Klavd Ptolomey** M.Ö. II'ci yüzyılda yaşayan jeomerkez sistemi dünyasını kurmuştur, ona göre Yerküre bir plak gibi, su ile çevrili ve su üzerinde yüzermiş. Yerküre üzerinde yedi kristal küre bulunur ve dairesel yörüngelerde Güneş, Ay ve diğer o dönemde bilinen gök cisimleri hareket edermişler. O kürelerin en büyüğünde hareket etmeyen yıldızlar yerleştirilmiştir. Ptolomey'in jeomerkez sistemi bilimde 1500 yıl sürmüştür.

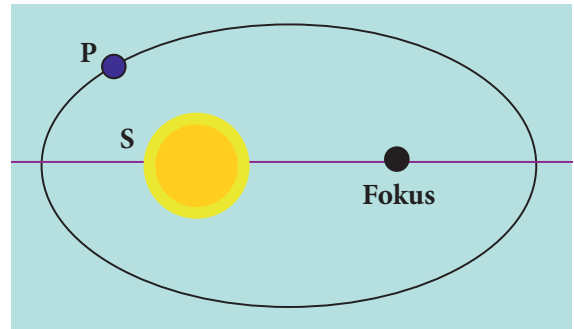
Nikola Kopernik Güneş gezegenler sisteminin XV'ci y.y. heliomerkez bilimini kurmuştur, ona göre Güneş uzayın merkezini oluşturur gezegenler ise onun etrafında dairesel yörüngelerde dönerler, Ay ise Yerküre'yi bir kez 27 günde döner. Yerküre ise kendi eksenini etrafında gündüz gece bir kez olarak batıdan doğuya döner. **Heliomerkez sistemi** yardımı ile Kopernik gündüz ve gece değişimini, Ay'ın değişimini birde Güneş ve Ay'ın tutulmasını açıklayabilirmiş. Orta çağda, kilisenin hüküm sürdüğü dönemde Kopernik'in buluşları sapıklık olarak reddedilmiştir.

O zaman için ünlü bir astronot olarak, XVI y.y., **Tiho Brahe** de sayılır, Ptolomey'in sistemi üzerine durarak, gezegenlerin yörüngelerini gözlemlemiştir ve Kopernik'ten daha net sonuçlar elde etmiştir. Tiho Brahe'nin öğrencisi olan **Yohanes Kepler**, Tiho Brahe'nin buluşları Mars gezegeninin hareketi hakkında teorik bilgi kurmayı denemiştir. Kepler heliomerkez biliminde gezegenlerin hareketine Mars gezegenin Yerküre etrafında eliptik yörüngeyi dönmesini uygulamıştır, diğer gezegenler hakkında ise daireye yakın bir yörüngede hareket ettiklerini söylemiştir.

4.1. KEPLER KANUNLARI

Mars'ın hareketi için elde edilen sonuçlar, Kepler o dönemde bilinen gezegenlerin hareketleri için uygulamıştır ve gezegenlerin kinematığı ile ilgili üç kanun kurmuştur.

Birinci Kepler kanunu: Gezegenlerin yörüngeleri elips biçimindedirler ve fokus noktalarının birinde Güneş bulunur, (Şekil 1.). Bu kanuna *yörüngeler kanunu* denir.

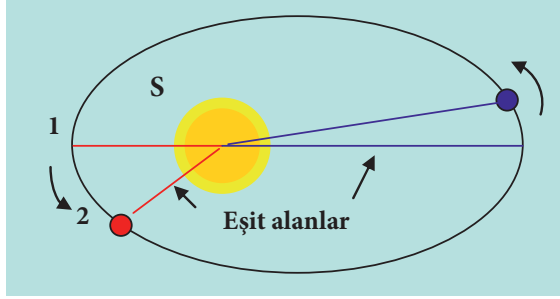


Şekil 1.

İkinci Kepler kanunu: Gezegen ile Güneş arasındaki radyus vektör aynı zaman aralığında eşit yüzeyli alanlar çizer, (Şekil 2). Bu kanuna *alanlar kanunu* denir.

4. Gravitasyon

İkinci kanundan şu karara varılabilir gezegenler 1 ve 2 noktaları arasında daha hızlı hareket ederler nitekim 3 ve 4 noktaları arasında.



Şekil 2.

Üçüncü Kepler kanunu: Güneş etrafında eliptik yörüngede hareket eden herhangi gezegenin periyotunun karesi elips yarı ekseninin üçüncü derecesi ile orantılıdır. Buna *periyotlar kanunu* denir. Mars ve Merkür gezegenleri hariç tüm gezegenlerin yörüngeleri hemen de daire şeklindedir, gezegenlerden Güneş'e kadar ortalama uzunluk R yarı eksen a 'ya eşittir.

$$T^2 \approx a^3 \quad (1)$$

Bu kanunu diğer bir şekilde temsil edebiliriz:

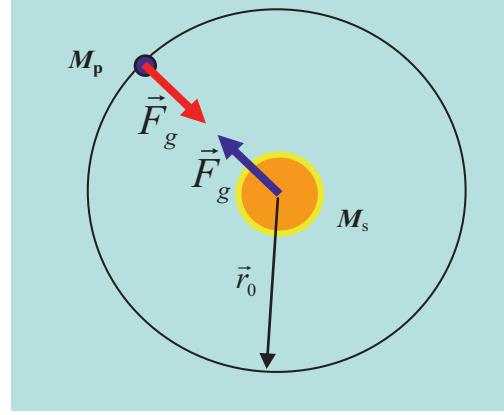
$$\frac{T_1^2}{a_1^3} = \frac{T_2^2}{a_2^3} = \frac{T_3^2}{a_3^3} = K \quad (2)$$

Birinci gezegenin periyodu ve mesafesi endeks bir ile işaret edilmiştir, ikincisi endeks iki ile, üçüncü gezegen endeks üç ile. Güneş sisteminin gezegenleri için K sabitesi eşittir, buna **Kepler sabitesi** denir.

4.2. GRAVİTASYON İÇİN NEFTON KANUNU

Gezegenlerin yörüngelerdeki hızları ve periyotları gravitasyon için Nefton kanunuyla hesaplanır. Kütleli M_p olan gezegen Güneş etrafında yarıçapı r olan yörüngede hareket eder, Güneş'in kütleli M_s dir (Şekil 3.). Güneş'in gezegene etki

ettiği gravitasyon kuvveti F_g şunlardan ibarettir gravitasyon sabitesi G , Güneş kütleli M_s ve gezegen kütleli M_p birbiriyle çarpımı ve bu çarpım yarıçapın karesi ile bölünür. Bir birimlik radyus vektör \vec{r}_0 Güneş'ten gezegene doğru yönlüdür.



Şekil 3.

$$\vec{F}_g = -G \frac{M_p \cdot M_s}{r^2} \vec{r}_0 \quad (3)$$

G sabitesi **gravitasyon sabitesi** dir ve değeri $G = 6,673 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$. Bu değer tüm cisimler için eşittir ve dünyada önemli sabitelerden biridir. Gravitasyon sabitesinin küçük değerinden ötürü, gravitasyon kuvvetleri büyük kütleli cisimler için önemli olacaktır, gök cisimleri gibi.

Gravitasyon kanunu cisimlerin maddesel noktalar oluşturdukları üzere kurulmuştur, daha doğrusu cismin tüm kütleli bir nokta üzerinde sanki yoğunlaşmıştır. Bu şart Güneş'i ve gezegenleri idare eder, gezegenleri birbirleri arasında, gezegenler ve uyduları, birbirleri arasında büyük mesafeden dolayı.

Gezegenler Güneş etrafında benzer dairesel yörüngede hareket ederler onlara etki eden kuvvet normal (merkezcil) hızlama ile bağlıdır ve şuna eşittir ($F = m \cdot a_n$):

$$\vec{F}_c = -\frac{M_p \cdot v^2}{r} \vec{r}_0 \quad (4)$$

4. Gravitasyon

Yörünge dairesel şekilde olduğu zaman, iki kuvvet eşitletilir:

$$\vec{F}_g = \vec{F}_c \quad (5)$$

$$G \frac{M_p \cdot M_s}{r^2} = \frac{M_p \cdot v^2}{r} \quad (6)$$

$$v^2 = G \frac{M_s}{r} \Rightarrow v = \sqrt{G \frac{M_s}{r}} \quad (7)$$

Sonuç olarak gezegenlerin hızının karesi gravitasyon sabitesi ve Güneş'in kütlesi M_s çarpımına ve bu çarpımın yarıçapla bölünmesine eşittir. Gezegenin hızı kendi kütlesine bağlı değildir.

Gezegenin periyotunu, gravitasyon için Newton'un kanunuyla tanımlarız:

$$T^2 = \frac{4\pi^2 r^3}{G \cdot M_s} = K_s \cdot r^3 \quad (8)$$

Gördüğümüz gibi denklem (8), Keplerin üçüncü kanunu verir.

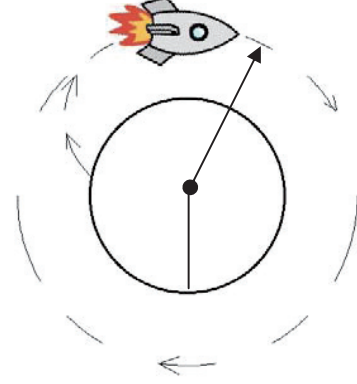
Yerküre ve Ay arasında gravitasyon etkisi mevcuttur. Gravitasyon kuvveti Yerküre'nin Ay'a yakın olan kısmında daha şiddetlidir, onun ters tarafında ise daha zayıf dır, bunu dünya üzerinde bulunan su miktarı sabit olmamasıyla kanıtlar, öyle ki bazen bir metre yüksekliğe çıkar ya da bir metre aşağı iner. Bu olay günde iki kez tekrarlanır.

4.2.1. Gravitasyon potansiyel enerjisi

Kütlesi m olan cisim diğer büyük kütleli M bir cismin etrafındaki dairesel hareketi incelen-sin, Şekil 4. Gravitasyon için Nefton kanununu kullanarak, sistemin potansiyel enerjisi U belirlenebilir.

Gravitasyon kuvveti muhafazakâr olduğu için, onun yapmış olduğu iş potansiyel enerjisinin değişimine eşittir:

$$\Delta U = U_1 - U_2 \quad (9)$$

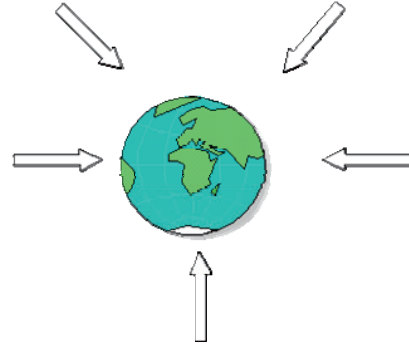


Şekil 4.

Gravitasyon potansiyel enerjisi şu denklemle belirlenir:

$$U = -G \frac{M \cdot m}{r} \quad (10)$$

Negatif işareti gravitasyon kuvvetin çekimsel olduğunu gösterir.



Şekil 5. Gravitasyon kuvvetin çekme etkisi

Kütlesi M olan cisim tarafından oluşturulan alanda, kütlesi m olan cimin yapacağı iş alan R_z 'den yükseklik h kadar, şöyle olacak:

4. Gravitasyon

$$A = GmM \left(\frac{1}{R_z} - \frac{1}{r} \right) \quad (11)$$

Kütlesi m olan cisim kütlesi M olan cismin merkezinden r uzaklıkta bir noktada bulunur, kütlesi m olan cisim bulunduğu noktadan sonsuz bir noktaya hareket etmesiyle, potansiyel enerjisi gravitasyon kuvvetinin yaptığı işe eşittir.

$$A = GmM \left(\frac{1}{R_z} - \frac{1}{\infty} \right) = GmM \frac{1}{R_z} \quad (12)$$

Sistemin kinetik enerjisi küçük cismin ve büyük cismin kinetik enerjileri toplamına eşittir:

$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2} + \frac{M \cdot V^2}{2} \quad (13)$$

Küçük cismin hızı v , büyük cismin hızı V dir. Cisim Yerküre'ye daha yakın olduğu zaman potansiyel enerjisi daha büyüktür ve uzaklaşmasıyla azalır. Cisim Yerküre ya da Güneş etrafında döndüğü zaman toplam enerjisi sabittir. Büyük cisim hareketsiz olduğu için onun kinetik enerjisi denklem (13)'te sıfır dır. O durumda cismin toplam enerjisi enerji korunum kanunuyla verilir ve potansiyel ve kinetik enerjileri toplamı oluşturur:

$$E = \frac{m \cdot v^2}{2} + \left(-G \cdot \frac{M \cdot m}{r} \right) = const \quad (14)$$

Cismin dairesel hareketi esnasında onun hızı ve yarıçapı sabittir.

Küçük cisme etki eden kuvvet gravitasyon kuvveti dir ve merkezci kuvvete eşittir çünkü büyük cismin etrafında döner:

$$G \cdot \frac{M \cdot m}{r^2} = \frac{m \cdot v^2}{r} \quad (15)$$

Denklemin sağ kısmı kinetik enerji şekline getirilir eğer 2 ile bölünürse:

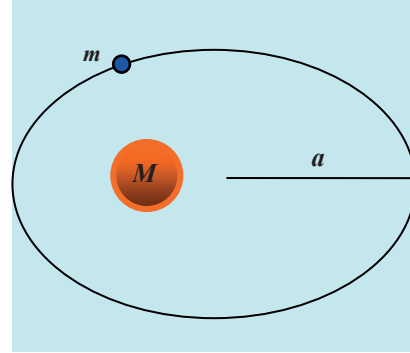
$$G \cdot \frac{M \cdot m}{2r} = \frac{m \cdot v^2}{2} = E_k \quad (16)$$

Kinetik enerjisi her zaman pozitif büyüklüktür ve onun büyüklüğü potansiyel enerjinin yarısına eşittir. Toplam kinetik enerji denklemi:

$$E_{vk} = -G \cdot \frac{M \cdot m}{2r} \quad (17)$$

Denklemden görüldüğü gibi dairesel yörünge için toplam enerji negatif dir. Negatif mekanik enerjinin fiziksel temsil edilmesi küçük cisim büyük cisme bağlı olmasıyla yapılır. Eliptik yörüngeler için aynı enerji denklemi verilir sadece yarıçap yerine yarı eksen a verilir:

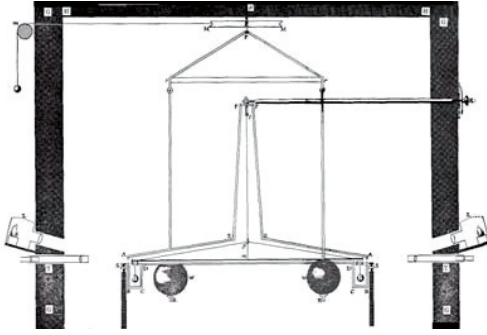
$$E = -G \cdot \frac{M \cdot m}{2a} \quad (18)$$



Şekil 5.

Temel gravitasyon denklemin kurulmasından 100 yıl ilk kez olarak gravitasyon sabitesinin değeri Henri Kevendiş (Henry Cavendish, 1731-1810) tarafından ölçülmüştür. Bu amaç için Kevendiş gravitasyon terazisi kullanılmıştır, Şekil 6.

4. Gravitasyon



Şekil 6.

Kurşundan iki büyük top her biri 10 kg ağırlığında, kütleleri 50 g olan topçukları çekmek için yerleştirilmişler. Toplar asılı buldukları destekte her iki yöne dönebilirler ve küçük topçukları çekebilirler. Bunun yardımı ile gravitasyon kuvveti ölçülür. Kevenmiş teraziyi kendi evinde yerleştirir ve kapıları ve pencereleri çivileyerek hava akımının olmaması için önlemler almıştır. Sonuçları ev duvarının birinde yerleştirilen teleskop yardımı ile almıştır. Kevenmiş o dönemde gravitasyon sabitesinin değerini verir bir de Yerküre'nin kütlesi için şu değeri vermiştir $m = 6 \cdot 10^{24}$ kg.

Gravitasyon sabitesinin G değerini bulunmakla Güneş ve gezegenlerin kütleleri bulunması sağlanmıştır. Örnek, Jüpiter uydularının hızlamasını gözetlemekle Jüpiter'in kütlesi hesaplanır. İleride gezegenlerin Güneş'ten buldukları uzaklıklar verilmiştir ve onların kütleleri.

Gravitasyon kuvvetleri küçük parçacıklarda çok küçüktür, büyük kütleli cisimlerde fark edilir. Büyük cisimlerde temel kuvvetleri oluştururlar, örneğin gezegenler ve onların uydularında. Gravitasyon kuvvetleri uzak mesafelerde

etki eden kuvvetler dir. Kısa mesafelerde azalır lar daha doğrusu mesafelerinin karesiyle azalır lar.

	Güneşten ortalama uzaklık olarak Dünyanın kütle birimi	Dünyanın kütle birimi
Güneş	-	330 000
Merkür	0,38	0,056
Venüs	0,72	0,82
Dünya	1	1
Mars	1,5	0,11
Jüpiter	5,2	320
Satürn	9,5	95
Uranus	19	14
Neptün	30	17

Tablo 1.

Tablo 1'de gezegenlerin kütleleri ve Güneş'ten ortalama uzaklıkları verilmiştir.

4.3. UYDULAR, KOZMİK HIZLAR

Cisim Yerküre etrafında dönmesi için yukarıya fırlatılır. Gravitasyon kuvvetinin etkisinden dikey yörüngeli hareketten yatay yörüngeli harekete geçer ve yörünge cismin hareket hızına bağlıdır. Hareket küçükse cisim gravitasyon kuvveti etkisinden yere düşer. Cismin hızı ne kadar büyükse cisim o kadar büyük mesafeyi geçer. Eğer hız yeterli büyük olduğu zaman cisim bir yörünge de Yerküre'yi dönmeye başarır. Hızın büyümesiyle cisim dairesel yörüngeli hareketten eliptik yörüngeli harekete geçer, gravitasyon kuvvetini yener ve Yerküre'ye düşmez. Cisim Yerküre'nin uydusu olması için ona gereken hız merkezci ve gravitasyon kuvvetlerinin eşit olması gerekir:

4. Gravitasyon

$$ma = m \frac{v^2}{r} = G \frac{Mm}{r^2} \quad (1)$$

Yukarıdaki denklemde m cismin kütlesi dir, M Yerküre'nin kütlesi dir ve r Yerküre yarıçapı dır. Dünya etrafında hareket eden cismin hızı:

$$v = \sqrt{G \frac{M}{r}} \quad (2)$$

Bu denklem herhangi bir uyduya uygulanabilir, eğer bir uydu büyük bir cisim etrafında dairesel hareketi yaparsa denklem uygulanır.

Cismin başlangıç hızı \vec{v}_0 yörüngesinin başlangıç noktasında küçükse, o zaman cisim Yerküre üzerin düşer. Öyle harekette cismin yörüngesi parabol gibidir. Yerküre'nin küre gibi şekli ve ağırlık kuvvetinin değişimiyle ikinci Nefton kanununa uygun, o yörünge elips yörüngesinin bir kısmı olması sağlanır ve fokus noktası Yerküre'nin merkezinde bulunur. Küçük hızlarda elips genişler ve hızın büyümesiyle bu genişlik azalır ve kendi başlangıç noktasından uzaklaşır. Sonunda cisim Dünya etrafında bir dairede döner ve sürtünme kuvvetleri göz önüne alınmazsa, cisim Dünya'nın uydusu olur.

Yerküre'nin uydusu olması için cismin gerektiği hızına **birinci kozmik hızı** denir. Cisim Yerküre'den birkaç kilometre uzaklıkta bulunursa Nefton'un ikinci kanununa göre Yerküre'nin merkezinden uzaklık Yerküre'nin yarıçapına eşittir ve şöyle yazılabilir:

$$m \cdot a_r = G \cdot \frac{m \cdot M_z}{R_z^2} \quad (3)$$

$$\frac{m \cdot v_1^2}{R_z} = G \cdot \frac{m \cdot M_z}{R_z^2} \quad (4)$$

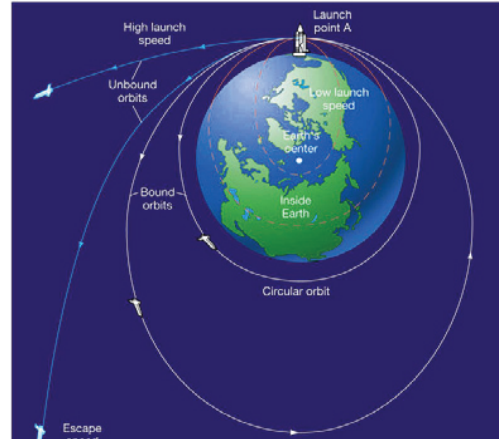
şu denklem elde edilir:

$$v_1 = \sqrt{G \cdot \frac{M_z}{R_z}} = \sqrt{g \cdot R_z} \quad (5)$$

Sayı değerleri değiştirmekle ($R_z = 6371 \text{ km}$; $g = 9,81 \text{ m/s}^2$), birinci kozmik hızı $v_1 = 7,9 \cdot 10^3 \text{ m/s} = 7,9 \text{ km/s}$.

Hava direncini göz önünde bulundurmak için, cismin yüksekliği yeterli büyük olması gerekir birinci kozmik hızı için. Küçük hızlarda uydu Yerküre'ye düşer, büyük hızlarda ise cismin yörüngesi eliptik gibi dir.

Yerküre'yi terk etmesi, Yerküre'nin gravitasyon kuvvetini yenmesi ve Güneş'in yapay uydusu olması için bir cismin fırlatılması hızına **ikinci kozmik hızı** denir. Bu hıza bir de **parabolik hızı** denir.



Şekil 1.

4. Gravitasyon

Yerküre'nin gravitasyon alanından serbestlenmesi için cisme gereken minimum enerji şu denklemle belirlenir:

$$\frac{m \cdot v_2^2}{2} - G \cdot \frac{m \cdot M_z}{R_z} = 0, (E_0 = 0)$$

$$v_2 = \sqrt{2 \cdot \frac{G \cdot M_z}{R_z}} = \sqrt{2 \cdot g \cdot R_z} \quad (6)$$

Birinci ve ikinci kozmik hızların denklemleri kıyaslanılırsa:

$$v_2 = v_1 \cdot \sqrt{2} = 11,2 \text{ km/s} \quad (7)$$

Yıldızlar arası uçuşları için **üçüncü kozmik hızı** v_3 önemli dir. Güneş sistemin sınırlarından uzaklaşması için bir cisme gereken hız en az üçüncü kozmik hızı kadar olması dır, daha doğrusu bununla Yerküre'nin ve Güneş'in gravitasyon kuvvetlerini yenmektedir. Bu hızın bulunması enerji korunum kanunuyla yapılır:

$$\frac{m \cdot v_3^2}{2} - G \cdot \frac{m \cdot M_s}{R_{zs}} = 0 \quad (8)$$

M_s Güneş'in kütlesi, R_{zs} Yerküre'nin Güneş etrafındaki yörüngesinin yarıçapı. Üçüncü kozmik hızı şöyle elde edilir:

$$v_3 = \sqrt{2 \cdot \frac{G \cdot M_s}{R_{zs}}} = 42 \text{ km/s} \quad (9)$$

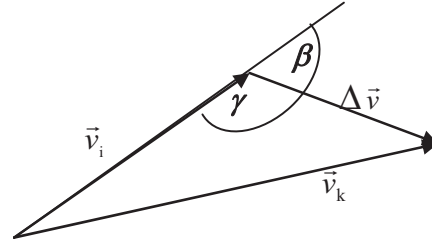
Dünya'nın Güneş etrafında dönme hızı $v_{orb} = 29,8 \text{ km/s}$. Yerküre üzerinde bulunan bir cisim onunla beraber Güneş etrafında döner. Üçüncü

kozmetik hızının değeri Güneş etrafındaki yörüngede hareket eden Yerküre yönüne bağlıdır, aynı yönde yoksa ters yönde cisim fırlatılır.

Kıtalar arası bağları için jeostasyoner uyduları önemlidir ekvator alanında hareket ederler ve sürekli bir nokta üzerinde sabitlenirler.

Cisim bir yörüngeden diğer bir yörüngeye geçmesini inceleyelim. Yörüngesinin değişmesi için uydu enerjisinin tümü değişmesi gerekir. Diyelim ki enerji değişimi hızın değişiminden kaynaklanır, $\Delta \vec{v}$. Eğer \vec{v}_i başlangıç hız ise, \vec{v}_k bileşke hızı temsil eder:

$$\vec{v}_k = \vec{v}_i + \Delta \vec{v} \quad (10)$$



Şekil 2.

Bu vektörlerin büyüklüğü kosinüs teoremi ile elde edilir, nerde ki ($\beta = 180^\circ - \gamma$, $\cos \gamma = -\cos \beta$):

$$v_k^2 = v_i^2 + \Delta v^2 + 2v_i \Delta v \cdot \cos \beta \quad (11)$$

β açısı daha düşük yörüngesinin hızı \vec{v}_i ve diğer yörüngeye geçme hız değişimi $\Delta \vec{v}$ açısını oluşturur. Enerji değişim vektör \vec{v}_i ve vektör $\Delta \vec{v}$ koliner oldukları zaman en büyük tür, daha doğrusu onlar arasındaki ($\beta = 0$) sıfır ve vektör \vec{v}_i maksimum dur.

Örnek, uyduyu eliptik yörüngeden Yerküre'nin yörüngesinin çıkışından taşımak için, en uygun impulsun hızla koliner olmasıdır.

4. Gravitasyon

Eğer Mars'a gemi göndermek istersek onun hareketi şöyle tanımlanır: Gemi ilkönce jeomerkez hiperbole göre hareket eder Yerküre'nin gravitasyon alanından çıkınca ve Güneş tarafından çekilecek. Sonrasında Güneş'in eliptik yörüngesinde Mars'a doğru hareket edecek. Mars'ın gravitasyon alanına girince, Mars'ın gravitasyon kuvveti Güneş'in gravitasyon kuvvetinden daha büyük tür, gemi hiperbolik yörüngede hareket edecektir.

Sorular: Jüpiter gezegeni Dünyadan daha büyük kütlelidir yani 300 kez kadar, Jüpiter'de Dünyadakinden 300 kez ağır olmamız gerekir. Doğru olan şudur ki Jüpiter'de cisim üç kez daha ağırdır. Bu neden böyledir?

Örnek 1. Güneş etrafında dönen Yerkürenin bağlama enerjisi hesaplınsın. Yerküre'nin kütlesi $m=5,98 \cdot 10^{24}$ kg, Güneş'in kütlesi $M_s = 1,991 \cdot 10^{30}$ kg, Yerküre ile Güneş arasındaki mesafe $r_z = 1,496 \cdot 10^{11}$ m/s ve $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ Nm²/kg².

Çözüm:

$$E = -G \cdot \frac{M \cdot m}{2a}$$

Bağlama enerjisi $-2,65 \cdot 10^{33}$ J.

Örnek 2. Yerküre Güneş etrafında ne kadar hızla hareket eder?

Güneş'in kütlesi $M_s = 1,991 \cdot 10^{30}$ kg, Yerküre ile Güneş arasındaki ortalama mesafe $r_z = 1,496 \cdot 10^{11}$ m/s ve $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ Nm²/kg².

Çözüm: $v = \sqrt{G \cdot \frac{Ms}{r}} =$

$$= \sqrt{6,67 \cdot 10^{-11} \frac{1,991 \cdot 10^{30}}{1,496 \cdot 10^{11}}} = 2,98 \cdot 10^4 \text{ m/s}$$

Eğer cisme etki eden gravitasyon kuvveti tek kuvvet alınırsa, ikinci Nefton kanunundan dairesel yörüngede gezegenin merkezci hızlaması bulunur:

$$M_p \vec{a}_c = -G \cdot \frac{M_p \cdot M_s}{r^2}$$

$$\vec{a}_c = G \cdot \frac{M_s}{r^2}$$

Gezegenin merkezci hızlaması gezegenin kütlesine bağlıdır, gravitasyon sabitesi ile Güneş kütlesinin çarpımı ve bu çarpımın yarıçapın karesi ile bölünerek elde edilir.

Örnek 3. Güneş etrafında Yerküre ve Venüs'ün merkezci hızlamaları kıyaslınsın.

Yerküre ile Güneş arasındaki ortalama mesafe $r_z = 1,496 \cdot 10^{11}$ m/s, Güneş'in kütlesi $M_s = 1,991 \cdot 10^{30}$ kg, Venüs ile Güneş arasındaki ortalama mesafe $r_v = 1,08 \cdot 10^{11}$ m/s, ve gravitasyon sabitesi $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ Nm²/kg².

Çözüm:

$$\begin{aligned} \frac{\vec{a}}{\vec{a}_c} &= \left(G \cdot \frac{Ms}{r_v^2} \right) / \left(G \cdot \frac{Ms}{r_z^2} \right) = \left(\frac{r_z^2}{r_v^2} \right) = \\ &= \left(\frac{1,496 \cdot 10^{11}}{1,08 \cdot 10^{11}} \right)^2 = 1,92 \end{aligned}$$

Gezegenin dairesel periyotunu hız için elde edilen denklem yardımı ile belirleriz. Hız zaman biriminde geçilen yolu temsil ederse, dairesel harekete uygulanırsa, geçilen yol dairenin uzunluğudur, bir kez dönüşün zamanı periyotu T oluşturur:

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

4. Gravitasyon

Bu denklem kareye kaldırılırsa:

$$v^2 = \frac{4\pi^2 r^2}{T^2} \Rightarrow v^2 = G \cdot \frac{M_s}{r}$$

Bu iki denklemi eşitleştirerek, şunu elde ederiz:

$$G \cdot \frac{M_s}{r} = \frac{4\pi^2 r^2}{T^2}$$

$$T^2 \cdot G \cdot M_s = 4\pi^2 r^3$$

$$T^2 = \frac{4\pi^2 r^3}{G \cdot M_s}$$

Görüldüğüne göre gezegenin periyodu kendi kütlesine bağlı değildir, Güneş ile gezegen arasındaki ortalama mesafesinin üçüncü derecesine bağlıdır.

Örnek 4. Yerkürenin dönüş zamanı hesaplınsın?

Çözüm:
$$T = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{G \cdot M_s}}$$

$$= \sqrt{(2,97 \cdot 10^{-19}) \cdot (1,50 \cdot 10^{11})^3}$$
$$= 3,17 \cdot 10^7 \text{ s}$$

Aynı kanunlar uydunun Yerküre etrafında dönmesi için geçerlidir. Yerkürenin etrafında 200 km yükseklikte uydu dairesel hareketi yapar alınır. Eğer Yerkürenin yarıçapı 6400 km alınırsa, uydunun hızı şöyle hesaplanır:

$$v^2 = G \cdot \frac{M_z}{r + R_z} = 7,8 \cdot 10^3 \text{ m/s}$$

Dünya etrafında uydunun bir kez dönmesi $T=2 \cdot \pi \cdot r/v \sim 89$ dakika.

Gördüğümüz gibi bu hız roketin kütlesine bağlı değildir.

Yer	g (m/s ²)
Vest Asteroidi (yüzey)	0,3
Ay	1,6
Mars (yüzey)	3,7
Yerküre (yüzey)	9,8
Jüpiter (bulutlar)	26
Güneş (görünen yüzey)	270
Nötron yıldızı	10 ¹²
Siyah boşluk (merkez)	10 ⁵² - ∞

Tablo 2.

Yukarıda verilen tabloda farklı cisimlerin gravitasyon hızlamaları verilmiştir.

SORULAR, ÖDEVLER, ETKİNLİKLER

1. Uzay gemisi Jüpiter gezegeni etrafında 510 km uzaklıkta hareket eder. Bulunsun: a) hızı, b) periyodu.

(Cevap. a) $4,24 \cdot 10^4$ m/s; b) 2,895 h)

2. Uzay gemisinin ağırlığı 5000 kg olan Yerkürenin yüzeyinden 10000 km uzaklıktaki yörüngede yerleştirilmesi gerekir. Bulunsun: a) dairesel hareketin hız vektörü; b) dairesel hareketin kinetik enerjisini; c) harcanan toplam enerji. (Cevap. a) $4,93 \cdot 10^3$ m/s; b) $6,077 \cdot 10^{10}$ J; c) $2,516 \cdot 10^{11}$ J).

İlerideki temel kavramları açıklayın ve kanunları tanımlayın

- Kepler kanunları
- gravitasyon temel kanunu
- gravitasyon potansiyel enerjisi
- kozmik hızlar
- gravitasyon sabitesi
- jeostasyonel uydular

5. İŞ VE ENERJİ

Bir mekanik sistemi oluşturan cisimler birbirine etki ederler, aynı sisteme ait olmayan cisimlere aynen etki ederler. Bununla ilgili, verilen sistemin cisimlerine etki eden kuvvetleri **iç ve dış** olarak ayırırız. Mekanik sistemde cisimler birbirine etki ettiği kuvvetlerle iç kuvvetleri oluşturur, dış cisimlere etki ettikleri kuvvetlerle dış kuvvetleri oluştururlar. Eğer verilen sistemin cisimlerine etki eden dış kuvvetler olmadığı zaman, o sisteme kapalı sistem denir. Doğada tüm olaylar için ve tüm cisimler için hangi sitem için söz konusu olduğu fark etmez geçerli olacak kanunlar icat edilmesi gerekir. Öyle kanunlar korunum kanunları gibi kurulmuşlardır ve doğada genel kanunları temsil ederler. Enerji korunum kanunu, impuls korunum kanunu, impuls momenti korunum kanunu gibileri dirler. Bu kanunlar mekanik olayları araştırmak için güçlü araçları oluştururlar. Korunum kanunları maddesel noktanın yörüngesine bağlı değildirler, ne de ona etki eden kuvvetlerin özelliklerine. Eğer bir süreç bu kanunlara karşı koyulursa, o sürecin imkânsız olması serbest denilir. Bu kanunlar ortamın ve zamanın temel özellikleri ile sıkı durumda bağlı bulunurlar ve kendilerinde bazı yeni kavramları içerirler örneğin iş kuvveti, enerji, potansiyel enerji, kinetik enerji, impuls.

5.1. ENERJİ

Enerji kavramı fizikte XIX y.y. başlangıcında dahil edilmiştir. Bugün o, sadece doğal bilimlerin temelini yanısıra, tüm yaşamın temelini oluşturur. Enerji ile bağlı olmayan etkinlin yoktur.

Enerji kelimesi eski Yunan kelimesi “energōs”tan kaynaklanır ve etkinlik anlamındadır. Enerji bir sistemin özelliği dir ve o sistemin iş yapma becerisini ifade eder. Maddenin her hareket şekli için uygun enerji türü vardır; mekaniksel

hareketinde mekaniksel enerjiyi inceleriz, sıcaklık süreçleri esnasında iç enerji için söz konusu olur, nükleer süreçlerde nükleer enerji ve sayı.

Farklı enerjilerin tanımlanması ve onların bir türden diğerine dönüşmesi, fizikte en temel kanuna ulaştırdı o da enerji korunum kanunu. Doğada enerji korunum kanunu temel kanunlardan en önemlisini oluşturur, Nefton’un hareket kanunlarından bile daha önemli. Ona göre, doğada toplam enerji değişmez, evrenin başlangıcından olduğu kadar ve o kadarı kalacak. Enerji bir türden diğer bir türe değişir, yeniden yapılanması ve yok edilmesi imkânsızdır, toplam enerji aynı kalır.

Mekanik enerji hareket eden cismin enerjisi ya da kendi durumundan ötürü enerjisi dir. Mekanik enerji kinetik (hareketteki enerji) ya da potansiyel (bulunduğu durumdaki enerji) enerji olabilir.

Enerji (mekaniksel) eylemsizlik kanunu ile sıkı bağlıdır, Galileo Galiley’in tanınmış deneyi eğik düzlem yardımı ile bulunmuştur. Eğik düzlemde hareket eden topcağız harekete başladığı yükseklikle gibi bir yüksekliğe ulaşır, demek ki öyle bir büyüklük bulunur ki topcağızın hareketi esnasında değişmez. O büyüklük *enerji* dir. Belli bir yükseklikte cismin var olan enerjisine (bir referans duruma göre ölçülmüş) *potansiyel enerjisi* denir. Topcağızın eğik düzlemde hareketi esnasında, onun hızı çoğalır. Yatay düzlemde yuvarlandığı zaman, o zaman referans durumda bulunur ve potansiyel enerjisi yoktur çünkü bulunduğu yükseklik durumu sıfır dır. Bu esnada potansiyel enerjisi hareket enerjisine dönüşür, *kinetik enerjisi* denen. Eğik düzleme yukarıya çıkarken, topcağız kendi hızını kaybeder, daha doğrusu kinetik enerjisi potansiyel enerjisine dönüşür. Ne zaman topcağız aynı yüksekliğe ulaşır, onun hızı sıfır olur, daha doğrusu tüm kinetik enerji potansiyel enerjiye dönüşür.

5. İş Ve Enerji

Diyebiliriz ki doğada tüm enerji potansiyel ve kinetik enerjiye ayrılabilir. Tüm bilinen enerji biçimleri bu iki tür enerjilerin birine getirilir.

5.2. KUVVETİN İŞİ

Cismin hareketi esnasında, onun özelliklerinden biri hızıdır. Hareket olması için cisme belli kuvvetin etki etmesi ve cismin etkinin yönünde belli mesafeyi Δx geçerek hareket etmesi gerekir. Eğer bunlar gerçekleşmemiş olsa kuvvet ne kadar zaman etki ederse etsin, cismin hareket hızında değişiklik olmaz.

Cismin hızını değiştiren kuvvetin etkisi ve etkiden ötürü zaman biriminde cisim yaptığı yerdeğişimi ile doğrudan bir bağlantı kurulabilir. Bu amaç kütlesi m olan cismin başlangıç hızı v_1 dir, Şekil 1. Eğer cisme sabit kuvvet etki ederse $F = \text{sabit}$, hareket ettiği yöne doğru, düzgün hızlanan hareket yapacaktır ve o etkiden ötürü mesafe geçecektir $\Delta x = x_2 - x_1$.

Cisim x_2 noktasında v_2 hıza sahiptir. Kuvvetin ve yerdeğişimin çarpımına *kuvvetin işi* denir.

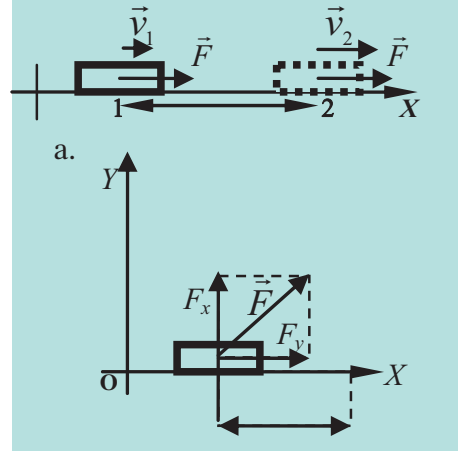
$$A = F \cdot \Delta x \quad (1)$$

Bu skaler denklemini oluşturur çünkü cismin hareket yönü ve etki eden kuvvetin yönü aynıdır. İş yapma sürecinde gelince, iş yapan cismin enerjisini etki eden diğer cisim ile değiştirir. İş kavramı ilk olarak Fransız matematikçisi Gaspar-Gustav Koriolis tarafından kullanılmıştır.

5.2.1. Sabit kuvvetin işi. Yukarıda doğrusal hareket incelendi, etki eden kuvvetin yönü ve hareket yönü çakışır. Genel olarak, kuvvet sabit $\vec{F} = \text{sabit}$ olduğu zaman ve belli açı α üzere etki eder, Şekil 1.b., XOY koordinat sisteminin X ve Y

eksenlerinde bileşke kuvvetin \vec{F} bileşenleri F_x ve F_y izdüşümleri yönlü bulunur:

$$A = F \cdot \Delta x \cdot \cos \alpha = F_x \cdot \Delta x \quad (2)$$



Şekil 2.

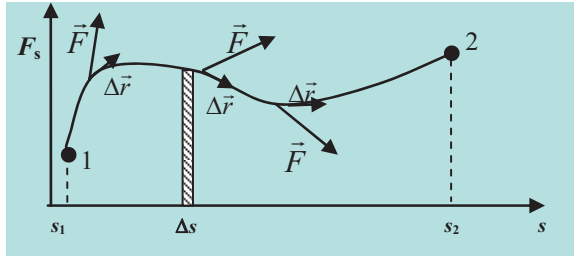
Şekilde görüldüğü gibi y eksenine göre yerdeğişimi yapılmaz, F_y bileşeni iş yapmaz. Buradan anlaşılır ki kuvvetin işi, kuvvetin yerdeğişim yönünde bileşeni ile yerdeğişimin büyüklüğü çarpımından ibarettir. Eğer kuvvet ve yerdeğişimi vektörü dar açı ($\alpha < 90^\circ$) oluştursalar, o zaman $\cos \alpha > 0$ ve iş pozitif tir, $A > 0$. Eğer $\alpha < 90^\circ$, $\cos \alpha < 0$, iş negatif tir, $A < 0$. açı $\alpha < 90^\circ$, $\cos \alpha = 0$, iş sıfır dır, $A = 0$. Son olay için örnek, masa üzerinde bulunan cisme yukarıdan aşağıya bastırmamızdır. Nekarar şiddetli bastırsak, cisim yerdeğişimi yapmaz, mekaniksel iş yapılmaz diyoruz.

Mekanik iş öyle bir büyüklüğü oluşturur ki cisim bir mekanik durumundan diğer bir mekanik durumuna geçmesi sürecini niteler. Böyle bir süreç mümkündür sadece cisme bir kuvvet etki eder ve etki yüzünden cisim yerdeğişimi yapar.

5. İş Ve Enerji

SI sistemine göre iş ölçü birimi **Jül** [J] dür. Kuvvetin 1 J iş yapmasına eğer 1 N'luk kuvvet etki yönünde cismi 1 m yerdeğişimi yaptırmasına denir. ($1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} = 1 \text{ m}^2\text{kg/s}^2$).

5.2.2. Sabit olmayan kuvvetin işi. Cisim eğri çizgi üzerinde hareket ederse ve o anda kuvvet \vec{F} büyüklük, doğrultu ve yön olarak değişirse, maddesel noktanın yörüngesi küçük parçalara ayrılması gerekir ya da maddesel noktanın hareket yönü ile çakışan küçük (temel) yerdeğişimler $\Delta\vec{r}$. Temel yerdeğişimin büyüklüğünü Δs olarak işaret edelim, $|\Delta\vec{r}| = \Delta s$, kuvvetin izdüşümü s ekseninde F_s dir.



Şekil 2.

Temel yerdeğişimi yeterli küçüktür ve o yerdeğişimi esnasında kuvvet \vec{F} sabit olarak alınır, kuvvetin temel işi şu denklemle hesaplanır:

$$\Delta A = F \cos \alpha |\Delta\vec{r}| = F \cos \alpha \Delta s = F_s \Delta s \quad (3)$$

Bu yöntemle, maddesel noktanın yaptığı temel yerdeğişimleri Δs hepsi toplanırsa, sabit olmayan kuvvetin \vec{F} toplam işi yörünge üzerindeki 1 ve 2 noktaları arasında bulunur, geçilen mesafenin her aralığındaki kuvvetin işi:

$$A_{1-2} = \sum \Delta A_i = \sum F_i \cdot \Delta s_i \quad (4)$$

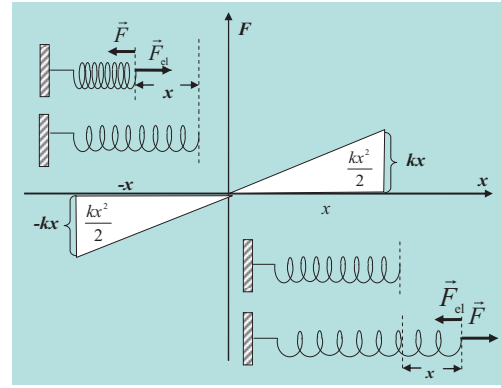
Şekil 2'de görüldüğü gibi temel iş $\Delta A = F \cos \alpha \cdot \Delta s$ çizgilenmiş dikdörtgenin yüzeyini oluşturur. Buradan cismin yerdeğişiminin toplam işi

nokta 1'den nokta 2'ye 1-2-s₂-s₁-1 şeklinin yüzeyi olacaktır.

Eğer cisme çok sayıda kuvvetler etki ederse $F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$ o zaman zaman aralığı Δt yerdeğişimi Δs yapan cismin toplam iş ΔA her kuvvetin yaptığı işlerin toplamına eşit olacaktır:

$$\begin{aligned} \Delta A &= \Delta A_1 + \Delta A_2 + \dots + \Delta A_n \\ \Delta A &= (F_1 + F_2 + \dots + F_n) \Delta s \end{aligned} \quad (5)$$

5.2.3. Elastik kuvvetin işi. Yayın deformasyonu esnasındaki iş bulunsun, Huk kanunu yardımı ile. Yavaşça uzanan yay incelensin, öyle ki her an dıştan gelen \vec{F}_{nad} kuvvet elastik kuvvetin \vec{F}_{el} büyüklüğüne eşittir.



Şekil 3.

O olayda elastik kuvveti eşittir:

$$F_{\text{el}} = -k \cdot x \quad (6)$$

denklemde x gerilmeyi ($-x$ toplamayı) temsil eder. Şekil 3'den görüldüğü gibi yayın gerilmesi dış kuvvetin yapacağı iş:

$$A_{\text{nad}} = \frac{kx^2}{2} = -A_{\text{el}} \quad (7)$$

Eğer $x < 0$, o zaman yay toplanır, elastik kuvvetin yaptığı iş pozitif dir. Elastik kuvvetin bu olayda yayı sıkıştırma yönünde bulunur.

5. İş Ve Enerji

Eğer $x > 0$, o zaman yay gerilir, elastik kuvvetin yaptığı iş negatif tir, $A < 0$. Elastik kuvvetin işi yönünün türüne bağlı değildir, maddesel noktanın başlangıç ve bitiş durumuna bağlıdır.

5.2.4. Gravitasyon kuvvetin işi. Referans sitemin başlangıç 0 noktasında kütleli m_1 olan cisim kütleli m_2 olan cisme etki ettiği kuvvet:

$$F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (8)$$

Cisim gravitasyon kuvveti etkisinden r_1 ile belirlenen nokta 1'den r_2 ile belirlenen nokta 2'ye durumunu değiştirir. m_2 kütleli cisim yerdeğışimi boyunca gravitasyon kuvvetin etkisinden yaptığı iş:

$$\begin{aligned} A &= F_g (r_1 - r_2) = G \frac{m_1 m_2}{r_s} (r_1 - r_2) \\ &= G \frac{m_1 m_2}{r_1 r_2} (r_1 - r_2) = G m_1 m_2 \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right) \end{aligned} \quad (9)$$

Burada r_s herhangi bir ortalama mesafeyi oluşturur ve $r_s^2 \approx r_1 r_2$.

5.3. GÜÇ

Her otomobil başlangıçta aynı hızla kal-kamazlar. Porşe gibi bazı otomobiller 100 km/h hıza çok kısa sürede ulaşırlar, Yugo gibi otomobiller ise bu hıza aynı zamanda ulaşamazlar. Cisimde var olan herhangi bir enerji türü zaman biriminde dönüşüm birimin güç oluşturur.

Güç diğer bir sözle yapılan iş hızıdır. Şu denklemle belirlenir:

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad (1)$$

denklemde ΔE başlangıç ve bitiş enerji farkını gösterir. Zaman Δt için kuvvetin işi F denklemi $\Delta A = F \cdot \cos \alpha \cdot \Delta x$, o zaman o kuvvetin gücü için denklem:

$$\begin{aligned} P &= \frac{\Delta A}{\Delta t} = F \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\Delta x}{\Delta t} = F \cdot \cos \alpha \cdot v, \\ P &= F \cdot v \cdot \cos \alpha = F_v \cdot v \end{aligned} \quad (2)$$

denklemde kuvvetin etkisinden \vec{v} cismin hızını oluşturur, F_v ise kuvvet \vec{F} 'in izdüşümüdür ve hızın yönündedir.

Buna göre, kuvvetin gücü onun izdüşümü olan ve cismin hızının çarpımına eşittir. SI site-me göre ölçü birimi Vat [W] dir. Güç 1 W değeri-nde 1 s zaman süresinde 1 J yapılan işe eşittir, 1 J ($1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} = 1 \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^3}$).

Eğer güç belli ise verilen zaman aralığı için yapılan iş hesaplanır:

$$\Delta A = P \cdot \Delta t$$

Yavaşça hareket eden bir kişi 50 W güç geliştirir, hızlıca hareket eden bir kişi ise 1500 W güç geliştirir.

Örnek. İnsan günde $8 \cdot 10^6$ J enerji yemekle alır ve onu tamamen iç enerjiye dönüştürür. İnsanın iç enerjisi ile 100 W'lık bir lambanın serbestlenen sıcaklık enerjisi kıyaslanınsın.

Çözüm: Serbestlenecek enerjinin zaman süresi hesaplanınsın, o bir gün süresi olmalıdır. Toplam enerji gün ve gece zaman aralığı ile bölünür:

$$\Delta t = 24 \text{ör} \cdot 60 \text{min} \cdot 60 \text{s} = 9 \cdot 10^4 \text{ s};$$

$$P_c = \Delta E / \Delta t = 8 \cdot 10^6 \text{ J} / 9 \cdot 10^4 \text{ s} = 90 \text{ J/s}$$

$$P_c = 90 \text{ W} < 100 \text{ W} \quad (P_c < P_s)$$

5. İş Ve Enerji

5.4. KİNETİK ENERJİ

Cisim harekette bulunduğu zaman iş yapabilir daha doğrusu belli hıza sahip olduğu zaman. Cismin hareketi ile bağlı olan enerjiye *kinetik enerjisi* denir. İş yapmakla enerji değişir. Bunu aşağıdaki örnekte görelim, kütlesi m olan bir cisme sabit kuvvet \vec{F} etki eder, etkisi hareket yönü ile çakışır.

Sabit kuvvetin etkisinden cisim sabit hızla hareket eder. Başlangıçta nokta 1'de hızı \vec{v}_1 dir, belli bir zaman süresi t sonrası hızı \vec{v}_2 olan nokta 2'de bulunur:

$$\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \vec{a} \cdot t \quad (1)$$

Denklem (1) kareye kaldırırken elde ederiz:

$$v_2^2 = v_1^2 + 2\vec{v}_1 \cdot \vec{a} \cdot t + a^2 t^2$$

$$v_2^2 - v_1^2 = 2\vec{a} \left(\vec{v}_1 t + \frac{\vec{a} t^2}{2} \right)$$

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2\vec{a}} = \vec{v}_1 t + \frac{\vec{a} t^2}{2} \quad (2)$$

Denklem (2)'nin sağ tarafında zaman t biriminde cismin geçtiği yolu tanımlanır:

$$\Delta \vec{r} = \vec{v}_1 t + \frac{\vec{a} t^2}{2} \quad (3)$$

Tek boyutlu hareketlerde, yerdeğişimin, hızın ve hızlamanın yönleri aynıdır:

$$\Delta x = v_1 t + \frac{a t^2}{2} \quad (4)$$

Denklem (4)'ü denklem (3)'te eklemekle:

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2a} = \Delta x \quad (5)$$

denklemini kütle m ile çarparsak:

$$\frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} = ma \cdot \Delta x = F \cdot \Delta x \quad (6)$$

denklem (6)'nin sağ tarafı tanım olarak kuvvetin işini oluşturur ve cismin durum 1'den durum 2'ye hareket ettirir.

Büyükölük olarak $\frac{mv^2}{2}$ hızıyla belirlenen cismin *kinetik enerjisini* temsil eder. Yukarıdaki denklem şöyle yazılabilir:

$$A_{1 \rightarrow 2} = E_{k2} - E_{k1} \quad (7)$$

Cisim durum 1'den durum 2'ye yerdeğişimi yapması için yapılan iş cismin kinetik enerjisi farkına eşittir.

Eğer cisim hareket yaptığı kapalı bir sistem varsa, dış kuvveti cisme etki etmediği için cismin hızında değişim olmaz ve kinetik enerjisi sabittir:

$$E_k = \frac{mv^2}{2} = \text{const} \quad (8)$$

Demek, kapalı bir sistemde kinetik enerjisi zamanla korunur. Kinetik enerjisi her zaman pozitif belirlenen bir büyükölük tür.

Cisme etki eden bileşke kuvveti sıfır değilse, o zaman kinetik enerjisi korunmaz. Denklem (8) sağ tarafı kinetik enerji değişimini verir:

$$F \cdot \Delta x = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} = E_{k2} - E_{k1} \quad (9)$$

Eğer iş pozitif ise o zaman sonuç noktasındaki kinetik enerji başlangıç noktasındaki kinetik enerjiden büyük olduğu elde edilir, kinetik enerjisinin çoğalmasını gösterir, hâlbuki negatif iş olunca kinetik enerjisi azalır.

Son denklemden görüldüğü gibi iş ve enerji aynı boyuta sahiptirler, SI sistemde kinetik enerjinin ölçü birimi Jül, J dür.

5. İş Ve Enerji

5.5. POTANSİYEL ENERJİ

Kuvvetler özelliklerine göre **muhafazakâr ve muhafazakâr** olmayan olarak ayrılırlar. Muhafazakâr kuvvetler ortamdaki cismin sadece başlangıç ve bitiş durumuna bağlı olan kuvvetlerdir, cismin hareket ettiği yörüngeye bağlı değildir. Muhafazakâr kuvvetleri elastik, gravitasyon kuvveti, ağırlık kuvveti oluşturur. Muhafazakâr olmayan kuvvetlere örneğin, sürtünme kuvveti düşer.

Eğer cisimler sistemine sadece muhafazakâr kuvvetleri etki ederse, o zaman potansiyel enerji U büyüklüğünü tanımlayalım. Potansiyel enerji kavramı belli mesafede bulunan iki cisim için kullanılır, cisimler birbirini çektikleri veya ittikleri kuvvet onların arasındaki mesafeye bağlıdır. Cisimler arası mesafe belirtilmediyse onlara bağlı potansiyel enerjisi yoktur.

Potansiyel alanda muhafazakâr kuvvetleri cisimi referans noktasına göre bir durumdan diğer bir duruma yerdeğişimi yaptırılmalarına işi bulalım. Öyle bir alanın işi şöyle tanımlanır:

$$A_{1-2} = U_1 - U_2 \quad (1)$$

daha doğrusu muhafazakâr kuvvetlerin işi potansiyel enerjinin azalmasından kaynaklanır.

Birçok türlü potansiyel enerjileri mevcuttur:

1. Eğer cismin başlangıç durumu x_1 ve bitiş durumu x_2 ise, elastik kuvvetin potansiyel enerjisi:

$$-A_{el} = U(x_1) - U(x_2) = \frac{kx_1^2}{2} - \frac{kx_2^2}{2}$$
$$U(x) = \frac{kx^2}{2} \quad (2)$$

2. Gravitasyon kuvveti etkisi alanında bulunan cismin potansiyel enerjisi gravitasyon kuvvetinin işinden bulunur:

$$A_{1-2} = -Gm_1m_2 \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = U_1 - U_2$$
$$U(r) = -G \frac{m_1m_2}{r} \quad (3)$$

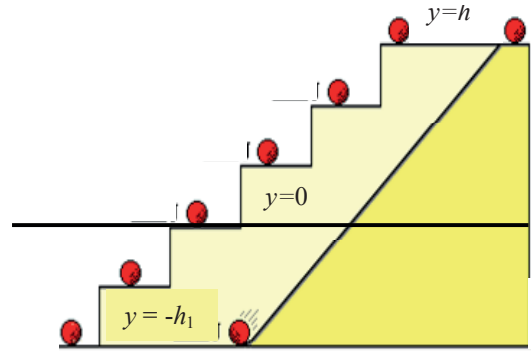
3. Ağırlık kuvvetinin potansiyel enerjisi yükseklik durumuna veya cismin durumuna bağlıdır. Cismin enerjisi gravitasyon yerçekimi kuvvetinden kaynaklanır ve şöyle verilir:

$$U(y) = m \cdot g \cdot y = m \cdot g \cdot h \quad (4)$$

denklemden y mesafesi oluşturur ve buna göre potansiyel enerjisi pozitif veya negatif olabilir. Eğer referans durumu Yerkürenin yüzeyi olursa o zaman maddesel noktanın yükseklik h_1 de potansiyel enerjisi:

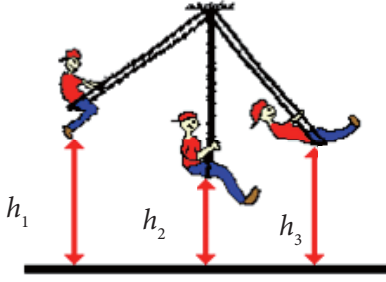
$$U_1 = -mgh_1$$

Cismin referans durumlarını kendimiz belirli ederiz. Şekil 2'de referans duruma göre topcağz farklı yüksekliklerde verilmiştir. Cismin maksimum potansiyel enerjisi en yüksek durumda ya da referans noktasından yükseklik h 'da bulunur, en küçüğü ise $-h$ bulunur.



Şekil 2. Potansiyel enerjisi referans durumunda yüksekliğe göre çoğalır

5. İş Ve Enerji



Şekil 3.

Şekil 3'teki çocuk farklı yüksekliklerde farklı potansiyel enerjilere sahiptir.

5.6. MEKANİK ENERJİNİN KORUMA KANUNU

Ne zaman maddesel noktanın başlangıç durumdan bitiş durumuna hareketi için kinetik ve potansiyel enerjilerini tanımlarız, yapılacak iş potansiyel farkından kaynaklandığını dedik.

$$A_{1-2} = U_1 - U_2$$

Kinetik enerji ile verilirse yapılan iş başlangıç ve bitiş kinetik enerji farkına eşittir:

$$A_{1-2} = E_{k2} - E_{k1}$$

Aynı iş için söz konusu olduğu zaman cisim yer durumunu değiştirmekle yapar her iki denklemin sağ taraflarını eşleştirmekle:

$$E_{k2} - E_{k1} = U_1 - U_{k2} \quad (1)$$

Büyüklikleri belli durumlara göre gruplandıralım:

$$E_{k2} + U_2 = U_1 + E_{k1} \quad (2)$$

Elde edilen denkleme göre muhafazakâr kuvvetleri alanında bulunan cismin kinetik ve potansiyel enerjilerin toplamı sabit büyüklük tür ve cismin toplam *mekanik enerjisi* dir.

Her kapalı olan sistem daha doğrusu ona dış kuvvetler etki etmezse, her an kendi mekanik enerjisini korur.

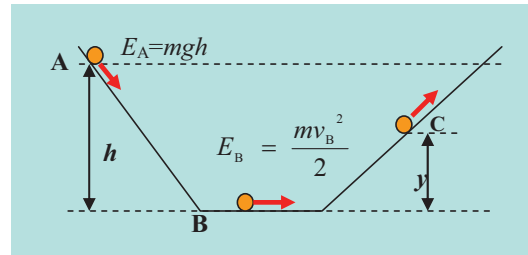
Sisteme muhafazakâr olmayan kuvvetler etki ederse, örneğin sürtünme kuvveti gibi sistemin toplam mekanik enerjisi korunamaz.

Ağırlık kuvveti alanında bulunan cisim, Şekil 1. Cismin toplam mekaniksel enerjisi şöyle tanımlanır:

$$E = E_k + U = \frac{mv^2}{2} + mgh \quad (3)$$

Mekanik enerji korunum kanunu yardımı ile cismin belli durumunda hızı belirlenir. Eğer cisim **A** noktasında sükûnette bulunursa onun hızı sıfır olduğu için kinetik enerjisi de sıfır olur. Bu durumda cismin toplam enerjisi sadece potansiyel enerjiye eşittir:

$$E_A = U_A = mgh \quad (4)$$



Şekil 1.

B noktasında cismin potansiyel enerjisi sıfır olur, çünkü cisim referans durumunda bulunur. O zaman cismin toplam enerjisi sadece kinetik enerjisine eşittir:

5. İş Ve Enerji

$$E_B = E_{kB} = \frac{mv_B^2}{2} \quad (5)$$

Herhangi bir C noktasında cismin potansiyel ve kinetik enerjisi olduğu için toplam enerji bu enerjilerin toplamına eşittir:

$$E_C = \frac{mv_C^2}{2} + m g y \quad (6)$$

Enerji korunum kanunu kullanarak:

$$mgh = \frac{mv_C^2}{2} + m g y \quad (7)$$

nerde ki C noktasında cismin hızı şöyle dir:

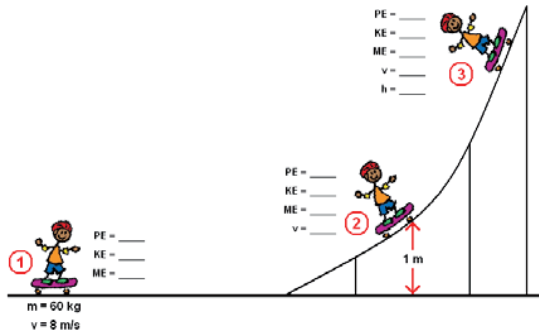
$$v_C = \sqrt{2g(h-y)} \quad (8)$$

cismin B noktasındaki hızı ise şöyle dir:

$$v_B = \sqrt{2gh} \quad (9)$$

Görüldüğü gibi cismin hızı cisim serbest düşme yapası esnasında hızına eşittir:

$$E_C = \frac{mv_C^2}{2} + m g y \quad (10)$$



Şekil 2.

Ödev: Kinetik enerjisi, potansiyel enerjisi ve toplam enerjisi hesaplınsın, eğer ki kütlesi 60 kg

olan kayakçı durum 1'den (referans durumu) durum 2'ye (bir metre yükseklikte) ve durum 3'e (en yüksek nokta) 8 m/s'lik hızla çıkarsa. Şekil 2'ye bakın.

5.7. CİSMİN DÜRTÜSÜ (İMPULSU) VE KUVVETİN DÜRTÜSÜ

İkinci Nefton kanunu diğer bir şekilde yazılabilir, cismin kütlesi ve hızının çarpımını oluşturan yeni büyüklük \vec{p} almakla:

$$\vec{F} = m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\Delta(m \cdot \vec{v})}{\Delta t} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} \quad (1)$$

Bu büyüklüğe $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$ maddesel noktanın *dürtüsü* (*impulsu*) denir. Bunu almakla ikinci Nefton kanunu başka şekilde tanımlanır: *Maddesel noktanın dürtü değişim hızı cisme etki eden kuvvetle doğru orantılıdır ve onun doğrultusunda ve yönünde dir.* SI sitemine göre dürtü birimi $\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$.

Zaman aralığı ve kuvvetin çarpımı $\vec{F} \cdot \Delta t$ ile kuvvetin dürtüsü tanımlanır. Kuvvet dürtüsü i o cismin dürtü değişimine eşittir.

$$\vec{F} \cdot \Delta t = \Delta \vec{p} \quad (2)$$

Eğer cisme etki eden kuvvet sıfır olduğu zaman, cismin dürtüsü sabittir bir de onun hızı.

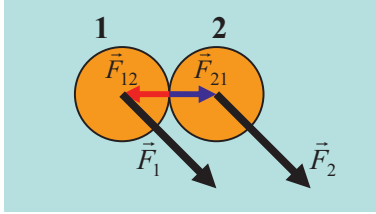
Cisme kuvvetin etkisi ne kadar zaman süresinde yapıldığı önemini görmek için otomobilde hava yastıkları incelenir. Hava yastığı insan kafasını durdurur, 20-30 cm olan mesafeyi ön cama kadar uzun bir sürede geçer, nitekim hava yastığı olmadığı zaman bu mesafeyi ön cama kadar kısa zamanda geçer, her iki durumda şoförün kafası aynı mekaniksel işi yapar, kinetik enerjisini yenmek için. Burada farklı olan kuvvet impulsu dur

5. İş Ve Enerji

ve zaman aralığına göre değişir yoksa kuvvet aynıdır.

5.8. DÜRTÜ KORUMA KANUNU

Mekanik enerji korunum kanunu ortamda değişmeyen skaler büyüklükleri içerir. Kinetik enerjisi örneğin skaler bir büyüklüktür ve Güneş etrafında dönen Yerküre'nin yönü teğet ya da eliptik yörüngede olduğu fark edilemez. İkinci inceleyeceğimiz korunum kanunlarından biri dürtü korunum kanunu dur, dürtü vektörel bir büyüklüktür ve ortamdaki durumuyla belirlenir. İki toptan oluşan bir sistem incelensin onlara etki eden iç kuvvetler \vec{F}_{12} ve \vec{F}_{21} dir, aynen onlara etki eden dış kuvvetler her biri için \vec{F}_1 ve \vec{F}_2 olsun, zaman aralığı da Δt dir, Şekil 1.



Şekil 1.

İki topun hareketi için dürtü kuvvetin yardımıyla denklem yazılsın, denklemde \vec{F} bileşke kuvveti dir:

$$\vec{F} = m\vec{a} = m \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{\Delta(m\vec{v})}{\Delta t} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t} \quad (1)$$

Üçüncü Nefton kanununa göre, birbirine etki eden cisimlerin kuvvetleri büyüklük bakımından eşittir, yön bakımından terstir, böylece birbirini yok ederler, $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$. O zaman toplamı sadece dış kuvvetleri oluşturacaktır \vec{F}_1 ve \vec{F}_2 .

$$\frac{\Delta\vec{p}_1}{\Delta t} + \frac{\Delta\vec{p}_2}{\Delta t} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \quad (2)$$

Sistemin toplam dürtü sistemi oluşturan iki topun dürtüsü oluşturur:

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 \quad (3)$$

Denklem (2)'de toplam dürtüsü ve bileşke kuvvetini değiştirmekle şu denklem elde edilir:

$$\frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t} = \vec{F} \quad (4)$$

Eğer kapalı bir sistem varsa, dış kuvvetler etki etmezler, ($\vec{F} = 0$) ve yukarıdaki denklem şöyle olur:

$$\frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t} = 0 \Rightarrow \vec{p} = \text{const} \quad (5)$$

Eğer verilen zaman aralığında sistem dürtüsünün değişimi olmazsa, o zaman sabit bir büyüklük tür. Buna göre kapalı bir sistemde dürtü toplamı sabit bir büyüklüktür.

Bu kanun çok sayıda cisimden oluşan kapalı bir sistem için geçerlidir.

5.9. ÇARPIŞMALAR

Her günkü yaşamda iki veya fazla cisimlerin birbirileri ile çarpıştıkları için söz konusu olur.

Örneğin bilardo topların birbiriyle çarpışmaları veya çekicin çiviye vuruşu. Çarpışmalar farklı seviyelerde olur, mikroskopik seviyesinde (atomların çarpışması) astronomik seviyesine (yıldızların çarpışması ve galaksilerin) kadar .

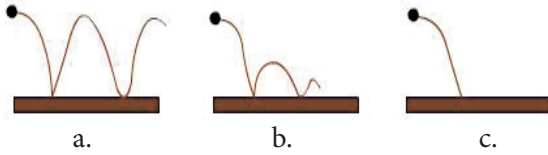
Fizikte çarpışmayı bir cismin diğer bir cisimle temasa gelmesiyle oluşur ya da bir cismin yörüngesi diğer bir cismin etkisinden değişir.

5. İş Ve Enerji

Çarpışmadan ötürü cismin impulsu ve kinetik enerjisi değişir. Çarpışmaya katılan etki ve tepki kuvvetleridir daha doğrusu sistemin iç kuvvetleri, böylece impuls toplamı ve toplam enerjisi korunur.

Birbiriyle çarpışan iki top esnasında impuls ve kinetik enerjisi değişmediği zaman *elastik çarpışmayı* oluşturur.

Eğer yükseklikten bir topcağız serbest bırakılırsa ve yere çarparak tekrar aynı yüksekliğe çıkarsa, çarpışma elastik tir ve kinetik enerji kaybı yapılmamıştır. Şekil 1.a. Eğer sistemin kinetik enerjisi değişirse o zaman plastik çarpışma yapılmıştır, Şekil 1.b. Eğer çarpışmadan sonra cisimler bir yerde buluşursalar, ideal plastik çarpışma yapılmıştır, Şekil 1.c. Plastik çarpışmada sadece toplam impuls korunur.



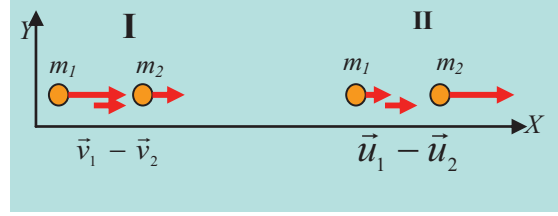
Şekil 1.

Çarpışma süreçleri çok bileşiktir. Çarpışma öncesi duruma *başlangıç durum* denir, çarpışma sonrası duruma *son durum (bitiş durumu)* denir. İmpuls korunum kanunu kapalı sistemin başlangıç ve son durumunu bağlar.

Tek boyutlu elastik ve plastik çarpışma örneği incelenir.

5.9.1. Mutlak elastik çarpışma. İki topun çarpışmasını gözetleyelim. Bu çarpışma esnasında topların merkezlerinden çarpışma çizgisi geçmektedir. Topların kütleleri m_1 ve m_2 dir, hızları da v_1 ve v_2 dir. Burada iki olay mümkündür, toplar aynı yönde hareket ederler veya ters yönde hareket ederler. Çarpışmadan sonra topların hızları

u_1 ve u_2 dir. Çarpışma süreci esnasında, iki toptan oluşan sistem kapalı ve muhafazakâr dır.



Şekil 2.

Enerji ve impuls korunum kanunlarını uygulayarak şunları elde ederiz:

$$E_I = E_{II} , \Rightarrow$$

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2} \quad (1)$$

$$\vec{p}_I = \vec{p}_{II} , \quad (2)$$

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2$$

İncelediğimiz hareket bir boyutludur, vektörlerin izdüşümleri X eksenine boyunca şunu elde ederiz:

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2 \quad (3)$$

denklemde v_1, v_2, u_1 ve u_2 hız vektörlerinin izdüşümleri X ekseninde çarpışmadan önce ve çarpışmadan sonra dırlar.

Yukarıdaki denklemlerden şunları elde ederiz:

$$m_1 (u_1^2 - v_1^2) = -m_2 (u_2^2 - v_2^2)$$

$$m_1 (u_1 - v_1) = -m_2 (u_2 - v_2) \quad (4)$$

Eğer bu denklemler bölünürseler:

$$\frac{u_1^2 - v_1^2}{u_1 - v_1} = \frac{u_2^2 - v_2^2}{u_2 - v_2} \Rightarrow \quad (5)$$

$$u_1 + v_1 = u_2 + v_2$$

5. İş Ve Enerji

Denklem (4) ve (5) şunu elde ederiz:

$$\begin{aligned} u_1 &= \frac{(m_1 - m_2)v_1 + 2m_2v_2}{m_1 + m_2}, \\ u_2 &= \frac{(m_2 - m_1)v_2 + 2m_1v_1}{m_1 + m_2} \end{aligned} \quad (6)$$

Birkaç özel olayı inceleyelim:

1. $m_1 = m_2 = m$ esnasında $u_1 = v_2$ ve $u_2 = v_1$ elde ederiz. İki aynı topcağızın çarpışması esnasında hızlarını değiştirirler;

2. Eğer bir cismin kütlesi diğer cismin kütlesinden çok daha büyük olunca, $m_2 \ll m_1$ o zaman çarpışmadan sonra büyük kütleli cismin hızı çarpışmadan önce küçük cismin hızına eşit olur: $u_1 \sim 2v_2 - v_1$, $u_2 \sim v_2$. Eğer büyük kütleli cisim çarpışmadan önce sükûnette bulunduyorsa, $v_2 = 0$, o zaman çarpışmadan sonra tekrar sükûnette bulunacaktır, küçük kütleli cisim ise aynı hızla ters yönde yansıyacaktır. $u_1 \sim -v_1$ ve $u_2 \sim 0$. Birinci top sükûnette bulunan hareket etmeyen toptan geri $\vec{u}_1 = -\vec{v}_1$ hızıyla zıplar.

5.9.2. Plastik çarpışma. Çarpışmadan sonra her iki top plastik deformasyona uğrarlar ve bir cisim gibi yönlerini devam ederken hızları aynıdır. Cisimlerin kütleleri m_1 , m_2 dir, hızları çarpışmadan önce v_1 , v_2 dir ve çarpışmadan sonra hızları u dur. İmpuls korunum kanununa göre:

$$\vec{p}_I = \vec{p}_{II} \Rightarrow$$

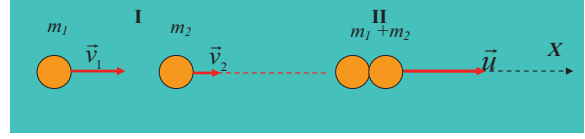
$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = (m_1 + m_2)\vec{u}$$

$$\vec{u} = \frac{m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2}{(m_1 + m_2)}$$

X eksenindeki izdüşümü için:

$$u_x = \frac{m_1v_{1x} + m_2v_{2x}}{(m_1 + m_2)} = \frac{m_1v_1 + m_2v_2}{(m_1 + m_2)} \quad (7)$$

Plastik çarpışma esnasında sistemin kinetik enerjisi kısmen değişir, daha doğrusu mekanik enerjisi sistemde dağılır.



Şekil 3.

Kısmen plastik çarpışma esnasında, çarpışmadan sonra rölatif hızı çarpışmadan önceki rölatif hızına kısmen eşittir

$$u_1 - u_2 = \varepsilon(v_1 - v_2) \quad (8)$$

denklemde $0 \leq \varepsilon \leq 1$ çarpışma esnasında rölatif hızın kuruluş sabitesini oluşturur.

Sorular, Ödevler, Etkinlikler

1. Kütleli 1 kg olan taş 1 m yükseklikten yere düştünce vuruşun kinetik enerjisi nekadardır?
2. Kuvvetin potansiyel enerjisi negatif olabilir mi?
3. Top eğik bir düzlemde yukarıya doğru tekerlenir, geri tekerlenerek aşağıya salınır. Topun ne zaman en büyük potansiyel enerjisi vardır?
4. Olimpik koşucunun kinetik enerjisi hesaplınsın.
5. A cismin kinetik enerjisi 13,4 J dür. B cismin kütleli 3,77 kez daha büyüktür, hızı ise 2,34 kez küçüktür. B cismin kinetik enerjisi nekadardır?

Kavramlar açıklansın ve kanunlar tanımlansın

- mekanik iş
- güç
- kinetik enerji
- potansiyel enerji
- ağırlık kuvvetinin potansiyel enerjisi
- mekanik enerji
- enerji korunum kanunu
- cismin dürtüsü
- kuvvetin dürtüsü
- dürtü korunum kanunu
- elastik çarpışma
- plastik çarpışma

6. Dönüşlü hareket

6.1. DÖNÜŞLÜ HAREKETTE KATI CİSMİN KİNEMATİĞİ

Kati cismin mekaniksel hareketleri iki türlüdür: *cismin öteleme hareketi ve katı cismin dönüşlü hareketi*. Dönüşlü hareketin özel türünü *sabit eksen etrafında katı cismin dönüşlü hareketi* oluşturur. Bizim de konumuz dönüşlü hareketler olacaktır.

Cismin öteleme hareketi esnasında ona ait olan tüm maddesel noktaları aynı yönde hareket ederler. Bundan dolayı bu tür harekete cisim bir maddesel noktayla değiştirilir.

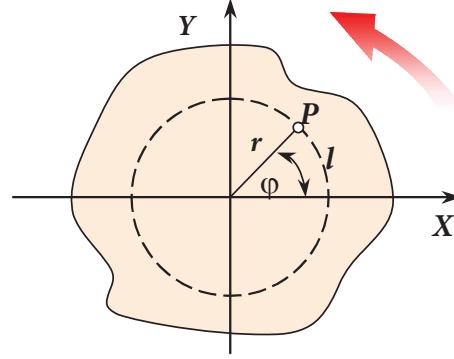
Katı cismin dönüşlü hareketini araştırırken bu tür harekette cisim bir maddesel nokta ile değiştirilemez, çünkü cisme ait her maddesel nokta farklı yolları geçerler. Cisim çok sayıda parçacıktan oluşmuştur ve her birinin çizgisel hızı ve çizgisel hızlaması vardır. Katı cismin dönüşlü hareketinin analizi basitleştirilir eğer ki dönüşlü hareketi yapan cisim mutlak cisim gibi alınır.

Mutlak katı cisim belli şekli olan ve şekli değişmeyen gibi tanımlanır. Doğada gerçekten mutlak cisimler bulunmaz, her cisim dış kuvvetleri etkisinden belli deformasyonlara uğrarlar, bazı şartlar altında bu deformasyonlar küçükse göz önünde alınmayıp, cisim mutlak cisim gibi alınır.

Sabit eksen etrafında dönüşlü hareketi mutlak katı cisim incelenir, buna *ideal dönüşlü hareketi* de denir. İdeal dönüşlü harekette cisme ait tüm noktalar aynı paralel düzlemlerde yatarak çemberler çizerler, o çemberlerin merkezleri aynı doğru üzerine yatarlar ve ona dönme eksenini denir.

Tüm paralel düzlemlerden bir tanesini ayıralım (Şekil 1.) ki sabit eksen etrafında döner ve

onun merkezinden O sabit eksenini geçen yani Z eksenini ile çakışır.



Şekil 1.

Bu düzleme ait cismin bir parçacığı P noktasında bulunur, yarıçapı r olan dairede P noktası hareket eder, dairenin merkezi O noktasında dır. P noktasının durumunu yarıçap r ve açı φ ile belirleyelim. Bu olayda yarıçap r sabittir değişen sadece açı φ dir, cismin parçacığı başlangıç anda $t = 0$ dairenin $\varphi = 0$ durumunda bulduysa, nokta P yay l çizer ve bu yay r ve φ büyüklüklerine bağlıdır

$$l = r \varphi \quad (1)$$

ya da

$$\varphi = \frac{l}{r} \quad (2)$$

Açı φ radyanla (rad) verilir, bir radyan açısı yayın yarıçapına eşittir ($l = r$). Bir çemberin çevresi tam açıya 360° karşılık gelir, o zaman denklem (2) $360^\circ = \frac{2\pi r}{r}$, dir ya da 360° rad değerine eşittir.

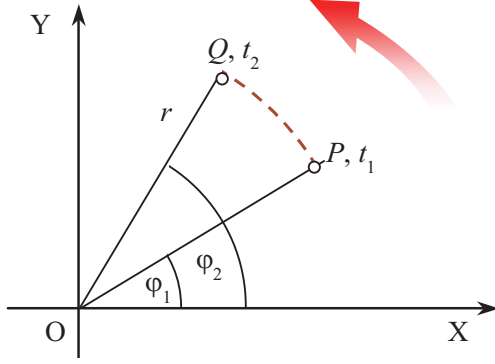
Bundan bir radyanın değeri $1 \text{ rad} = \frac{360^\circ}{2\pi} = 57,3^\circ$ dir.

Eğer katı cismin parçacığı (Şekil 2.) noktada P'den nokta Q'ya gelirse Δt zaman aralığında $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ açığı çizer.

6. Dönüştü hareket

Ortalama açısı hızını zaman biriminde açı değışimi gibi tanımlansın

$$\omega_{sr} = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \quad (3)$$



Şekil 2.

Ani hızı açısı ω denklem (3)'te sınır değeri $\Delta t \rightarrow 0$, gibi tanımlanır, kesin olarak ne zaman ki zaman aralığı çok küçük tür.

Açısal hızı saniyede radyanlar (rad/s) ile ölçülürse. Açısal hızı pozitif dir eğer açı φ büyürse, negatif dir eğer açı φ azalırsa (saat akrelerinin yönünde). Açısal hızları cisim noktalarının her birinin aynıdır çünkü aynı zaman aralığı için aynı açılarını çizeler.

Eğer cismin ani açısı hızı ω_1 den ω_2 'ye Δt zaman aralığında değışirse cismin açısı hızlaması olur. Cismin ortalama açısı hızlaması ε_{sr} zaman aralığında Δt açısı hız değışimi gibi tanımlanır

$$\varepsilon_{sr} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (4)$$

Ani açısı hızlaması ε denklem (4)'te sınır değeri $\Delta t \rightarrow 0$ gibi tanımlanır, kesin olarak ne zaman ki zaman aralığı çok küçük tür.

Açısı hızlaması saniye karede radyan (rad/s²) ile ölçülür. Dönüştü hareketi yapan cismin her noktasının açısı hızı aynıdır, bundan dolayı her

noktanın açısı hızlaması da aynıdır, denklem (4)'e göre.

Açısı hızı ω ve açısı hızlaması ε mutlak katı cismin dönüştü hareketini nitelendirir ve bununla bu tür hareket daha basit olarak analiz edilir.

Eğer açısı hızlaması sabitse o zaman katı cismin dönüştü hareketine düzgün değışen dönüştü hareketi denir. Eğer denklem (4)'te başlangıç şartları verilirse zaman anı $t_1 = t_0 = 0$ için açısı hızın değeri $\omega_1 = \omega_0$ dir, ve zaman $t_2 = t$, için $\omega_2 = \omega$ dir, o zaman açısı hızlaması şöyle yazılır

$$\varepsilon = \frac{\omega - \omega_0}{t} \quad (5)$$

nerde ki t zaman anı için açısı hızı şöyle elde edilir

$$\omega = \omega_0 + \varepsilon t \quad (6)$$

ortalama hızı için se şu denklem elde edilir

$$\omega_{sr} = \frac{\omega_0 + \omega}{2}$$

veya

$$\omega_{sr} = \frac{\omega_0 + \omega_0 + \varepsilon t}{2} = \omega_0 + \frac{\varepsilon t}{2} \quad (7)$$

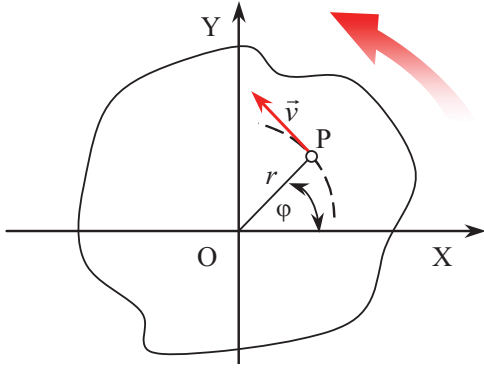
Katı cismin dönme açısını şöyle belirleyelim

$$\varphi = \omega_{sr} t = \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2} \quad (8)$$

Her zaman için bilinmesi gereken, mutlak katı cisim sabit eksen etrafında dönüştü hareket yaptığı zaman onun her parçasığı daire üzerinde hareket eder ve o dairenin merkezi ekseninde bulunur, çizgisel hızı v ve çizgisel hızlaması a dır. Bu çizgisel büyüklükler açısı büyüklükler ile bağlanabilirler şu şekilde:

Nokta P yarıçapı r olan dairede hareket eder (Şekil 3), onun çizgisel hızı \vec{v} dairenin teğet yönüne eşittir. Nokta P'de çizgisel hız vektörünün şiddeti tanıma göre yol (yay l) ve zaman aralığının oranına eşittir

6. DönüŖlü hareket



Ŗekil 3.

$$v = \frac{\Delta l}{\Delta t} \quad (9)$$

veya

$$v = r \frac{\Delta \phi}{\Delta t} \quad (9)$$

veya

$$v = r\omega$$

Denklem (9)'a göre cisme ait tüm noktaların açısall hızları aynıdır, çizgisel hızları farklıdır ve dönme ekseninden uzaklaŖarak büyür.

Katı cismin açısall hızlaması çizgisel hızlaması ile bağlıdır daha doğrusu çizgisel hızlamasının teğet bileŖkesi ile. Teğet hızlamasının tanımına göre

$$a_\tau = \frac{\Delta v}{\Delta t} = r \frac{\Delta \omega}{\Delta t} \quad (10)$$

veya

$$a_\tau = r\varepsilon.$$

Katı cismin her noktası daire üzerinde hareket ettiği için, onun normal hızlaması da vardır

$$a_n = \frac{v^2}{r} = r\omega^2. \quad (11)$$

Çizgisel hızlamanın toplam Ŗiddeti

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2} = \sqrt{r^2\varepsilon^2 + r^2\omega^4}. \quad (12)$$

ÖRNEK 1. Tekerleğin sabit açısall hızlaması $3,50 \text{ rad/s}^2$ olarak dönüŖlü hareket yapar. Eğer tekerle-

ėin açısall hızı $t_0 = 0$ zaman anında $2,00 \text{ rad/s}$ ise, bulunsun: a) tekerlek 2 s zaman süresinde ne kadar açı çizer? b) tekerleğin $t = 2 \text{ s}$ zaman süresi için açısall hızı nekadardır?

Çözüm: a) dönme açısı Ŗu denklem ile elde edilir

$$\phi = \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2}$$

değerleri denklemde yerleŖtirilirse elde edilen değer $\phi = 11,0 \text{ rad}$.

b) açısall hızını Ŗu denklemden elde ederiz

$$\omega = \omega_0 + \varepsilon t$$

denklemde değerleri yerleŖtirmekle Ŗu sonuca varırız $\omega = 9,00 \text{ rad/s}$.

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Disk Ŗeklinde mutlak katı cisim sabit eksen etrafında dönüŖlü hareket yaparken, diske ait her noktanın açısall hızları eŖit midir?

2. Katı cismin sabit eksen etrafında dönüŖlü hareket yaparken ve o hareketi açıklamak için kullanılan fiziksel büyüklükler kimlerdir?

3. Katı cismin maddesel noktalarının açısall büyüklükleri ve çizgisel büyüklükleri arasında bir bağlılık var mı?

4. DönüŖlü hareket yapan tekerleğin frekansı $n = 33 \text{ dak}^{-1}$ dir, onun dıŖ noktalarının çizgisel hızı bulunsun eğer tekerlek çapının (diyametresi) değeri $d = 30 \text{ cm}$ ise.

(Cevap: $v = 0,52 \text{ m/s}$).

5. Motor rotorunun mekezkacı sükûnet durumundan dönüŖlü hareket hızlamayla baŖlar ve $5,0 \text{ dak}$ zaman süresinde 20000 dak^{-1} frekansa ulaŖır. Rotorun ortalama açısall hızlaması bulunsun.

(Cevap: $\varepsilon = 7,0 \text{ rad/s}^2$).

DönüŖlü hareketle ilgili daha geniŖ bilgiler Ŗu İnternet adresinde bulabilirsiniz: <http://pen.physik.uni-kl.de/cgi-bin/ps/search.pl>

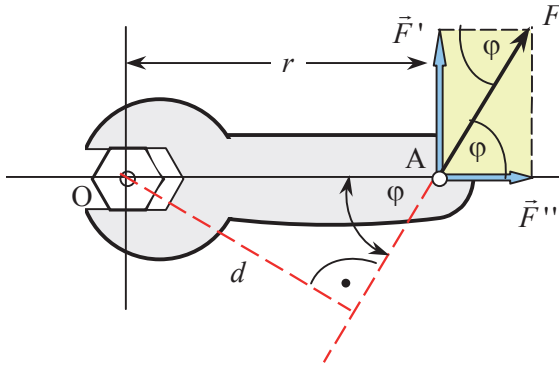
6. Dönüşlü hareket

6.2. DÖNÜŞLÜ HAREKETİN DİNAMİĞİ. DÖNME EKSENİNE GÖRE KUVVET MOMENTİ

Kati cismin sabit eksenli etrafında dönüşlü hareket yapmasının nedeni nedir, daha doğrusu bir açısal hızlamaya sahip olması. Kinematikte katı cismin öteleme ve dönüşlü hareketlerinin denklemleri arasında bir benzerlik varsa, o zaman öteleme dinamiğinde ve dönüşlü hareketi dinamiğinde bir benzerlik var.

Birinci Newton kanunu dönüşlü hareket için şöyle tanımlanırdı: katı cisim sabit hızla dönüşlü hareketi yapar o ana kadar taa ki dıştan bir kuvvet onun hareketini değiştirirdi. İkinci Newton kanunu yardımcı ile katı cismin açısal hızlamasının nedenini açıklamak için birleşik dir. Demek ki, katı cisim bir eksen etrafında dönüşlü hareket yapmak için ona bir kuvvetin etki etmesi gerekir, fakat o kuvvetin hangi yönde olması gerekir?

Bir Fransız anahtarının dönüşlü hareketi incelensin (Şekil 1.)



Şekil 1.

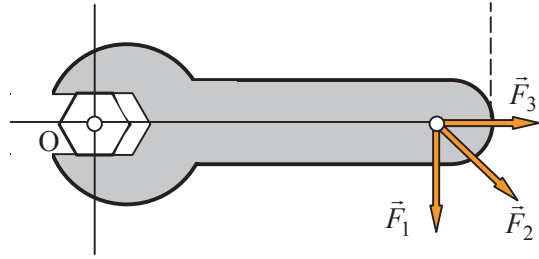
Fransız anahtarı sabit eksen etrafında döner ve A noktasında ona kuvvet \vec{F} etki eder, onun eksenle arası açı φ kadar dır. Cismin dönmesi için

tek neden o değil dir, diğer biri dönme eksenine göre kuvvetin momenti M fiziksel büyüklüğüdür.

Kuvvet momenti şöyle tanımlanır:

$$M = rF \sin \varphi = Fd \quad (1)$$

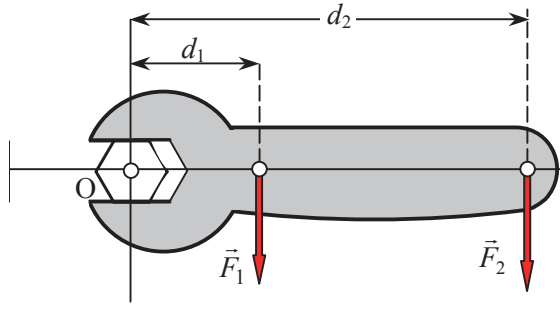
denklemden r dönme ekseninden kuvvetin hamle noktasına kadar \vec{F} mesafesi dır, d kuvvetin \vec{F} doğrultusu ile dönme eksenine normal mesafesi dır. Şekil 4'te dik açılı üçgenden $d = r \cdot \sin \varphi$ denklemi elde edilir ve kuvvet mesafesi (kuvvet akışı) denir. Kuvvet momenti dönme eksenine göre kuvvetin ve mesafenin çarpımından ibarettir. Şekil 4'e göre kuvvet \vec{F} bileşenlere ayrılır: \vec{F}' normal r 'ye gelir, \vec{F}'' yatay yönde r 'ye gelir. Denklem (1) göre dönme hareketini \vec{F}' bileşeni oluşturur çünkü şiddeti $F \sin \varphi$ dır. Diğer bileşenin \vec{F}'' dönme hareketine katkısı yoktur, çünkü O noktasından geçer.



Şekil 2.

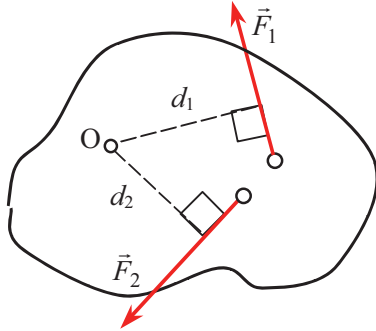
Şekil 2'de görüldüğü gibi şiddetleri aynı olan üç kuvvet etki eder, en büyük momenti kuvvet \vec{F}_1 'in olacak çünkü yatay eksen dik açıyı oluşturur. \vec{F}_2 kuvvet daha küçüktür çünkü yatay eksenle daha küçük bir açıyı yapar, \vec{F}_3 kuvveti ise sıfır dır ve yatay eksenle 0° açısı var, $\sin 0^\circ = 0$. Bundan dolayı bu kuvvet dönüşlü hareketin yapılması için katkısı yoktur. Böylece dönüşlü hareket yaptıran kuvvetler dönme eksenine normal gelen düzlemlerde yatarlar ve dairenin teğeti olarak gelirler.

6. Dönüşlü hareket



Şekil 3.

Denklem (1)'e göre kuvvet momenti kuvvet mesafesine d bağlıdır. Eğer Fransız anahtarına farklı mesafelerde \vec{F}_1 mesafesi d_1 ve \vec{F}_2 mesafesi d_2 bulunan aynı şiddetli kuvvetler $F_1 = F_2$ etki ederse, $d_2 = 3d_1$ olduğu için, \vec{F}_2 kuvveti daha büyük kuvvet momenti yapacak dönme eksenine göre. Eğer cisme iki ya da fazla sayıda kuvvetler (Şekil 4.) etki ederse o zaman onlardan her biri O noktasından geçen eksen etrafında dönüşlü hareketi yaptırabilirler.



Şekil 4.

Şekil 4'te kuvvet \vec{F}_1 saat akrelerinin ters yönünde etki eder, kuvvet \vec{F}_2 ise saat akreleri yönünde etki eder. Alınan karara göre kuvvet momentin pozitif işareti saat akrelerinin yönüne ters olarak alınmıştır. Böylece Şekil 4'te kuvvet \vec{F}_1 mesafe d_1 ile yaptığı kuvvet momentin işareti pozitif dir, $+F_1d_1$,

diğerinden ise $-F_2d_2$ dir. Şekil 4'teki toplam kuvvet momentini

$$M = M_1 + M_2 = F_1d_1 - F_2d_2. \quad (2)$$

SI sisteme göre kuvvet momentin birimi N·m dir. Buna dikkat etmek gerekir çünkü boyut bakımından bu birim enerji birimine benzer gelir $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}$, fakat bunlar farklı birimler dir.

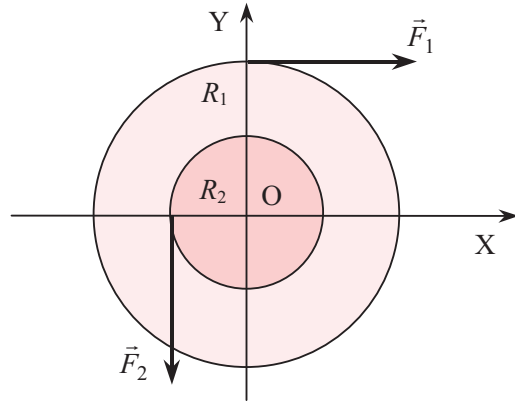
ÖRNEK 1. İki boşluğu silindirde dönme ekseninden R_1 ve R_2 mesafelerinde sarılmış iplikler bulunur ve onlara kuvvetler etki eder: \vec{F}_1 kuvvetin etkisi silindiri saat akreleri yönünde döndürür ve \vec{F}_2 silindiri saat akrelerin ters yönünde döndürür (Şekil 5.) Eğer $F_1 = 5,0 \text{ N}$; $R_1 = 1,0 \text{ m}$; $F_2 = 6,0 \text{ N}$; ve $R_2 = 0,50 \text{ m}$ büyüklüklerin değerleri verilmişse dönme eksenine göre kuvvet momentini bulun.

Çözüm: Dönme eksenine göre toplam kuvvet momentini

$$M = M_1 + M_2 = R_2 F_2 - R_1 F_1$$

$$M = -2,0 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

Eksi işareti silindirin saat akreleri yönünde dönmelerini açıklar.



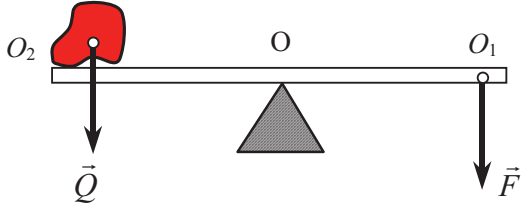
Şekil 5.

6. Dönüştürme hareket

KALDIRAÇLAR. MAKARALAR

Dönme eksenine göre kuvvet momentin uygulanmasını kaldıraçlarda görürüz. Bir eksen ya da nokta (destek noktası) etrafında dönebilen cisimlere kaldıraç denir. Kaldıraçlar basit makineleri oluşturur ve onlar yardımı ile kuvvetin etkisi taşınır ya da kuvvetin doğrultusu değiştirir ya da kuvvetin büyüklüğünü değiştirir.

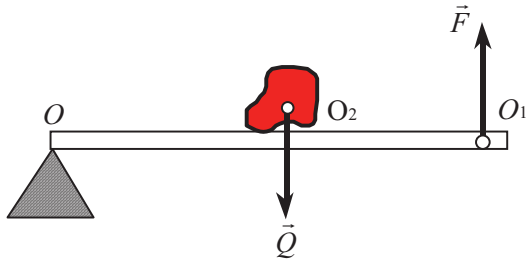
Kaldıraçın destek noktasına O göre bir tarafında kuvvet etki eder diğer tarafında ağırlık etki eder, böylece hamle noktalarına göre kaldıraçlar ayrılırlar:



Şekil 6.

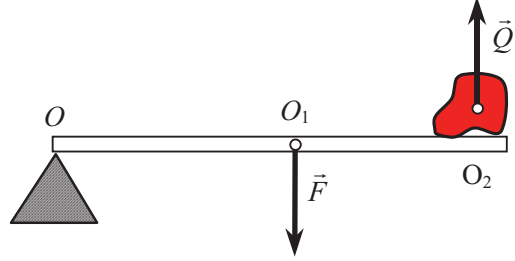
1. Birinci tür kaldıraçlar destek noktası O hamle noktaları arasında dır, O₁ kuvvetin hamle noktası ve O₂ ağırlığın hamle noktası (Şekil 6.). Birinci tür kaldıraç örnekleri: eşit bacaklı çift bacaklı kaldıraç terazilerde, makaslar, ve sayı.

2. İkinci tür kaldıraçlar destek noktası O ağırlık hamle noktasına O₂ daha yakındır (Şekil 7.). Örnekler: el arabası, ağaç budama makasları ve sayı.



Şekil 7.

3. Üçüncü tür kaldıraçlar destek noktası O kuvvet hamle noktasına O₁ daha yakındır (Şekil 8.). Örnekler: İnsan kolunun dirseği, insanın alt çenesi, dikiş makinesinin ayağı ve sayı.



Şekil 8.

Kaldıraç dengede dir şu şartlara göre:

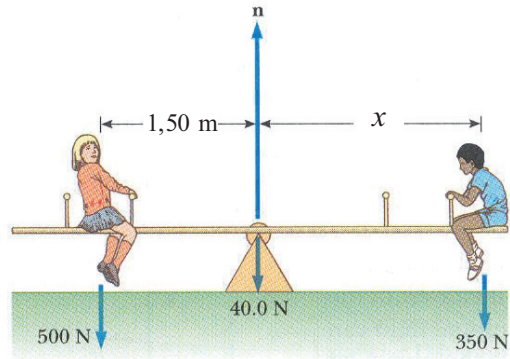
a) kaldıraçta etki eden tüm dış kuvvetlerin bileşkesi sıfır dır

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0, \quad (3)$$

b) dönme eksenine göre tüm kuvvetler momentin bileşkesi sıfır dır

$$\sum_{i=1}^n M_{iz} = 0. \quad (4)$$

ÖRNEK 2. Homojen tahta kütlelerinin merkezi olan O noktasında desteklenmiştir.



Şekil 9.

6. Dönüşlü hareket

Tahtanın karşılıklı kenarlarında (Şekil 9.) çocuklar oturmuştur. Sol taraftaki çocuk 500 N ağırlığında dır, sağ taraftaki çocuk 350 N ağırlığında dır. Sol taraftaki çocuk O destek noktasından 1,5 m uzaklıkta bulunur, sağ taraftaki çocuğun x uzaklığı bulunsun O destek noktasından.

Çözüm: Çift bacaklı kaldıraç dengede bulunmak için, kuvvetler momentin cebirsel toplamı sıfır olması gerekir. Denklem (4)'e göre

$$F_1 d_1 - F_2 x = 0$$

$$x = \frac{F_1}{F_2} d_1$$

veya $x = 2,14$ m.

Diğer tür basit makineleri **makaralar** oluşturur. Onlar sabit, hareketli ve bileşik olabilirler.

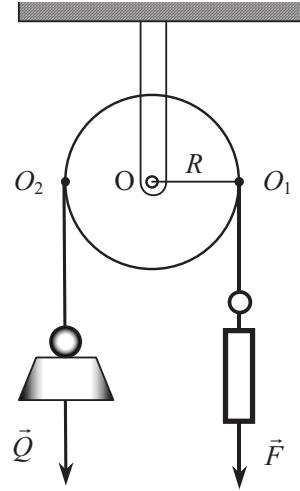
Sabit makarayı yarıçapı R olan bir disk oluşturur, dış kısmında bir boşluk yapılmıştır, (Şekil 10.) sabit eksen O etrafında döner. Boşluktan iplik yardımı ile ağırlık \vec{Q} asılmıştır ve ağırlık hamle noktası O_2 'de dir, diğer kenarında \vec{F} etki eder ve kuvvet hamle noktası O_1 'de dir.

Eğer denge şartı yazılırsa şu elde edilir:

$$QR - FR = 0$$

veya $F = Q$ (5)

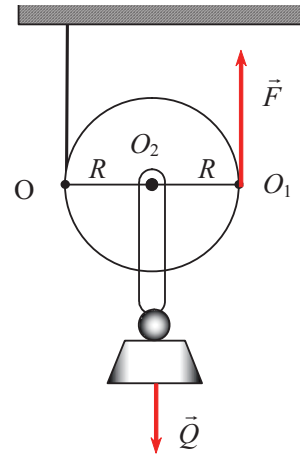
demek ki sadece kuvvetin yönü değişir.



Şekil 10.

Hareketli makarayı yarıçapı R olan disk oluşturur ve boşluğa iplik sarılmıştır, makara eksenini ortamda yerdeğişimi yapabilir (Şekil 11.). Hareketli makaranın denge şartı (4)

$$F 2R - QR = 0$$



Şekil 11.

6. Dönüşlü hareket

$$\text{ya da } F = \frac{Q}{2} \quad (6)$$

hareketli makara yardımı ile kuvvete kazanılır, fakat ağırlığın kaldırılması için ipliğin iki kez fazla çekilmesi gerekir. Böylece altın mekanik kuralları gerçekleşir: *eğer kuvvete kazanılırsa yolda kaybedilir.*

Bileşik makaraları hareketli ve sabit makaraları oluşturur, küçük kuvvetle büyük yük kaldırılınsın.

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Sabit eksenini etrafında katı cisim dönüşlü harekete hangi kuvvetler sokabilir?

2. Sabit eksenini etrafında bir cisim aynı açı kadar dönebilir mi, eğer farklı şiddetli paralel kuvvetleri etki ederse?

3. Kirişin uzunluğu $l = 10$ m olan merkezinden geçen eksen etrafında döner, onun kenarlarına aynı şiddetli kuvvetler etki eder $F_1 = F_2 = 100$ N, fakat yönleri ters tir. Toplam kuvvet momenti bulunsun.

(Cevap. $M = 1000$ N·m)

4. Cetvelin bir kenarına, kütlesi $m = 0,17$ kg topcağız uzunluğu $l = 1,25$ m iplik yardımı ile asılı bulunur. Kuvvet momentinin şiddeti bulunsun cetvelin diğer kenarına göre, bu esnada yatay eksenle açısı $\varphi = 10^\circ$ dir. ($g = 9,8$ m/s²).

(Cevap: $M = lmg \sin\varphi = 0,36$ N·m).

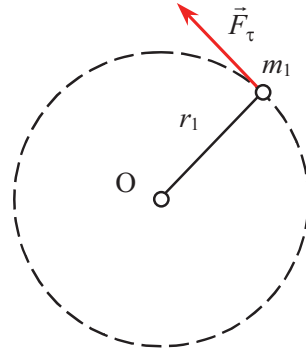
Dönüşlü hareketin dinamiği ile ilgili daha geniş bilgiler şu İnternet adresinde bulabilirsiniz:

<http://pen.physik.uni-kl.de/cgi-bin/ps/search.pl>

6.3. DÖNÜŞLÜ HAREKETİN DİNAMİĞİNİN TEMEL KANUNU. EYLEMSİZLİK MOMENTİ

Sabit eksenini etrafında cisim dönüşlü hareket yapmak için sabit eksene normal gelen kuvvetlerin etki etmesi ve aynı kuvvetler çemberin noktalarına teğet durumunda etki ederler. Sabit eksenini etrafında katı cismin dönüşlü hareketi dinamiğinin temel kanunu elde etmek için, kütlesi m_1 olan katı cismin parçacıklarından bir tanesi incelenerek yeterli olacaktır, parçacık dönme eksenine normal gelen ve yarıçapı r_1 olan dairede hareket eder teğet bileşenin \vec{F}_τ etkisinden ötürü (Şekil 1.). Teğet kuvveti parçacığa teğet hızlaması yaptırır \vec{a}_τ , öyle ki

$$F_\tau = m_\tau a_\tau \quad (1)$$



Şekil 1.

Denklem (1)'in her iki tarafı r_1 ile çarpılırsa

$$F_\tau r_1 = m_1 a_\tau r_1. \quad (2)$$

Denklem (2)'nin sol tarafı O noktasından geçen dönme ekseninin kuvvet momenti dir, sağ tarafında ise teğet hızlamayı alarak $a_\tau = r_1 \varepsilon$ şu denklem elde edilir

6. Dönüşlü hareket

$$M_1 = m_1 r_1 \varepsilon r_1 = m_1 r_1^2 \varepsilon. \quad (3)$$

Denklemden parçacığın kütlesi ve daire yarıçapının karesi ($m_1 r_1^2$) çarpılarak dönme eksenine göre parçacığın eylemsizlik momentini I_1 oluşturur, dönüşlü harekette bulunan parçacığın eylemsizlik birimini gösterir. Buna göre kuvvet momenti dönme eksenine göre

$$M_1 = I_1 \varepsilon \quad (4)$$

açısal hızla doğru orantılıdır, orantı sabitesini eylemsizlik momentini oluşturur. Denklem (4) ile ikinci Newton kanunu $F=ma$ benzerdir. Benzer denklemler katı cismin diğer parçacıkları hakkında yazılabilir. Katı cisim dönme eksenine göre dönmesi için toplam kuvvet momenti

$$M = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 \varepsilon \quad (5)$$

açısal hızla ε cebirsel toplamında aynı bulunur çünkü her parçacık için aynı değeri vardır,

$$\sum_{i=1}^n m_i r_i^2 = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + \dots + m_n r_n^2,$$

katı cismin eylemsizlik momentini oluşturur

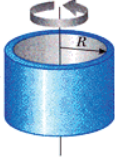
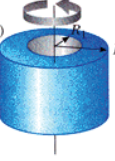
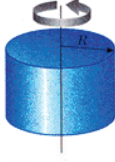
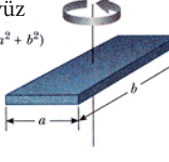

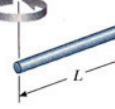
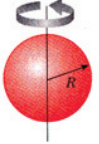

$$I = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2. \quad (6)$$

SI sistemde eylemsizlik momentin birimi kg m^2 dir. Denklemden görülüyor gibi eylemsizlik momentini sadece kütleyle bağlı değildir o kütlelerin dairede nasıl dağıldığına da bağlıdır. Demek ki, kütleleri aynı olan iki silindirin çapları (diyametreleri) farklı ise diya-metresi daha büyük olan silindirin eylemsizlik momentini daha büyüktür.

Denklem (6) denklem (5)'te değiştirilirse dönme eksenine göre toplam kuvvet momentini şu şekilde elde edilir kim ki sabit ekseni etrafında dönüşlü hareketin temel kanununu oluşturur.

$$M = I \varepsilon \quad (7)$$

Tablo 2.1

İçi boş silindir $I_{CM} = MR^2$		Kalın içi boş silindir $I_{CM} = \frac{1}{2} M(R_1^2 + R_2^2)$	
İçi dolu silindir ya da disk $I_{CM} = \frac{1}{2} MR^2$		Paralelyüz $I_{CM} = \frac{1}{12} M(a^2 + b^2)$	
Dönme eksenine merkezden geçen ince bir çubuk $I_{CM} = \frac{1}{12} ML^2$		Dönme eksenine bir uçtan geçen ince çubuk $I = \frac{1}{3} ML^2$	
Homojen çubuk $I_{CM} = \frac{2}{5} MR^2$		İçi boş top $I_{CM} = \frac{2}{3} MR^2$	

Düzgün şekli olan homojen katı cisimlerin eylemsizlik momentini matematiksel olarak dönme eksenine göre hesaplanır çünkü dönme eksenini bir de simetrik ekseni gibidir. Düzgün şekli olmayan ve homojen olmayan katı cisimlerin eylemsizlik momentleri belirlenen eksen göre deneysel olarak toplam kuvvet momentini ve cismin açısal hızla ölçülerek belirlenir. Tablo 2.1. düzgün şekli olan homojen cisimlerin eylemsizlik momentleri verilmiştir.

Mükemmel simetrisi olan katı cismin belli eksene göre eylemsizlik momentini hesaplama işlemi de bazen zor gelebilir.

6. Dönüştü hareket

Böyle olaylarda paralel eksenler teoremi ya da Ştern teoremi gibi bilinen uygulanırsa hesaplama işlemi basitleştirilir. Bu teoreme göre belli eksene göre eylemsizlik momenti I cismin merkezinden geçen eksene göre toplam eylemsizlik momenti I_{CM} artı cisim kütlesi M ve mesafe karesinin h çarpımına eşittir

$$I = I_{CM} + Mh^2. \quad (8)$$

Eğer cismin merkezinden geçen eksenin eylemsizlik momentini belirlersek o zaman ona paralel gelen bir eksene göre eylemsizlik momentini bulmak zor iş değildir.

Ştern teoreminin ispatlanması

Paralel eksenler teoremi şu şekilde ispatlanır:

Alınan koordinat sisteminin başlangıç noktasında kütlelerin merkezi yerleştirilir ve Z eksene göre cismin eylemsizlik momenti I_{CM} dir, (Şekil 2.)

Z eksene paralel gelen ve A noktasından geçen bir eksen göre koordinatları x_A ve x_B cismin eylemsizlik momentini bulmak için cisimde bir maddesel nokta alınır kütlesi m_n ve koordinatları y_i ve y_A dir. A noktasından geçen paralel eksen göre cismin eylemsizlik momenti $I_i = m_i r_i^2$ dir, r_i mesafe A noktasına kadar ve m_i maddesel noktanın kütlesi dir

$$r_i^2 = (x_i - x_A)^2 + (y_i - y_A)^2,$$

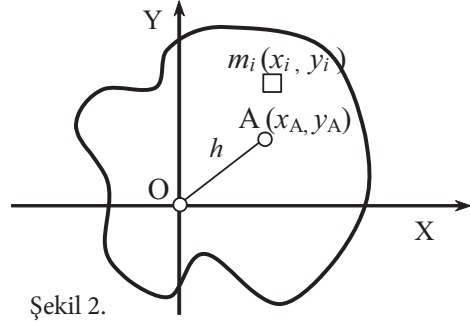
böylece I_i için şu elde edilir

$$I_i = m_i [(x_i - x_A)^2 + (y_i - y_A)^2] \quad (9)$$

Eğer katı cisme ait tüm parçacıkların eylemsizlik momentleri toplanırsa cismin eylemsizlik momenti elde edilir A noktasından geçen paralel eksene göre

$$I = \sum_{i=1}^n m_i [(x_i - x_A)^2 + (y_i - y_A)^2]$$

$$\begin{aligned} \text{veya } I &= \sum_i m_i (x_i^2 + y_i^2) - 2x_A \sum_i m_i x_i - \\ &- 2y_A \sum_i m_i y_i + \sum_i m_i (x_A^2 + y_A^2). \end{aligned} \quad (10)$$



Şekil 2.

Denklemin sağ tarafındaki birinci kısım kütlelerin merkezine göre cismin eylemsizlik momentini verir $I_{CM} = \sum_i m_i (x_i^2 + y_i^2)$, cismin merkezi koordinat sistemin merkezinde bulunur. İkinci ve üçüncü üyeler ise sifıra eşittir çünkü kütle merkezinin koordinatlarını verirler

$$x_{CM} = \frac{\sum_i m_i x_i}{M} \quad \text{ve} \quad y_{CM} = \frac{\sum_i m_i y_i}{M}, \quad \text{ve Şe-}$$

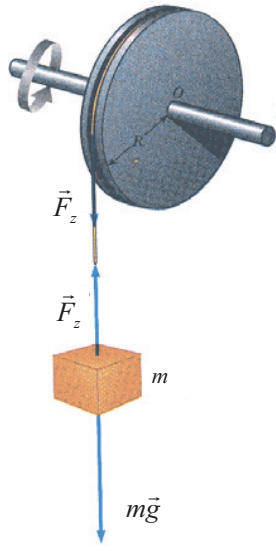
kil 2'ye göre kütlelerin merkezi sifıra eşittir $x_{CM} = y_{CM} = 0$. Denklem (10)'da son üye Mh^2 eşittir

$M = \sum_i m_i$ cismin toplam kütlesi ve h mesafesi A noktası ile O noktası arasında mesafedir $h^2 = x_A^2 + y_A^2$. Bununla denklem (8) elde edilir ve paralel eksenler teoremi ispatlanır.

ÖRNEK 1. Yarıçapı $R = 30,0$ cm olan tekerleğin eylemsizlik momenti $I = 0,0900$ kgm² dir ve sürtünmesi olmadan yatay ekseni etrafında dönüştü hareket yapar (Şekil 3.). Tekerleğe iplik sarılı bulunur ve bir kenarına kütlesi $m = 0,500$ kg ağırlık asılı durur.

İpliğin gerdirme kuvveti ve tekerleğin açısal hızlanması nekadardır?

6. Dönüşlü hareket



Şekil 3.

Çözüm: Tekerlek ekseninde kuvvet momenti $M = RF_z$ dir, F_z ipliğin gerdirme kuvveti dir. Diğer taraftan $M = I\varepsilon$, I - tekerleğin eylemsizlik momenti ve ε açısal hızlama dır. Bu iki denklemden $I\varepsilon = RF_z$ elde edilir

$$\varepsilon = \frac{RF_z}{I} \quad (1)$$

Ağırlığa ikinci Newton kanunu uygularsak Y ekseninde izdüşümleri yukarıya doğru yönlüdürler $\sum F_y = F_z - mg = -ma$, ağırlığın çizgisel hızlaması için

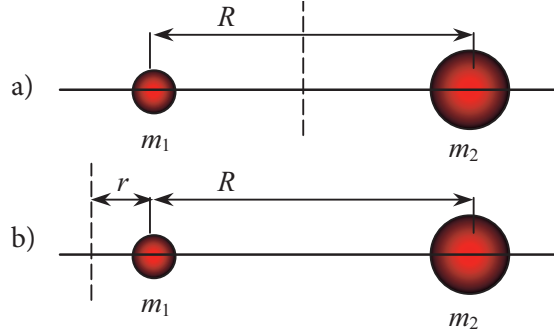
$$a = \frac{mg - F_z}{m} \quad (2)$$

Çizgisel ve açısal bağıllığını kullanarak $a = R\varepsilon$ elde edilir ve denklem (1)'e eklediğimiz zaman $a = \frac{R^2 F_z}{I}$ elde edilir. Bu denklemde denklem (2) göze alınır ve $\frac{mg - F_z}{m} = \frac{R^2 F_z}{I}$ elde edilir ve ipliğin gerdirme kuvveti $F_z = \dots = 3,27 \text{ N}$ dir.

$F_z = \frac{mg}{1 + \frac{mR^2}{I}} = 3,27 \text{ N}$. Açısal hızlamasını $\varepsilon = \frac{a}{R}$ denklemden belirleyeceğiz ve denklem (2)'yi çizgisel hızlamada alalım ve şunu elde ederiz

$$\varepsilon = \frac{g}{R + \frac{I}{mR}} = 10,9 \text{ rad/s}^2.$$

ÖRNEK 2. Kütleleri $m_1 = 5,0 \text{ kg}$ ve $m_2 = 7,0 \text{ kg}$ olan iki top yemlik çubuğa bağlı bulunurlar ve aralarındaki mesafe $R = 4,0 \text{ m}$ (Şekil 4.) dır. Dönme esnasında sistemin eylemsizlik momenti hesaplan- sın: a) cisimler arasındaki mesafenin merkezinden geçen eksene göre; b) kütlesi m_1 olan sol cismin $r = 0,50 \text{ m}$ uzaklığında geçen eksen göre.



Şekil 4.

Çözüm: a) iki topcağız dönme ekseninden aynı mesafelerde bulunurlar ve eylemsizlik momenti

$$I_1 = m_1 \left(\frac{R}{2} \right)^2 + m_2 \left(\frac{R}{2} \right)^2 = 48 \text{ kg m}^2.$$

b) bu olayda eylemsizlik momenti $I_2 = m_1 r^2 + m_2 (r + R)^2 = 143 \text{ kg m}^2.$

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Bir cismin kütlesi aynı olan farklı eylemsizlik momenti olabilir mi?
2. Açısal hızı değişmeyen katı cismin dönme eksenine kuvvet momenti değişebilir mi?

6. Dönüşlü hareket

3. Yarıçapı $R = 33,0 \text{ cm}$ olan tekerleğin bir kenarına sarılı bulunan iplik yardımı ile $F_z = 15,0 \text{ N}$ kuvvet etki ederse açılma hızlaması nekadardır? Eğer iplik ve tekerlek arasındaki sürtünme kuvvet momenti $M_{tr} = 1,10 \text{ Nm}$ değerinde ise, tekerleğin eylemsizlik momenti $I = 0,36 \text{ kg m}^2$ dir.

(Cevap. $\varepsilon = 10,7 \text{ rad/s}^2$).

4. Oksijen molekülü O_2 , iki oksijen atomundan ibarettir ve aralarındaki mesafe $d = 1,21 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ dir, bu mesafenin ortasından geçen eksen etrafında dönerler. Molekülün eylemsizlik momenti hesaplınsın, oksijen atomunun kütlesi $m = 2,26 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$ dir.

(Cevap. $I = 1,95 \cdot 10^{-46} \text{ kg m}^2$).

5. Yarıçapı R_0 ve kütlesi M olan silindirin yüksekliği pek az olmasıyla dış kısmında bulunan noktadan geçen eksene göre eylemsizlik momenti bulunsun, onun simetri ekseni ile paraleldir?

(Cevap. $I = \frac{3}{2} MR_0^2$).

Daha geniş bilgiler İnternet adresinde bulabilirsiniz:

<http://www.colorado.edu/physics/2000/index.pl>

<http://www.schulphysik.de/>

6.4. DÖNME EKSENİNE GÖRE İMPULS MOMENTİ

Sabit ekseni etrafında katı cismin dönüşlü hareketi temel kanunu şu denklemle verilmiştir

$$M = I\varepsilon \quad (1)$$

Bu denklem öteleme hareketi için ikinci Newton kanununun $F = ma$ benzeri gibidir, ve yazılabilir $F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{\Delta(mv)}{\Delta t}$, denklemde $p = mv$ cismin impulsu dur. Buna benzer cismin dönüşlü hareketi de yazılabilir, $\varepsilon = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$ ve elde edilir

$$\varepsilon = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

$$M = I \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

veya

$$M = \frac{\Delta(I\omega)}{\Delta t} \quad (2)$$

$I\omega$ büyüklüğüne impuls momenti denir ve L ile işaret edilir.

$$L = I\omega \quad (3)$$

Böylece denklem (2) şöyle yazılır

$$M = \frac{\Delta L}{\Delta t} \quad (4)$$

kuvvet momenti dönme eksenine göre zaman biriminde impuls değişimini oluşturur ve buna *momentler denklemi* denir.

Denklem (3) diğer bir şekilde elde edilir: Z eksenle çakışan sabit bir eksen etrafında cisim dönüşlü hareketi yapar (Şekil 1). Cisimden m_1 parçacığını alalım ve yarıçapı R_1 olan XY düzleminde yatan dairede hareket eder. Parçacığın çizgisel hızı v_1 dir, ve açılma hızla ω döner. Çizgisel hızı şu denklemle verilir

$$v_1 = r_1\omega$$

bu denklem sağ ve sol tarafı m_1 ile çarpılırsa

$$m_1 v_1 = m_1 R_1 \omega \quad (5)$$

Denklemin sol tarafı parçacığın impulsunu oluşturur, böylece bu denklemin sol ve sağ tarafını R_1 ile çarparsak

6. Dönüşlü hareket

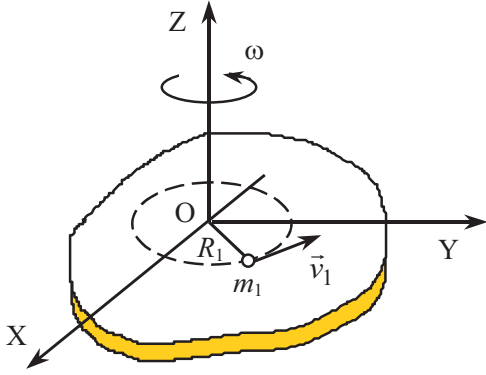


Fig. 1

$$p_1 = m_1 R_1 \omega.$$

Denklemin sol tarafı fiziksel büyüklük olarak *ekseneye göre parçacığın impuls momentini* oluşturur ve R_1 ile işaret edilir.

$$p_1 R_1 = m_1 R_1^2 \omega. \quad (6)$$

Denklem (6)'nin sağ tarafı parçacığın eylemsizlik momentini I_1 oluşturur ve şu şekilde yazılır

$$L_1 = p_1 R_1 \quad (7)$$

Dönme eksenine göre cismin impuls momentini tüm parçacıkların impuls momentlerinin toplanmasıyla elde edilir

$$L_1 = I_1 \omega \quad (8)$$

Dönme eksenine göre cismin bütün n-parçacıkların impuls momentlerini toplarsak cismin impuls momentini elde ederiz.

$$L = \sum_{i=1}^n L_i = \sum_{i=1}^n I_i \omega$$

$$L = I \omega, \quad (9)$$

denkleminde $I = \sum_i I_i$ cismin Z eksenine etrafında eylemsizlik momentini oluşturur, dönme eksenine z eksenine ile çakışır.

SI sisteminde eksene göre impuls momentinin ölçü birimi ($\text{kg m}^2/\text{s}$) dir.

İmpuls momentinin (+) işareti cismin dönüşlü hareketi saat akrelerinin ters yönünde yapıldığı alınır ve (-) dönme saat akreleri yönünde yapılır.

ÖRNEK 1. Hidrojen atomunun elektronu çekirdek etrafında dairesel yörüngede hareket eder, dairenin yarıçapı $r = 0,528 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ dir ve çizgisel hızı $v = 5,00 \cdot 10^3 \text{ m/s}$. Elektronun kütlesi $m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ olduğuna göre elektronun impuls momentini hesaplayınız.

Çözüm: Elektronun impuls momentini şu denklem ile belirleriz $L = pr = mvr$. Eğer değerler yazılırsa şöyle elde edilir

$$L = 24,05 \cdot 10^{-38} \text{ kg m}^2/\text{s}.$$

Sorular, Ödevler, Etkinlikler

1. Cismin ya da cisimler sisteminin eylemsizlik momentini değiştirirse dönme eksenine göre impuls momentini değiştirebilir mi?

2. Momentler denklemini kendi sözlerinizle açıklayınız.

Daha geniş bilgiler İnternet adresinde bulabilirsiniz:

<http://www.schulphysik.de/>

6.5. DÖNME EKSENİNE GÖRE CİSMİN İMPULS KORUNUM KANUNU

Fizikte dönme eksenine göre cismin impuls momentini önemli bir büyüklüktür. Belli şartlarda impuls momentini, impuls enerjisi kapalı sistem için korunur. İmpuls momentinin korunduğu şartlar kimlermiş görelim.

6. Dönüşlü hareket

Dönme eksenine göre toplam kuvvet momenti denkleminde başlanılsın $M = \frac{\Delta L}{\Delta t}$, sifira eşit olması şartında

$$M = \frac{\Delta L}{\Delta t} = 0, \quad (1)$$

veya

$$L = I\omega = \text{const.} \quad (2)$$

Eğer bir zaman aralığı için bir fiziksel büyüklüğün değişimi sifira eşit ise, o zaman o büyüklük sabittir.

Denklem (1) dönme eksenine göre cismin impuls momentini korunum kanunu verir ve şöyle tanımlanır: **sabit eksen etrafında dönen cismin toplam impuls momentini sabittir eğer cisme etki eden kuvvet momentinin bileşkesi sifir değerinde ise.** Bu kanun kapalı sistem için geçerlidir.

İmpuls momentinin korunum kanunu şu şekilde yazılır

$$I\omega = I_0 \omega_0 = \text{const}, \quad (3)$$

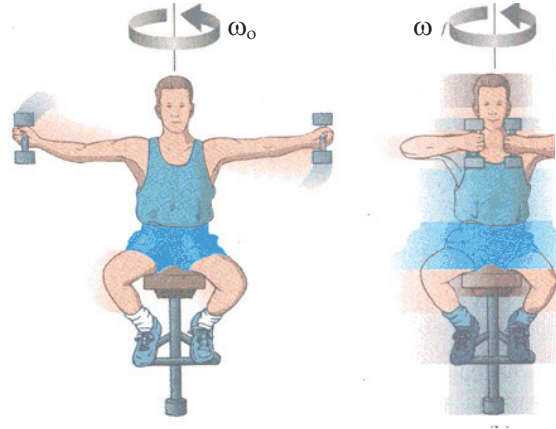
denklemde başlangıç anındaki büyüklükler $t=0$ eylemsizlik momentini I_0 ve açısal hızı ω_0 dırlar, bitiş anındaki aynı büyüklükler I ve ω dırlar. Cismin farklı kısımlarının durumları değişir bununla birlikte eylemsizlik momentini ve açısal hızı değişir fakat $I\omega$ büyüklüklerin çarpımı sabit kalacaktır.

İmpuls momentinin korunum kanunu geçerli olduğu örnekler çoktur:

DENEY 1. Dikey eksen etrafında dönen sandalye üzerine öğrenci oturmuş kolları açık ellerinin her birinde 1 kg lık ağırlık bulunur, dönen sistemin (öğrenci, ağırlık, sandalye) impuls momentini $I_0\omega_0$ dir. Eğer öğrenci kollarını kapatıp ellerini vücuduna yaklaştırdığı (Şekil 1.) zaman sandalye hala harekette bulunurken, eylemsizlik momentini azalacak, açısal hızı çoğalacaktır ve şu denklem geçerli olacaktır

$$I_0\omega_0 = I\omega$$

Demek ki impuls momentini sabit kalır.



Şekil 1.

DENEY 2. Kız öğrenci dönen sandalyede durur ve ellerine bisiklet tekerleği tutar (Şekil 2.).



Şekil 1.

Başlangıç anda sistem (öğrenci, sandalye, bisiklet tekerleği) sükûnette bulunur ve impuls momentini sifirdır. Öğrenci tekerleği saat akreleri yönünde döndürürse, o zaman sandalye de dönmeğe başlayacak fakat ters yönde ve impuls momentini tekrar bu değişiklikten sonra aynı sifir kalacaktır. Demek ki tekerleğin

impuls momentini $+L_0 = +I_0\omega_0$ ise, öğrenci ve sandalyenin impuls momentini $-L = -I\omega$ dir. Onların toplamı $+I_0\omega_0 + (-I\omega) = 0$ sifira eşittir, başlangıçta olduğu gibi aynı kalır.

ÖRNEK 1. Disk şeklinde yatay plak yatay düzlemi üzerinde dikey eksen etrafında döner. Plakın kütlesi $m_1 = 100 \text{ kg}$ ve yarıçapı $R = 2,0 \text{ m}$ dir. Kütlesi $m_2 = 60 \text{ kg}$ olan insan plakın köşesinde durur ve yavaşça merkezine doğru ilerler. İnsan pla-

6. Dönüştü hareket

kın köşesinde bulunurken açısal hızı sistemin 2,0 rad/s değeri varmış.

İnsan merkeze 0,50 m uzaklığında yaklaştığı zaman sistemin açısal hızı bulunsun. Diskin eylemsizlik momenti $I_1 = \frac{m_1 R^2}{2}$.

Çözüm: İnsan diskin köşesinde olduğu zaman sistemin eylemsizlik momenti

$I_0 = I_1 + I_2 = \frac{m_1 R^2}{2} + m_2 R^2$, insan diskin merkezine yaklaşınca daha doğrusu verilen uzaklığa r yaklaşınca eylemsizlik momenti

$$I = I_1 + I_2' = \frac{m_1 R^2}{2} + m_2 r^2.$$

Çünkü dış kuvvetler momenti sisteme etki etmediği için eksene göre impuls momenti korunum kanunu geçerli dir

$$I_0 \omega_0 = I \omega$$

$$\text{ya da } \left(\frac{1}{2} m_1 R^2 + m_2 R^2 \right) \omega_0 = \left(\frac{1}{2} m_1 R^2 + m_2 r^2 \right) \omega$$

şu denklemden elde edilir

$$\omega = \frac{\frac{1}{2} m_1 R^2 + m_2 R^2}{\frac{1}{2} m_1 R^2 + m_2 r^2} \omega_0$$

$$\text{ya da } \omega = 4,1 \text{ rad/s.}$$

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Dikey ekseni etrafında dönen sandalye üzerinde insan duruyor ve sandalye ile beraber $n_1 = 0,5 \text{ dak}^{-1}$ frekansıyla döner. Dönme eksenine göre insan vücudunun eylemsizlik momenti $I_0 = 1,6 \text{ kg m}^2$. Kollarını açmış ve her bir elinde 2 kg ağırlığında ağırlık bulunur, ağırlıklar arası mesafe 1,6 m. Dakikada sistem (insan, ağırlık) kaç dönme yapar eğer kollarını yavaşça toplarsa

ve mesafe 0,4 m inerse? Sandalyenin eylemsizlik momenti göz önüne alınmaz. (Cevap. $n_2 = 1,18 \text{ dak}^{-1}$).

2. Disk şeklinde plak yarıçapı 1,5 m ve kütlesi 180 kg olan dikey ekseni etrafında 10 dak^{-1} frekansıyla döner. Plakın merkezinde kütlesi 60 kg olan insan durur ve o anda onun eylemsizlik momenti göz önüne alınmaz. İnsanın çizgisel hızı nekadardır eğer plakın köşesine geçerse? Diskin eylemsizlik momenti $I = \frac{1}{2} m R^2$.

(Cevap. $v = 0,942 \text{ m/s}$)

3. Buz pateni yapan kişi açık kolları ile $\omega_1 = 12,57 \text{ rad/s}$ açısal hızla dönüştü hareketi yapar. Eğer buz pateni yapan kişi kollarını vücuduna yaklaştırarak eylemsizlik momentin değeri % 60'e düşer, o anda buz pateni yapan kişinin açısal hızı hesaplınsın?

(Cevap. $\omega_2 = 21 \text{ rad/s}$)

Daha geniş bilgiler İnternet adresinde bulabilirsiniz:

<http://pen.physic.edu-kl.de/cgi-bin/ps/search.pl>

6.6. DÖNÜŞLÜ HAREKETİN KİNETİK ENERJİSİ

Sabit ekseni etrafında dönüştü hareketi yapan cisim tamamen açıklanmış değildir eğer ki kinetik enerjisinin denklemi verilmemişse. Bu amaç için başlık 1.4.'teki Şekil 1'e dönelim ve orada cisme ait bir kütlesi m_1 olan parçacığın hareketi gösterilmiştir ve çizgisel hızı v_1 dir. Bu parçacığın kinetik enerjisi

$$E_{k1} = \frac{m_1 v_1^2}{2}. \quad (1)$$

Bu denklemde çizgisel hızda $v_1 = R_1 \omega$ değişiklik yapılacak, cismin açısal hızı ω ve dairenin yarıçapı R_1 dir.

6. Dönüştü hareket

$$E_{k1} = \frac{m_1 R_1^2 \omega^2}{2} \quad (2)$$

Sabit ekseni etrafında dönüştü hareketi yapan cismin kinetik enerjisini cisme ait tüm parçacıkların n kinetik enerjilerinin toplamına eşittir. Böylece şu eşitlik elde edilir

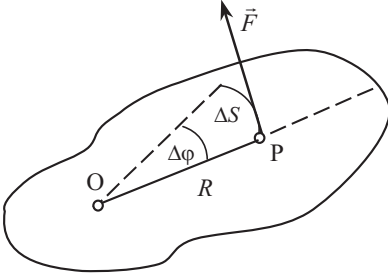
$$E_k = \sum_{i=1}^n E_{ki} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (m_i R_i^2) \omega^2$$

veya

$$E_k = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (3)$$

denklemdede $I = \sum_{i=1}^n m_i R_i^2$ dönme eksenine göre katı cismin eylemsizlik momenti dir. Demek ki sabit eksen etrafında dönüştü hareketi yapan katı cismin kinetik enerjisi eylemsizlik momentin yarı toplamına ve cismin açısal hızı karesine eşittir.

Önceki konularda görüldüğü gibi sabit ekseni etrafında katı cismin dönüştü hareketi yapması için kuvvet momentin etki etmesi gerekir. O anda iş yapılır ve yapılan iş şu şekilde belirlenir: Dış kuvveti \vec{F} dönme ekseninden R uzaklığında bulunan P noktaya etki eder (Şekil 1.).



Şekil 1.

Yapılan temel iş δA esnasında, maddesel nokta daire üzerinde hareket eder ve ΔS yayını çizer ve $\Delta\phi$ açısı kadar döner.

$$\delta A = F \Delta S \quad (4)$$

eğer denklemdede $\Delta S = R \Delta\phi$ değiştirilirse,

$$\delta A = FR \Delta\phi \quad (5)$$

kuvvet momentin $M = FR$ olduğuna göre temel iş

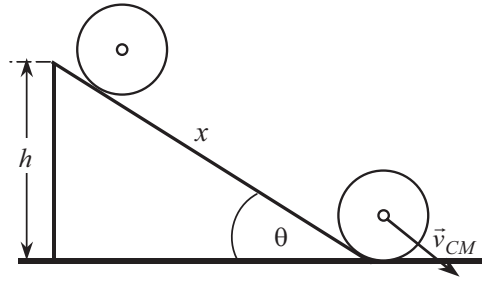
$$\delta A = M R \Delta\phi \quad (6)$$

Küçük açı $\Delta\phi$ için katı cismin tüm noktaları dönmesi esnasında yaptıkları iş toplanırsa, sabit ekseni etrafında dönen cismin kuvvet momentinin toplam işi elde edilir.

$$A = M\phi \quad (7)$$

ÖRNEK 1. Dolu olan homojen küre açısı $\theta = 30^\circ$ olan eğik düzlemde hareket eder, eğik düzlemin uzunluğu l m ve yüksekliği h dır (Şekil 2.).

Eğik düzlemin bitişinde kürenin çizgisel hızı hesaplınsın. Dolu homojen kürenin eylemsizlik momentin $I_{CM} = \frac{2}{5} m R^2$ dir, m kütle ve R küre yarıçapı dır. Sürtünme göz ününe alınmaz ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$).



Şekil 2.

Çözüm: Homojen küre eğik düzlemde onun merkezinden geçen eksen etrafında dönüştü hareketi yapar ve öteleme hareketi yapar. Bundan dolayı onun dönüştü kinetik enerjisi ve öteleme kinetik enerjisi vardır

$$E_k = \frac{1}{2} I_{CM} \omega^2 + \frac{1}{2} m v_{CM}^2$$

denklemdede $v_{CM} = R\omega$ kütle merkezinin çizgisel hızı dır.

6. Dönüştü hareket

Denklemdede $\omega = \frac{v_{CM}}{R}$ açısız hızı değiştirmekle kinetik enerjisi denklemini

$$E_k = \frac{1}{2} \left(\frac{I_{CM}}{R^2} + m \right) v_{CM}^2 .$$

Küre sükûnetten harekete belli h yüksekliğinden geçer bundan dolayı potansiyel enerjisi o başlangıç durumunda vardır $U = mgh$. Mekanik enerjisi korunum kanununa göre kinetik enerjisi potansiyel enerjisine eşittir

$$\frac{1}{2} \left(\frac{I_{CM}}{R^2} + m \right) v_{CM}^2 = mgh$$

bundan çizgisel hız denklemini elde edilir

$$v_{CM} = \left(\frac{2gh}{1 + \frac{I_{CM}}{mR^2}} \right)^{1/2} .$$

Eğer burada $I_{CM} = \frac{2}{5} mR^2$ değiştirilirse ve düzelirse

$$v_{CM} = \left(\frac{10}{7} gh \right)^{1/2} .$$

Yükseklik $h = x \sin \theta$, bu denklemini öncesinde değiştirirsek

$$v_{CM} = \left(\frac{10}{7} gx \sin \theta \right)^{1/2} .$$

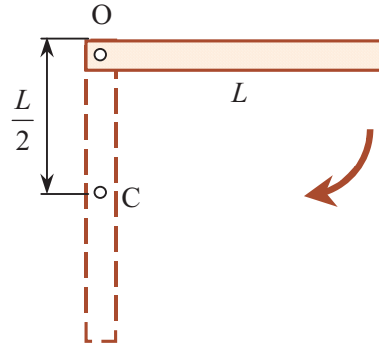
Eğer değerler değiştirilirse denklemdede

$$v_{CM} = 7 \text{ m/s} .$$

ÖRNEK 2. $L=1\text{m}$ uzunluğunda ve kütlesi m olan homojen çubuk bir kenarından geçen eksen etrafında dönüştü hareketi yapar. Başlangıçta yatay durumda bulunur (Şekil 3.). Çubuk en alçak durumda bulunurken açısız hızı bulunsun.

($g=9,81 \text{ m/s}^2$; $I=mL^2/3$)

Çözüm: Enerji korunum kanunu uygulanılırsa en alçak durumunda çubuğun potansiyel enerjisi kinetik enerjisine dönüştür



Şekil 3.

$$mg \frac{L}{2} = \frac{1}{2} I \omega^2 .$$

Eğer burada çubuğun eylemsizlik momenti $I = mL^2/3$ değiştirilirse

$$mg \frac{L}{2} = \frac{1}{2} \frac{1}{3} mL^2 \omega^2$$

böylece açısız hızı denklemini $\omega = \sqrt{\frac{3g}{L}}$ dır.

Değerleri denklemdede değiştirmekle açısız hız değeri $\omega = 5,42 \text{ rad/s}$ dir.

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Kütlesi 5 kg ve dış yarıçapı 5 cm olan halka, uzunluğu 2 m ve açısı 30° olan bir eğik düzlemde dönüştü hareketi yapar. Eğik düzlemin bitişinde (sonunda) halkanın çizgisel hızı 3,3 m/s olduğuna göre eylemsizlik momenti hesaplınsın, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

(Cevap. $I = 4 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^2$)

2. Yatay yörüngede top 7,2 km/h hızla hareket eder. Kendi kinetik enerjisine rağmen bir eğik düzlemde ne kadar mesafeye ulaşır yukarıya doğru dönüştü hareket yaparak, eğer ki her 100 m'de düzlem 10 m uzunluğunda eğiktir? ($g=9,81 \text{ m/s}^2$; $I=2mR^2/5$).

(Cevap. $I=2,86 \text{ m}$)

Dönüştü hareketin kinetik enerjisi için daha geniş bilgiler İnternet adresinde bulabilirsiniz:

<http://www.wug.physics.uiuc.edu/Lect15/sld005.htm>

6. DönüŖlü hareket

6.7. ÖTELEME VE DÖNÜŖLÜ HAREKETİN BÜYÜKLÜKLERİ VE KANUNLARI ARASINDA BENZERLİK

Sabit eksenini etrafında katı cismin dönüŖlü hareketini kinematiksel ve dinamiksel olarak tarif etmek için maddesel noktanın öteleme hareketi temel denklemlerine döneriz.

Daha doğrusu bizler maddesel noktanın öteleme hareketinin temel denklemleri ve sabit

eksenini etrafında katı cismin dönüŖlü hareketin temel denklemleri arasında benzerlik yaptık. Çünkü katı cisim n – maddi noktaların denklemi olarak da incelenebilir. Katı cismin dönüŖlü hareketindeki farklı denklemleri daha kolay öğrenmemiz için aŖağıdaki 2.2 tablosunda vereceğiz (bu bilgileri önceki yıllarda öğrenmişsiniz):

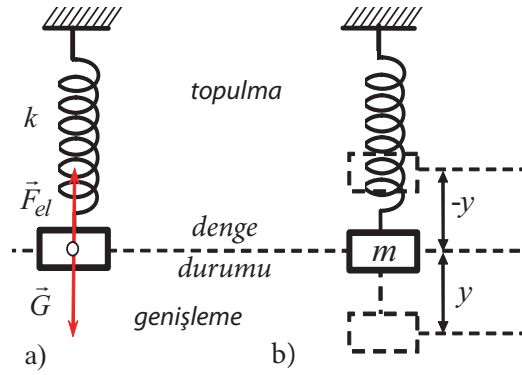
Tablo 2.2.

Sabit eksenini etrafında katı cismin dönüŖlü hareketi	Cismin dönüŖlü hareketi
Dönme açısı φ	Geçilen yol s
Açısal hızı $\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$	Çizgisel hızı $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$
Açısal hızlama $\varepsilon = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$	Çizgisel hızlama $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$
Eylemsizlik momenti I	Kütle m
Kuvvet momenti $M = I\varepsilon$	Kuvvet $F = ma$
Düzgün değişen dönüŖlü hareket olduğu zaman $\varepsilon = \text{sabit} \begin{cases} \omega = \omega_0 + \varepsilon t \\ \varphi - \varphi_0 = \omega_0 t + \frac{1}{2} \varepsilon t^2 \end{cases}$	Düzgün hızlanan doğrusal hareket olduğu zaman $a = \text{sabit} \begin{cases} v = v_0 + at \\ s - s_0 = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \end{cases}$
Eksen göre impuls momenti $L = I\omega$	Cismin impulsu $p = mv$
Katı cismin dönüŖlü hareketinin temel denklemi $M = I\varepsilon = \frac{\Delta L}{\Delta t}$	Öteleme hareketi dinamiğinin temel denklemi $F = ma = \frac{\Delta p}{\Delta t}$
DönüŖlü hareketin kinetik enerjisi $E_k = \frac{1}{2} I\omega^2$	Öteleme hareketin kinetik enerjisi $E_k = \frac{1}{2} mv^2$
DönüŖlü harekette iş $A = M\varphi$	Öteleme harekette iş $A = Fs$

7.1. PERİODİK HAREKET

Osilatör hareketin temel kavramları ve elemanları

Peryodik hareketi kavramı hareketin tekrarlanması ya da cismin durumu aynı bir yörüngeye göre değişmesi manasına gelir. Diğer bir sözle aynı zaman aralıklarında tekrarlanan hareket periyodik dir. Bu hareketlerde bir devir sürecine **periyot** denir.



Şekil 1. Yayın titreşmesi

Doğada olaylardan çoğu periyodiktir, örneğin: saat sarkacının hareketi, yaya asılı bulunan ağırlık, müzik enstrüman tellerinin titreşimi, kalbin çalışması, sesin yayıldığı ortamda parçacığın titreşimi, Güneşin etrafında gezegenlerin hareketi, katı cismin kristal kafesinde atomların ve moleküllerin denge durumları etrafında titreşimleri, alternatif akımda gerilim ve akımın değişmesi periyodiktir ve sayı.

Fiziksel doğasına göre ve elde edilmelerine göre titreşimler şunlara ayrılır: *mekanik titreşimler*, *elektromanyetik titreşimler*.

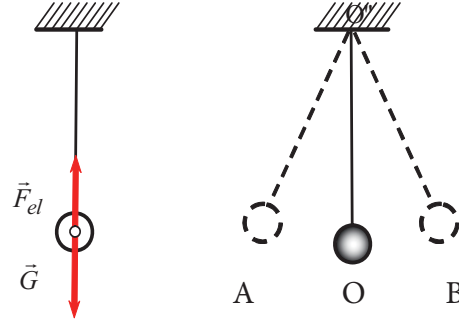
Osilatör hareketleri özel tür periyodik hareketleri oluşturur ve sıkça rastlanırlar. *Cisim per-*

yodik hareketi esnasında en denge durumundan bir yana sapsasına ve sonra diğer yana sapsasına osilatör hareketi denir. Osilatör hareketin olması için şart cisim denge durumuna getirecek kuvvet (dış ya da iç) gerekir.

Spiral şeklinde yayın bir kenarına yay asılmıştır (Şekil 1.). Spiral onun iç elastik kuvveti \vec{F}_{el} ve ağırlığın ağırlığı \vec{G} eşitlene kadar gerilir. Bu duruma *denge durumu* denir (Şekil 1.a).

Dış kuvveti etkisinden ağırlık dengesinden çıkarılınca elastik kuvveti \vec{F}_{el} çoğalır. Bu kuvvet ağırlığı denge durumuna getirmesi çabasında bulunur, buna *geri döndürme (getirme) kuvveti* denir, (Şekil 1.b.) ve her zaman denge durumuna yönlü bulunur. Osilatör hareketi esnasında cisim ile denge durumu arasındaki mesafeyi sürekli değiştirir.

Denge durumundan ani sapsasına uzama denir ve uzamanın en büyük değerine *amplitüt* denir. Elastik yayın ve ağırlığın oluşturdukları sisteme *osilatör sistemi* veya *osilatör* denir.



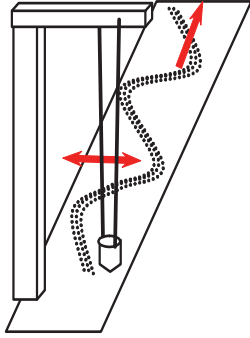
Şekil 2. İpliğe asılı bulunan cismin titreşimi

Cisim kuvvetin yerçekimi ağırlığı birleşigi yardımı ile denge durumundan çıkarılırsa, tekrar denge durumuna gelir bu kuvvetler özelliğine göre elastik kuvvetlere benzerler (Şekil 2.).

HARMONİK TİTREŞİMLER

Osilatör hareketin elemanları

Farklı osilatör türleri arasında en basitlerinden *harmonik titreşimleri* dir, büyüklüğü zamanla sinüs ve kosinüs kanunlarına göre değişir. Titreşimlerin çoğu bu türden olduğu şu deneyle kanıtlanır.



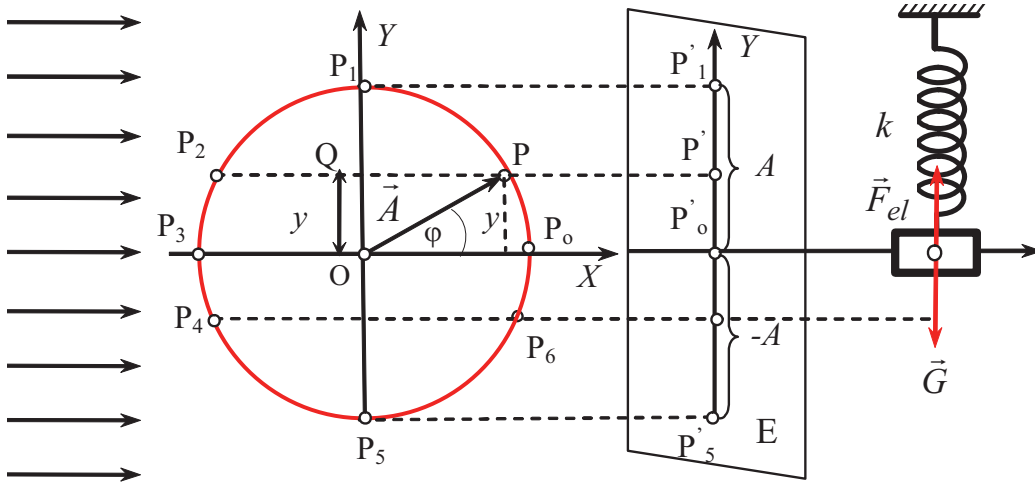
Şekil 1.

Koni şeklinde bir kaba ufak kumla doldurulur ve ipler yardımı ile bir desteğe sarkacı oluşturacak şekilde bağlanır. Sarkaç altında uzun bir şerit yerleştirilir (Şekil 1.). Sarkaç denge durumundan çıkarılır ve titreştirilir, diğer taraftan alttaki şerit düzgün hareket ettirilir. Koninin dar kısmındaki ucunda bulunan boşluktan ufak kumlar şerit üzerine akar ve eğri çizgiyi oluşturur, sinüsoid şeklinde.

Harmonik titreşimleri matematik olarak ifade etmek kolay olur düzgün dönüşlü hareketi yapan maddesel noktanın P izdüşümünü takip ederek (Şekil 2.).

Koordinat sisteminde XOY yarıçapı A olan çember çizilir, nokta P düzgün dönüşlü hareket v hızıyla ve ω açısal hızıyla çember üzerinde saat akrelerin ters yönünde yapar. P noktanın izdüşümü $+A$ ile $-A$ değerinde y ekseninde değişir.

Dönüşlü hareketin merkezi koordinat sisteminin XOY başlangıcında bulunur, P noktanın izdüşümü ise Y ekseninde incelenir.



Şekil 2.

7. Mekaniksel titreşimler

Noktanın başlangıç durumu P_0 olsun ve düzgün dönüşlü hareketi esnasında P_1, P_2, P_3, P_4 ve sayı durumlarından geçer, izdüşümleri ise P_1', P_2', P_3' ve sayıdırlar. P_0' durumu denge durumunu oluşturur.

Nokta P izdüşümünün ve koordinat sistemi başlangıcı arasındaki mesafe y ekseninde herhangi bir uzama y dur, maksimum uzamayı ise *amplitüt* oluşturur ve A ile işaret edilir.

Uzama harmonik titreşimli harekette $+A$ 'dan sıfıra ve sıfırdan $-A$ 'ya ve tekrar sıfıra titreşir. Maddesel noktanın bir bütünlük titreşim yapma zaman süresine *titreşim periyodu* T denir.

Zaman biriminde yapılan bütünlük titreşimler sayısına *frekans* denir, f ile işaret edilir. Frekans birimi 1 Hz (Herç) dir.

$$1 \text{ Hz} = \frac{1}{1 \text{ s}} = \text{s}^{-1}. \quad (1)$$

Frekans periyotla bağlıdır:

$$f = \frac{1}{T}. \quad (2)$$

Koordinat sisteminde t zamanda $OP_1 = A$ doğru parçası X eksenle φ açısını çizmesine *titreşim fazı* denir.

Bir periyot esansında \vec{A} radyus vektörü O noktasından tam 2π rad açısını çizer, hareket düzgün olduğu için açı φ zamanla t doğru orantılı değişir:

$$\varphi : 2\pi = t : T \quad (3)$$

Buna göre titreşim fazı φ , zaman t , titreşim periyodu T ve açısal hızı ω bağlıdırlar:

$$\varphi = \frac{2\pi}{T} t = 2\pi f t = \omega t. \quad (4)$$

Denklemden görüldüğü gibi φ , zamana bağlıdır, daha doğrusu faz ve zaman osilatör hareketin özelliğini oluştururlar. Dairesel frekans denklemi:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f. \quad (5)$$

Dairesel frekans titreşim sayısını 2π saniyede oluşturur.

2.2. HARMONİK TİTREŞİMLERİN KARAKTERİSTİK BÜYÜKLÜKLERİ

Harmonik titreşimde değişen karakteristik büyüklükler: *uzama, hız, kuvvet ve hızlama*. (Şekil 2.)'den görüldüğü gibi

$$\frac{OQ}{OP} = \frac{y}{A} = \sin \varphi.$$

Maddesel nokta izdüşümünün durumu Y eksenine zamanla değişir şu kanunla:

$$y = A \sin \varphi = A \sin 2\pi f t = A \sin \omega t \quad (1)$$

Denklem (1) grafiksel olarak (konu 2.4. Şekil 2)'de gösterilmiştir, eğer başlangıç açısının φ_0 bir değeri varsa denklem (1) şu şekilde olur:

$$y = A \sin (\omega t + \varphi_0). \quad (2)$$

Fonksiyonlar $\sin \varphi t$ ve $\cos \varphi$ periyodik dirler ve aldıkları değerler ± 1 dir veya aynı değerleri olabilirler faklı t değerlerinde, $\sin \omega t = \pm 1$ değeri için $t = \pi/2\omega$ dir. Böylece denklem (1) matematik olarak şöyle yazılır:

$$y = A \sin \omega t = A \sin \omega (t + kT), \quad (3)$$

nerde ki $k=1, 2, 3, \dots$ tam sayıdır, ve belli zaman aralıkları için: $t = T, 2T, 3T, \dots$ fonksiyon aynı de-

7. Mekaniksel titreşimler

ğerleri alır. İki sarkaç aynı periyotla aynı yönde titreşirler ve belli zaman aralığında denge durumundan geçmeleri aynı *fazda* oldukları demir. Eğer fazları korunursa ve periyotları da değişmezse fakat farklı yönde hareket ederseler *ters fazlı* oldukları demir.

Diğer yandan P maddesel noktanın izdüşümleri X ekseninde incelenirse harmonik titreşimli hareket yaptığı görülür ve şu denklemlerle verilir

$$x = A \cos \varphi = A \cos 2\pi ft = A \cos \omega t. \quad (4)$$

ya da faz olarak farklıysa $\pi/2$ değeri kadar

$$\cos \omega t = \sin (\omega t + \pi/2). \quad (5)$$

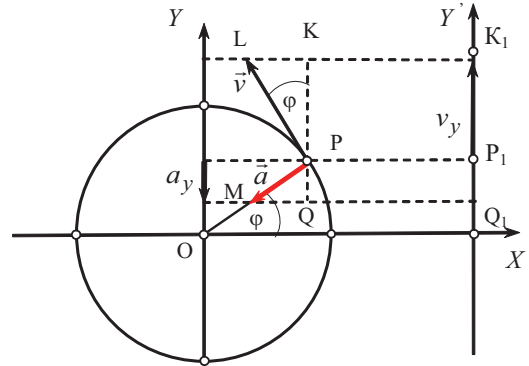
Denklem (1) ve (5)'ten şu sonuca varılır daire üzerinde düzgün hareketi birbirine normal gelen aynı frekanslı iki harmonik titreşimli hareketi benzerdir, faz olarak $\pi/2$ değeri kadar farklıdır. O hareketlere iştirak eden nokta daire üzerinde bulunur ve o dairenin denklemini şöyledir:

$$x^2 + y^2 = A^2 (\cos^2 \omega t + \sin^2 \omega t) = A^2$$

HARMONİK TİTREŞİMLİ HAREKETİN HIZ VE HIZLAMA DENKLEMİ

Harmonik titreşimli hareketlerde zamanla değişen büyüklükler uzama, hız ve hızlama dır. Nokta P'nin hızı \vec{v} P noktasında çekilen teğet yönündedir, v_y hızı şiddet olarak değişir ve yön olarak değişir.

Harmonik titreşimli hareketlerde hız kanunu dairesel harekette çizgisel hız vektörünün izdüşümünü gibi titreşimli hareketin doğrultusunda hız alınır (Şekil 1).



Şekil 1.

Şekilde PKL üçgeninden:

$$\frac{PK}{PL} = \frac{P_1K_1}{P_1L} = \frac{v_y}{v} = \cos \varphi, \quad (1)$$

Amplitüt ya da hızın maksimum değeri $v = \omega A$; $\varphi = \omega t$, dairesel hareketin yarıçapı ve titreşimli hareketin amplitütü aynı A dır. Denklem (1)'e göre harmonik titreşimli hareket hızı v_y şöyle verilir:

$$v_y = \omega A \cos \omega t, \quad (2)$$

Denklemde (2) ω dairesel frekanstır. Harmonik titreşimli hareketin hızı zamanın kosinüs fonksiyonu olarak verilmiştir. Onun değeri $v_y = \pm v = \pm \omega A$ sınırları içerisinde titreşimli olarak değişmektedir. Demek ki, nokta P periyodik olarak değişir, (+) ve (-) işaretleri hız vektörel büyüklük olarak y eksenindeki yönü gösterir.

7. Mekaniksel titreşimler

Harmonik titreşimli hareket hızlaması merkezci hızlamasının \vec{a} izdüşümü gibi belirlenir (Şekil 1.). PMQ üçgeninden şuna varılır:

$$P_1Q_1 = PQ = PM \sin \varphi, \quad (3)$$

Düzgün dairesel hareketin merkezci hızlama şiddeti PM olduğuna göre, $a = \omega^2 A$ ve $\varphi = \omega t$ yazılabilir.

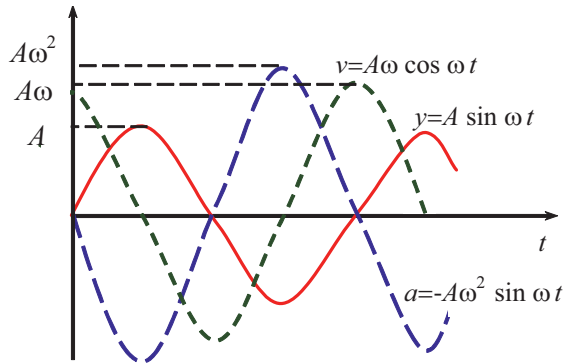
Y ekseninde hızlama:

$$a_y = -\omega^2 A \sin \omega t. \quad (4)$$

Hızlama uzama ile doğru orantılıdır, yönleri tersidir:

$$a_y = -\omega^2 y. \quad (5)$$

Şekil 2'de harmonik osilatör uzamasının, hızının ve hızlamasının zamanla bağıllığı gösterilmiştir.



Şekil 2. Uzama, hız ve hızlama faz olarak farklıdır

Sinüs ve kosinüs fonksiyonların maksimum değerleri ± 1 dir, hızın maksimum değerleri $\pm \omega A$ dır. Hızın en büyük değeri denge durumundan geçtiği zaman dır ($t = 0$ ve $t=T/2$), en küçük değeri ise maksimum uzamada dır ($t = T/4, 3T/4, 5T/4, \dots$).

Harmonik titreşimli harekette maddesel noktada hızlamasının maksimum değeri $a_0 = \omega^2 A$ ve maksimum uzamada dir, denge durumundan geçtiği anda hızlama sıfır dır.

Harmonik titreşimli hareket için en basit örnek elastik bir yaya asılı duran kütlesi m olan ağırlık sayılır.

Dış kuvveti F ile denge durumundan çıkarılır, dış kuvveti yay uzunluğu ile orantılıdır, $F=ky$, denklemde k orantı sabitesi dir.

Yay bir ara $y = A$ değerinde gerdirilir, yaya geri çekme kuvveti etki eder

$$F_{el} = -ky \quad (6)$$

ve ağırlığı denge durumuna getirme çabasında bulunur. Sistem (yay, ağırlık) denge etrafında titreşim yapmağa başlıyor. Titreşimli harekette kuvvetin değeri en büyük tür cisim denge durumundan en uzak durumda olduğu zaman.

İkinci Nefton kanununa göre kuvvet büyüklüğü şöyle yazılabilir:

$$F = ma_y = -ky, \quad (7)$$

hızlama ise şöyle:

$$a_y = -\frac{k}{m}y. \quad (8)$$

Denklem (5) ve (8) kıyaslandığı zaman $-\omega^2 y = -ky/m$ elde edilir, daha doğrusu:

$$\omega = \sqrt{k/m}. \quad (9)$$

Burada denge durumunda başlangıç değişimi yapan amplitüt dür.

Harmonik osilatörün titreşim frekansı f_0 ya da öz frekansı gibi adlandırılan:

$$f_0 = \frac{\omega}{2\pi},$$

ya da
$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad (10)$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}. \quad (11)$$

Son iki denklemden görüldüğü gibi *frekans ve periyot amplitüte bağlı değildir, osilatör kütle sine ve k sabitesine bağlıdır.*

ÖRNEK 1. Kütle $m = 200$ g olan topcağız, elastik sabitesi $0,2$ kN/m olan yaya bağlı bulunur ve titreşimli hareket yapar. Topcağız denge durumundan 2 cm değerinde yerdeğişimi yaparsa hızlama şiddeti nekadardır?

Verilen büyüklükler: $m=200$ g = $0,2$ kg; $k= 0,2 \cdot 10^3$ N/m; $k=200$ N/m; $y=2$ cm = $0,002$ m.

Çözüm: Denklemden verilen değerleri değiştirmekle $a_y = -\frac{k}{m}y$ ve eksi işareti almakla

$$a = \frac{k}{m}y = \frac{200 \text{ N/m}}{0,2 \text{ kg}} 0,002 \text{ m} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

ÖRNEK 2. Harmonik titreşimli denklemin yazılmasını eğer amplitüt modülü $A=0,4$ m değeri varsa, dairesel frekansı $\omega=4$ Hz ve başlangıç fazı $\varphi_0=\pi/2$.

Verilen değerler: $A=0,4$ m; $\omega= 4$ Hz; $\varphi_0=\pi/2$.

Çözüm: Denklemden verilen değerleri değiştirmekle $y= A \sin (\omega t + \varphi_0)$ elde edilir:

$$y = 0,4 \sin (4 t + \pi/2)$$

Sorular ve ödevler

1. Frekans nedir, SI siteminde birimi nedir ve periyot ile frekans arasında bağıllık nedir?
2. Uzama denklemini y eksenini yönünde yazın.
3. Eğer $\sin \omega t$ ve $\cos \omega t$ fonksiyonları periyodik fonksiyonlarsa kT periyodu için uzama nasıl yazılır?
4. X ekseninde harmonik titreşimli hareketi yapan maddesel noktanın izdüşümü yazılsın.
5. Ağırlık ve yaydan oluşan harmonik osilatörün geri çekme kuvvetinin sabitesi kime bağlıdır.
6. Y eksenini yönünde titreşen noktanın hız denklemini yazın.

ÖZET

Titreşim fazı φ , zaman t , titreşim periyodu T dairesel frekans ω bağılıdır:

$$\varphi = \frac{2\pi}{T} t = 2\pi f t = \omega t.$$

- Frekans periyotla bağılıdır:

$$f = \frac{1}{T}$$

- Frekans ölçü birimi $1 \text{ Hz} = \frac{1}{1 \text{ s}} = \text{s}^{-1}$.

- Dairesel frekansı titreşim sayısını 2π saniyede oluşturur.

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f.$$

- Başlangıç fazının herhangi bir değeri varsa φ_0 uzaması

$$y = A \sin (\omega t + \varphi_0).$$

- Harmonik osilatörün öz frekansı ve titreşim periyodu

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}; \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}.$$

7.4. HARMONİK OSİLATÖR ENERJİSİ

Her harmonik osilatörün enerjisi vardır. Titreşimli hareketin toplam enerjisi kinetik ve potansiyel enerjileri toplamından ibarettir. Titreşim sürecinde onlar periyodik olarak biri değerine dönüşür (Şekil 2.).

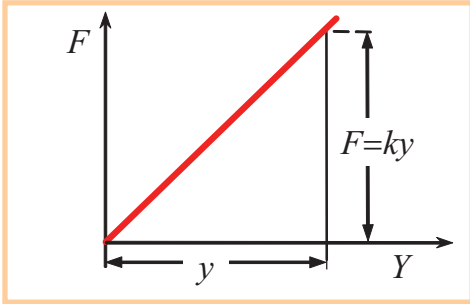
Kütlesi m olan cisim yaya asılı bulunur ve titreşir. Cisim bir kuvvetin yardımı ile aşağıya çekilir ve ona karşılık veren cisimi denge durumuna getirmek isteyen kuvvet tir.

Harmonik titreşimi yapan kütlesi m ve hızı v_y olan cismin kinetik enerjisi (konu 2.3. denklem 2'de) belirlenmiştir, ve şöyle dir:

$$E_k = \frac{1}{2} m v_y^2 = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 \cos^2(\omega t) \quad (3)$$

$$E_k = \frac{1}{2} k A^2 \cos^2(\omega t) \quad (4)$$

Kinetik enerjinin maksimum değeri $y=0$ olduğunda ve minimum değeri $y=A$ olduğu zaman dır. Diğer durumlarda sistemin aynı anda kinetik ve potansiyel enerjileri vardır.



Şekil 1.

Maddesel nokta potansiyel enerjisini onu denge durumundan çıkaran elastik deformasyonlar kuvvetlerin yaptıkları işten alır. Kuvvet

sabit değildir, yerdeğişime göre lineer $F=-ky$ olarak değişir. Şekil 1'de yayı deforme eden kuvvet gösterilmiştir ve Huk kanununa göre $F=ky$ dur. Yay y kadar uzarsa yapılan iş üçgenin yüzeyine eşittir, sıfır, y eksenini ve doğru $F=ky$ ile oluşturur (Şekil 1.).

Elastik kuvvetleri alanında cismin potansiyel enerjisinden faydalanarak iş yapılır, $E_p = -A$:

$$A = -\frac{ky^2}{2} \quad (1)$$

$$E_p = \frac{1}{2} ky^2 = \frac{1}{2} k A^2 \sin^2(\omega t) \quad (2)$$

Denklem (2)'de görüldüğü gibi zamana bağımlı potansiyel enerjisi, bir periyodik fonksiyona göre değişir. Potansiyel enerjisi değeri sıfır dır eğer $y=0$, değeri maksimum dur eğer $y=A$ ide.

Titreşim sistemin toplam mekanik enerjisi kinetik E_k ve potansiyel enerjileri E_p toplamından ibarettir.

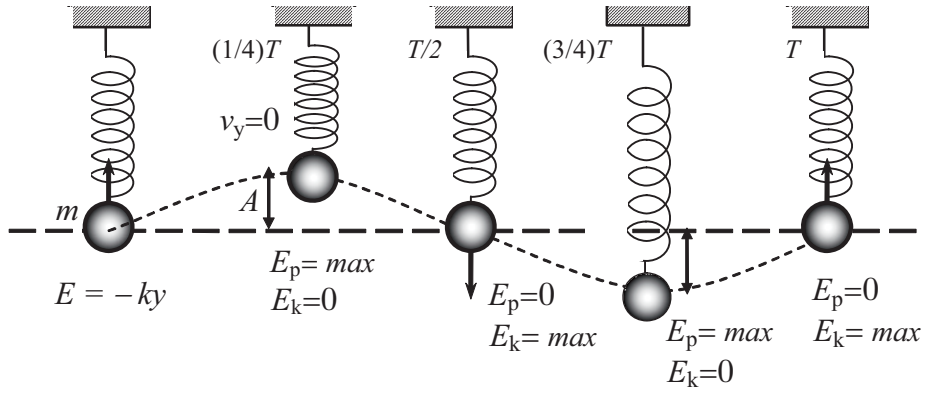
$$E = E_k + E_p = \frac{kA^2}{2} [\sin^2(\omega t) + \cos^2(\omega t)] = \frac{k}{2} A^2$$

$$E = E_k + E_p = \frac{k}{2} A^2 \quad (5)$$

Sürtünme kuvvetleri ve ortamın direnci göz önünde alınmadığı sistemde, toplam mekanik enerjisi sabittir. Zamanla değişir ve bu değişim yay sabitesine k bağlıdır ve amplitütün karesindedir.

Yay gerildiği zaman Şekil 2, en alçak noktada $y=A$ tüm potansiyel enerjisi mekanik enerjidir, yay serbest bırakıldığı zaman titreşim hareketi yapar hızı çoğalır bir de kinetik enerjisi de çoğalır. Cismin o kadar kinetik enerjisi olur potansiyel enerjisinin harcadığı kadarı.

7. Mekaniksel titreşimler



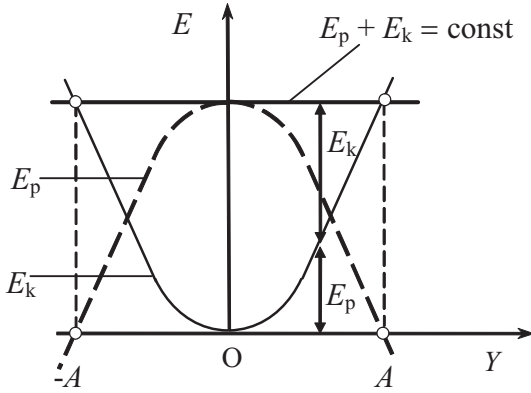
Şekil 2

Denge durumunda ($y=0$) tüm potansiyel enerji kinetik enerjiye dönüşür. O noktada cismin maksimum hızı vardır, denge durumunu geçince yay toplanır ve cisim yavaşlar, kinetik enerjisini kaybeder yayda potansiyel enerjisi çoğalır. Cisim en yüksek noktada $y = -A$ durur ve tekrar mekanik enerji sadece potansiyel enerjiden oluşmuştur, o anda geri çekme kuvveti yayı ters yönde hızlandırır, potansiyel enerji kinetik enerjiye dönüşür ve böylece süreç tekrarlanır.

denge durumu etrafında harmonik titreşimler yapılan bir durumla benzerdir. $E_p=0$, Hareket y sınırları A ve $-A$ arasında sınırlıdır. Dolu çizgi ile potansiyel enerjisi eğrisi gösterilmiştir $E_p=ky^2/2$. Yatay çizgiden eğriye kadar kinetik enerjisi dir. Yatay çizgi toplam enerjiye eşittir

$$E = E_p + E_k = \text{sabit}$$

Toplam enerji için aynı sonuca matematiksel sar-kacı yardımı ile gelebilirdik.



Şekil 3.

Şekil 3. grafiğinde potansiyel, kinetik ve toplam enerjinin değişmesi titreşim sisteminde gösterilmiştir. Koordinat sistemin başlangıcı (E, y)

SORULAR VE ÖDEVLER

1. Titreşimli sistemin toplam enerjisi nekadardır?
2. Titreşimli sistemin enerjisi amplitüde nasıl bağlıdır?
3. Yaya bağlı bulunan ağırlık denge durumundan çıkarılmış ve serbest bırakılmış. Maksimum potansiyel enerjisi tamamen maksimum kinetik enerjisine nekadarda zamanda dönecek?

(Cevap. $T/4$)

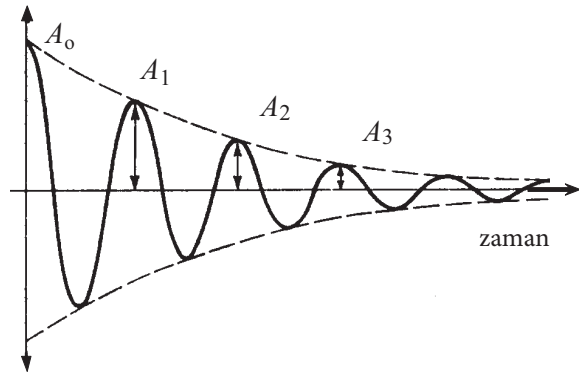
4. Yayın doğru orantılı sabitesi $k=10^3$ N/m olan yaya bağlı ağırlık bulunur ve 20 cm amplitüt ile titreşir. Toplam enerjisi bulunsun.

(Cevap. $4 \cdot 10^{-6}$ J)

7.4. SÖNÜMLÜ TİTREŞİMLER

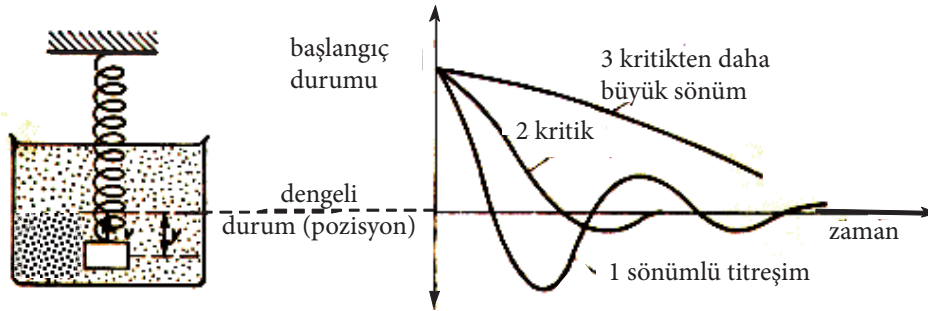
Önceki örneklerde titreşim yapan bir sistemde mekanik enerji kaybı olmadığı alınır, titreşim sabit amplitüt A ile yapılırdı. Reel şartlarda osilatöre elastik kuvvetler veya ortam direnci etki eder ve zamanla osilatörün amplitütü azalır. Serbest titreşimlerin zaman süresi enerji kayıplarına ve başlangıcı çta alınan enerjiye bağlıdır.

Şekil 1'deki grafikte amplitütün zamanla azalması gösterilmiştir.



Şekil 1. Sönümlü titreşimlerde amplitütün azalması

Mekanik titreşimlerde enerji yavaşça iç enerjiye dönüşür, mekanik doğası olmayan titreşimlerde enerjinin bir kısmı iç enerjiye dönüşür, bir kısmı ise ortama ışıma ile yayılır.



Şekil 2.

Şekil 3.

Pratikte sönümlü sabitesi yerine, **sönümlüğün hızı yada sönümlüğün logaritma artırcısı** ϕ karakterize edilir. İki komşu amplitüt oranı yardımıyla doğal logaritma tanımlanır. A_n ile n - titreşimin amplitüdünü ve gelecek amplitüdü $(n+1)$ A_{n+1} ile işaretlersek, o zaman:

$$\phi = \ln \frac{A_0}{A} = \ln \frac{A_1}{A_2} \dots = \ln \frac{A_n}{A_{n+1}} \quad (1)$$

$$\phi = \ln e^{\delta T} = \delta T$$

Logaritma artırcısı ϕ sönümlü sabitesi δ 've titreşim periyotun T çarpımına eşittir.

Sönümlü sabitesi sistemin titreştiği ortama ve yayın elastikliği yüzünden kaybolan enerjiye bağlıdır. Ağırlık yay sistemi suda veya yağda titreştiği zaman sönümlülüğü daha büyüktür nitekim havada (Şekil 2.).

Şekil 3'te sistemin titreşimli hareketi değerleri farklı olan sönümlü sabitesi gösterilmiştir. Eğri (1)'de sistem kendi dengesi etrafında sönümlü titreşir. Eğer sönümlü sabitesinin değeri çok küçük ise hareket *aperiyodik* tir.

Sönümlü sabitesi çoğalır ve kritik bir değere ulaşır (eğri 2), cisim kendi denge durumuna yaklaşır, fakat titreşmez.

Sistemde sönümlü sabitesinin değeri eğri üzerinde (eğri 3) olunca, kendi denge durumuna yavaşça yaklaşır.

Kritik sönümlülük akrepleri olan çok sayıda ölçü araçlarında kullanılır, voltmetreler, ampermetreler, hız metreleri, teraziler ve sayı. Sönümlü titreşen akrep kendi bitiş durumu etrafında titreşir, sönümlülük değeri kritik değerden yüksek olan durumlarda titreşim yavaş gelişir.

Sönümsüz titreşimlerde kuvvet şöyle verilmiştir:

$$F = ma = -ky \quad (2)$$

kuvvet ve uzama y arasındaki doğru orantılı sabitesi k dır.

Sönümlü titreşimlerde denklem (2) şu şekilde verilir:

$$F = -ky + R \quad (3)$$

burada R sürtünme kuvvetini oluşturur. Bu kuvvet hız v ile doğru orantılıdır, daha doğrusu $R=-rv$, böylece:

$$F = -ky - rv \quad (4)$$

Bu denklemde sabite r alınmıştır ve direnç sabitesi dir. Sönümlü titreşimlerin dinamiğinin temel kanunu dur.

Sorular ve ödevler

1. Sönümlü titreşimler esnasında amplitüt zamanla azalır?
2. Sönümlü periyodik titreşimi olması için kime bağlıdır?
3. Ne zaman bir hareket aperiodyk tir?
4. Sönümlü titreşimli harekette zamanla amplitütün azalmasını grafiksel göster.
5. Sönümlü titreşimler ne zaman kullanışlı dirlar ve kullanışlı mıdır?

7.5. ZORUNLU TİTREŞİMLER. MEKANİK REZONANSI

Her osilatör sistemi reel şartları altında sürtünme kuvvetlerini ve dış dirençleri yenmek için sönümlü titreşimler yapar, sönümsüz titreşimler yapması için sürekli enerji alması gerekir. Sistem titreşimler yapar ona dıştan bir kuvvet etki ettiğinde zamanla periyodik olarak değişir.

Titreşimi yaptıran dış harmonik kuvveti amplitütü F_o ve frekansı f olan şu denklemle verilir:

$$F = F_o \sin 2\pi f t . \quad (1)$$

Dış harmonik kuvveti yayı periyodik olarak uzatır ve toplar, sistem *zorunlu harmonik titreşimler* yapar denir.

Dış periyodik kuvvetleri etkisi altında kalmayan sistem serbest titreşimler yapar, frekansına ise öz frekansı f_o denir.

Dış harmonik kuvveti periyodik olarak sistemi titreştirir, sistem zorunlu kuvvet frekansı ile titreşir. Sistemin amplitütü ve enerjisi de zorunlu titreşimlerin frekansına ve öz frekansına farkına bağlıdır.

$$A = \frac{F_o}{k} \sqrt{1 - (f / f_o)^2}$$

nerdeki $f_o = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$ sistemin öz frekansıdır, k doğru orantılı sabitedir.

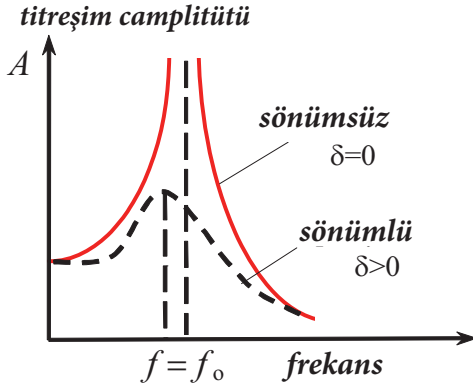
7. Mekaniksel titreşimler

Dış harmonik kuvvetin frekansı f öz frekansına f_0 yaklaştığı zaman, titreşim amplitütü çoğalır, enerjisi de çoğalır. $f - f_0 = 0$ olduğu zaman:

$$f = f_0$$

zorunlu titreşimlerin amplitütü maksimum değere ulaşınca bu olaya mekanik rezonansı denir. $f = f_0$ **rezonans frekansını** oluşturur, değeri değeri sönümlülük sabitesine δ bağlıdır, öyle ki $\delta \approx 0$ olunca $f = f_0$ amplitüt sonsuz olur.

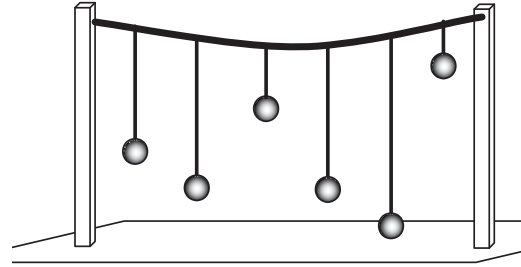
Şekil 1'de sönümlülük sabitesi δ için farklı değerlerde amplitütün A frekansla bağlılığı gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi zorunlu titreşimlerin amplitütü maksimum $f = f_0$ değere ulaşmasına *mekanik rezonansı* denir, eğriye ise *rezonans eğrisi* denir.



Şekil 1.

Zorunlu titreşimleri oluşturan cisim veya sisteme *osilatör* denir, dış periyodik kuvvetin frekansına uyan osilatöre *rezonatör* denir.

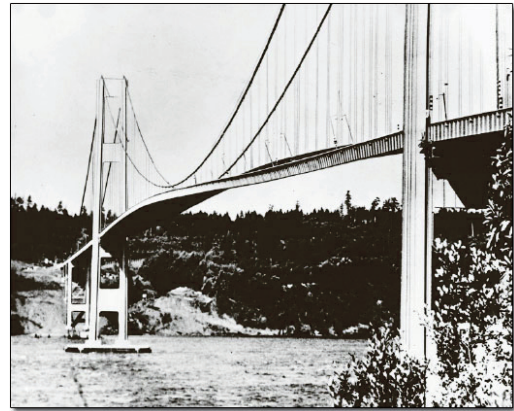
Osilatörün kütlesi m_o rezonatör kütlesinden m_r çok büyükse ($m_o \gg m_r$), rezonatörün geri etkisi osilatöre göz önüne alınmaz. Eğer onların kütleleri hemen de eşitse rezonatörün geri etkisinin değeri vardır, bu olayda osilatör enerjisi rezonatöre taşınır ve tersi.



Şekil 2.

Lastik borusuna sarkaçlar bağlı bulunur onlardan sadece iki tanesinin uzunlukları aynıdır diğerlerinden ise farklıdır (Şekil 2.)

Eğer biri denge durumundan çıkarılırsa, titreşimleri sadece ona uygun olanı kabul edecektir bu olayda sadece ikincisi ve dördüncüsü ve bunlara rezonans da buldukları denir.



Şekil 3. Rezonans için klasik bir örnek 1940 yılında Tokama nehri üzerindeki köprünün yıkılması

Şekil 3'te Tokama nehri üzerinde köprünün gösterilmiştir, 1940 yılında periyodik rüzgar rezonanslı dalgalarından ötürü yıkılmıştır.

Rezonans tüm dalgalar için karakteristik tir, mekanik rezonanstan mada akustik rezonansı, elektromanyetik, nükleer-manyetik, optik rezonansı. Sesin oluşması için ses telleri ve ağız boşluğu rezonatörleri gibi davranırlar.

Zorunlu titreşimler akustikte sesin güçlendirilmesi için, radioelektronikte elektriksel titreşimlerin güçlendirilmesi için kullanılır.

Rezonansın pozitif efektlerinden mada zararlı efektleri de vardır *inşaatta köprüler yapıldığı zaman dış titreşimli kuvvetlerin frekansı ile çakışmalarına dikkat edilir*. Alternatif akım ölçü araçların yapılmasında rezonans kullanılır.

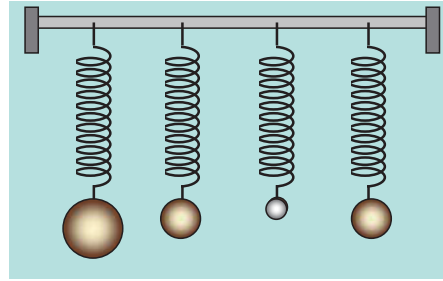
İnsan vücudu, bileşik titreşimli sistemi oluşturur, eğer kütlesi, elastik sabitesi ve sönümlülük sabitesi bilinirse insanın farklı titreşimlerde vücudunun tepkisi incelenebilir. Bu amaç için biomekanik insan modeli kullanılır.

Her biolojik sistemi elementi için öz frekansı vardır, o frekanslar taşıt araçları ile uyarılır. Midde kütlesi rezonans frekansı 4-8 Hz dir.

Küçük amplitütlü veya frekanslı titreşimler 3-30 Hz arasında titreşimi veya şoku oluşturur. Kemikler titreşimleri iyi iletirler ve titreşimler rezonatörü dürler. Biyolojik sistemin sönümlülük sabitesi büyük olduğu için rezonans olayları çok zor gelişir.

SORULAR VE ÖDEVLER

1. Zorunlu titreşimler ne zaman olur?
2. Mekanik rezonansı nasıl olur?
3. Mekanik rezonansından mada diğer türlü dalgalarda rezonans varmıdır?
4. Zararlı rezonansı durdurmak için yapılması ne gerekir?
5. Aynı lastik desteğe dört aynı yay bağlı bulunur (Şekil 4). Eğer birincisi dengeden çıkarılırsa yayın titreşim periyodu denklemini göz önüne alarak, hangi yaylar maksimum amplitütlü titreşimleri kabul eder. Toplar aynı malzemeden yapılmışlardır. Neden?



Şekil 4.

Tocana Narrows köprüsünün rezonanslı yıkılmasını görmemiz için video klipi bakınız

<http://www.youtube.com/watch?v=P0Fi1VcbpAI>

ÖZET

- Sönümlü titreşimler periyodik olabilirler (sönümlülük sabitesi kritikten küçük) ve aperiodik (kritikten büyük).
- Serbest titreşim yapan sistemin frekansına öz frekansı f_0 denir.
- Osilatörün öz frekansı f_0 dış harmonik kuvvetin frekansı ile çakışırsa rezonans olayı olur denir.
- Rezonansın faydalı efeklerinden mada zararlı efektleri de vardır.

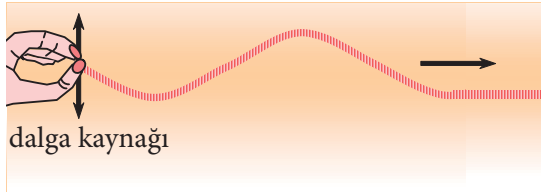
8. Dalgalar ve ses

8.1. DALGA OLAYLARI

Dalga hareketi örnekleri etrafımızda vardır, duran suya taş atılınca taşın suya düştüğü bölge titreşir ve etrafa yayılır. Ses ve resmin radyoda ve televizyon alıcılarında elektromanyetik dalgaları ile alınır. Elektromanyetik dalgalarını ışık, röntgen ışınları ve γ -ışınları da oluşturur.

Dalga sürecin doğasına ve ortamına bağlı dalga türleri şunlardır: mekanik, elektromanyetik ve kuantum-mekanik dalgaları.

Dalga nedir? Nasıl oluşurlar? Farklı dalga türleri için cevapları farklıdır.



Şekil 1.

Dalga hareketini göstermek için iplik ya da bir elastik boru alınarak ve el yardımı ile onu titreştirelim yukarı aşağı (Şekil 1.)

Bir maddesel ortamda (katı, sıvı veya gaz) titreşim kaynağı (dalga kaynağı) bulunursa kaynak ve maddesel ortamı parçacıkları arasında elastik kuvvetleri oluşur ve onların etkisinden parçacıklar dalga kaynağının frekansında zorunlu titreşimler yaparlar, daha uzakta bulunan parçacıklar faz olarak geç kalmakla ve aynı titreşimi yaparlar.

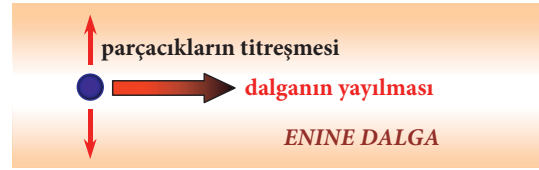
Ortamda titreşimlerin zamanla yayılma sürecine ***dalga süreci***, ***dalga hareketi*** ya da ***dalga*** denir.

Elastik ortamda denge durumları etrafında titreşirler, parçacıklar arası ise *deformasyonlar* iletilir ve *kaynağın enerjisi*. Bunun kanıtı da şöyledir, top su üzerine dururken yanında atılan taş bölgeyi dalgalandırır, dalgalar etrafa yayılır top yerinde bulunur.

Dalgalar nasıl ayrılır ve ortama nasıl yayılırlar?

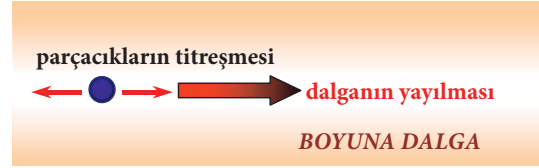
Elastik ortam parçacıkları titreşimlerine bağlı dalgalar:

Enine (transferzal) – maddesel ortamın parçacıkları yayılma yönüne normal titreşen dalgaları oluştururlar, Şekil 2.



Şekil 2.

- ***Boyuna (longitudinal)*** - maddesel ortamın parçacıkları yayılma yönünde titreşen dalgaları oluştururlar, Şekil 3.



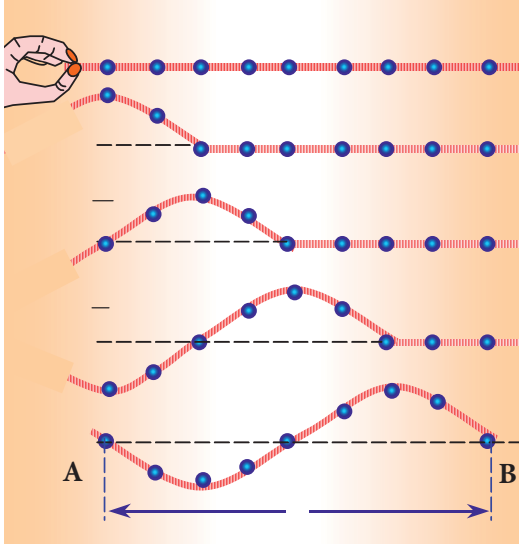
Şekil 3.

Boyuna dalga örneğini ses dalgasının havada yayılmasıdır.

Boyuna dalganın yayılması elastik ortamın hacimsel deformasyonundan kaynaklanır, bunlar katı, sıvı ve gaz ortamlarında yayılırlar. Enine dalgaların yayılması farklı deformasyon türünden kaynaklanır özellikle sadece katı cisimlerde rastlanır.

8. Dalgalar ve ses

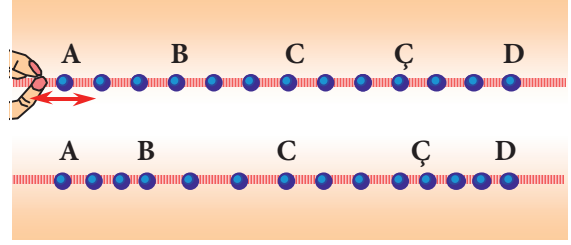
Enine dalganın bir boyutlu maddesel ortamında yayılması grafiksel olarak parçacıklar dizisi ile Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Enine dalganın yayılması

Zaman anı $t=0$, dalganın yayılması soldan sağa yapılır ve parçacık 1'e yaklaşır, onda enine titreşimli hareketi ile parçacık 2'yi çeker. Parçacık 1 denge durumunda maksimum uzaklıkta bulunduğu zaman ($t=T/4$), dalga parçacık 3'e kadar yayılmıştır, parçacık 4'ü de çeker ve maksimum uzamaya ulaşır. O zamanda dalga parçacık 5'e kadar yayılmıştır ve hala denge durumunda bulunur. Bu süreç devam eder, $t=3T/4$ zamanında altıncı parçacık denge durumundan maksimum uzaklıkta bulunur ve birinci parçacıktan ters yönde dir, dalga ise yedinci parçacığa kadar yayılmıştır. $t=T$ zamanında parçacık bir titreşim yapar, o zamanda ise parçacıkların titreşimi dokuzuncu parçacığa kadar yayılmıştır. Bu titreşimi aynı zamanda parçacık 1'le başlar fakat ikinci periyota yapar yani zaman olarak $t=T$ geç kalır. Bu iki parçacık **fazlı** titreşirler, daha doğrusu **sinhron** (aralarında 2π faz farkı var) olarak titreşirler.

Kaynağın bir periyotluk titreşim zaman süresinde deformasyonun elastik ortamda geçtiği yola dalga uzunluğu denir, λ ile işaret edilir.

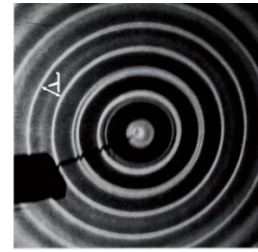


Şekil 5. Boyuna dalganın yayılması

Boyuna dalganın yavaşça çok sayıda parçacıktan oluşması (Şekil 5.) enine dalganın oluşması gibi benzer olarak açıklanabilir, yani birincisinden titreşim ikincisine, ikincisinden üçüncüsüne taşınır ve sayı. Titreşim esnasında sadece aralarındaki mesafe değişir. Böyle bir dalga ortamda yoğunluğa periyodik değişimi yapar, dalganın yayılma yönünde hareket ederler.

Ortamın bir kısmında titreşim sürecine iştirak eden tüm parçacıklar **dalga alanını** oluştururlar. Titreşen parçacıkları titreşmeyen parçacıklardan ayıran **sınır dalganın başlangıcı** (Latince *frontis* -başlangıç).

Dalga alanı geometrik yerin noktaları dalga sürecinde aynı fazlı titreşmelerine denir.



Şekil 6. Küresel dalga

Dalga alanının farklı şekilleri var, en basit olayda düzlem, küre veya silindir şeklinde dir.

8. Dalgalar ve ses

Sınırsız homojen ve izotropik çevre, yayılma hızı her yöne aynıdır, dalga daire alanları gibi merkezleri ise dalga kaynağında bulunan yayılır. Böyle dalgalar küresel dalgalarıdır, dalga başlangıcı ise küresel alandır. Böyle dalganın boyutları küçüktür ve nokta gibi alınır (Şekil 6.).

Dalga alanları dalganın yayılma yönüne normal düzlemleri oluşturmasına **düz dalga** denir.

Dalgalar alansal, düzlemsel ve bir boyutlu (çizgisel) olabilirler. Eğer titreşimler önceden belirlenmiş bir yönde taşınırsalar bunlara bir boyutlu veya çizgisel dalga denir, bir doğru üzerine yayılırlar (tel, çubuk, iplik).

Dalgaları daha basit şekilde ifade etmek için *kiriş* kavramı alınır. Kiriş bir doğrudur onun her noktasında teğeti dalganın yayılma yönü ile çakışır. Homojen çevrede kırışlar dalga başlangıcına normal dırlar. Kırışlerin yönü dalganın yayılma yönü ile belirlenir.

Sorular ve ödevler

1. Parçacıkların titreştiğine göre dalgalar nasıl ayrılır ve onların oluşma mekanizmasını açıkla.
2. Kayık, deniz dalgasında bulunduğu zaman dalgayla beraber yüzer mi? Neden?
3. Dalga sürecinde elastik çevrenin parçacıkları denge durumu etrafında titreşir, ortamda birden diğerine taşınan sadece nedir?
4. Vakumda mekanik dalgaları neden oluşmaz. Vakumda hangi dalgalar yayılırlar?
5. Dalga özelliği olan birkaç olayı sayınız.
6. Hangi dalgalar bu çevrelerde yayılırlar: a) gazlarda, b) sıvılarda ve c) katılarda.

8.2. DÜZ DALGA DENKLEMİ

Homojen elastik çevrede dalga kaynağı harmonik titreşimler yapar. Her parçacık kaynağın frekansına göre zorunlu titreşimler yapar, buna göre kaynağın karakteristikleri: **frekans** f , **periyot** T ve **amplitüt** A oluşan dalganın da karakteristikleri sayılırlar.

Dalğanın yayılma hızı v , zaman aralığında kaynak bir titreşimi yaparak geçtiği mesafe λ , eşittir:

$$\lambda = vT. \quad (1)$$

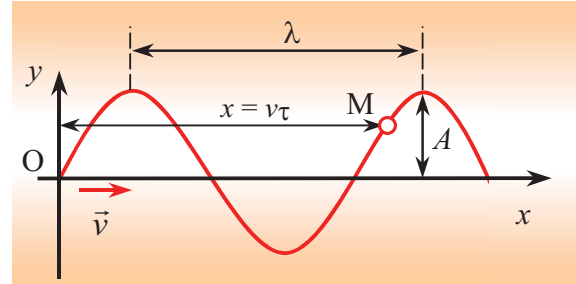
λ **dalga uzunluğu**, dalganın yayılması yönünde elastik çevrede fazlı titreşen iki parçacık arasındaki en küçük mesafeyi oluşturur.

Dalga uzunluğu (1) denkleminde dalga hızı elde edilir:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f. \quad (2)$$

Dalga bir çevreden diğer bir çevreye geçince hızını değiştirir, frekansı aynı kalır.

Dalğanın yayılma hızı birinci çevrede büyükse, onun dalga uzunluğu da büyüktür.



Şekil 1.

8. Dalgalar ve ses

Düz dalga denklemini elde etmek için dalga kaynağı koordinat sistemin başlangıcında O bulunur ve harmonik titreşimler yapar. Dalga x ekseninde yayılır, çevrenin parçacıkları ise y ekseninde yayılır (Şekil 1.) Dalga amplitütü A , periyodu T ve frekansı $f=1/T$ dır.

Dalga kaynağının denklemi şöyle ifade edilir:

$$y = A \sin \frac{2\pi}{T} t . \quad (1)$$

Ses kaynağından daha uzakta bulunan parçacıklar geç kalmakla titreşirler daha doğrusu faz olarak geç kalırlar. Dalga yayılması için M parçacığına kadar x mesafeyi τ zaman geçer, böylece

$$y = A \sin \frac{2\pi}{T} (t - \tau) . \quad (2)$$

Maddesel ortamda dalganın yayılma hızı v ve zaman $\tau=x/v$ ise:

$$y = A \sin \frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{x}{v} \right) \text{ veya}$$

$$y = A \sin \left(\frac{2\pi}{T} t - \frac{2\pi}{vT} x \right) .$$

dalga uzunluğu $vT = \lambda$ olduğuna göre

$$y = A \sin \left(\frac{2\pi}{T} t - \frac{2\pi}{\lambda} x \right) .$$

$k=2\pi/\lambda$ büyüklüğüne **dalga sayısı** denir ve $\omega=2\pi/T$ **daireysel frekans** dır, düz dalga denklemini şu şekilde dir:

$$y = A \sin(\omega t - kx) \quad (3)$$

Denklemden kx faz farkını x uzaklıkta bulunan parçacık ile kaynak arasındakini verir.

Sorular ve ödevler

1. Dalga özelliği olan birkaç olayı sayınız.

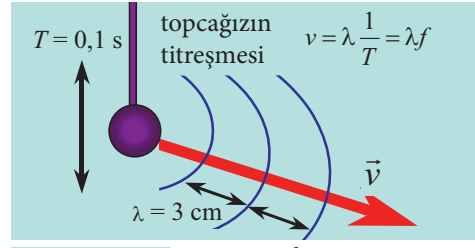
2. Dalga hareketi nedir, dalga nedir?

3. Periyotları 1:2 oranında olan dalgalar hareketlerinin uzamalarının bağıllık eğrisi çizilsin

4. Dalga hangi temel büyüklüklerle karakterize edilir ve aralarındaki bağ nedir?

5. Şekil 1 bilgilerine göre dalganın yayılma hızı belirlensin.

(Cevap. 0,3 m/s)



Şekil 1.

6. Boyuna dalganın çelik çevresinde yayılma hızı nekadardır, elastiklik Yung modülü $2,05 \cdot 10^{11}$ N/m² ve yoğunluğu $7,6 \cdot 10^3$ kg/m³ olduysa.

(Cevap: $v=5193$ m/2)

7. Dalga denklemini şu şekilde verilmiştir $y = 0,1 \cos \left(\frac{\pi}{8} t + \frac{\pi}{4} x \right)$. Bulunsun: a) periyot T, b) daireysel frekans ω ve c) dalga uzunluğu λ .

(Cevap. $T=16$ s, $\omega= \frac{\pi}{8}$ rad/s)

ÖZET

- Parçacıklar elastik çevrede nasıl titreştiklerine bağlı, dalgalar enine ve boyuna ayrılırlar.

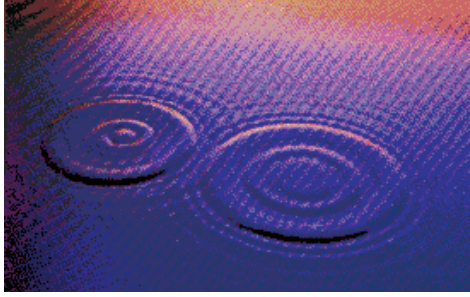
- Dalga yüzeyinin herhangi bir şekli olabilir, en basit olaylarda düzlem, küre ve silindirik şekildedir.

- Dalganın yayılma hızı v dir, kaynağın tam bir titreşim yapması için zaman aralığı (T) dir, dalga $v T$ mesafeyi λ geçer daha doğrusu $\lambda=vT$, λ -dalga uzunluğu dur.

8.3. DALGALARIN SÜPERPOZİSYONU. DALGA GİRİŞİMİ

Dalgaların süperpozisyonu

İki ayrı çubukla suyun yüzeyini dokunursak, her biri dairesel dalgalar oluşturacak ve biri diğerini geçecek sanki biri diğerini geçerken diğeri yokmuş gibi davranır (Şekil 1.).



Şekil 1.

Ses dalgaları aynı şekilde yayılırlar, radyo ve ışık dalgaları. İki farklı müzik enstrümanından çıkan sesler her ikisini bağımsız olarak ışıtırız. Demek ki deneyimler ve deneyler ortamda farklı kaynakların dalgaları bağımsız olarak yayıldıklarını açıklarlar.

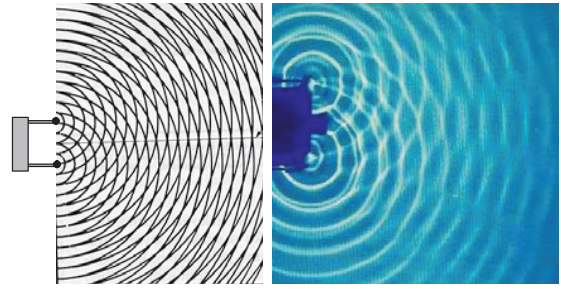
Dalgalar biri diğerini engellemezse o zaman titreşimde her iki dalganın payı olacaktır. Bileşke deformasyonunu bulmak için her dalgadaki deformasyon bulunması gerekir ve sonradan toplanılması gerekir sıkça raslantı olan bunlar vektörel dirler çünkü farklı yönlerden ve doğrultulardan gelirler, eğer dalgalanma aynı yöne yönelmiş bulunursa, o zaman ortamda dalgaların süperpozisyonu olmuştur denir.

Dalgaların girişimi

Eğer iki dalganın süperpozisyonu bir frekansla yapılırsa, bunların dalga uzunlukları aynıdır ozaman dalgaların süperpozisyonu esnasında önemli bir olay olur.

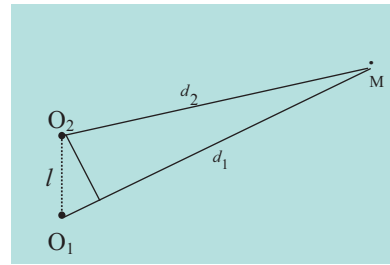
Bir desteğe iki çubuk bağlanarak, destek titreşim yaptıracığı bir makineye bağlanır. Makine aynı titreşimleri yaptırdığı için dairesel dalgalar elde dilir ve onlar suda yayılırlar, suyun yüzeyinde bazı bölgelerde dalgalanma daha fazla olduğunu bazı yerlerde ise dalgalanma olmadığını görebiliriz, Şekil 2.

Görüldüğü gibi dalgalanmanın basit hızlanması gerçekleşmiyor. Sadece resim daha bileşiktir. Kimi yerlerde dalgalanma daha şiddetlidir, aynı zamanda suyun sakin olduğu yerler de vardır.



Şekil 2. Resim ve su dalgalarının fotoğrafı

İki yada fazla dalganın birleşmesi olayı esnasında çevrenin her noktasında zamanla sabit amplitütlü dalgalanma oluşturma olayına **dalgaların girişimi** denir.



Şekil 3. Her iki kaynak biri diğerinden l uzaklıkta bulunurlar bu uzaklık d_1 ve d_2 mesafelerinden çok küçüktür

8. Dalgalar ve ses

Dalgaların girişimi hangi şartlarda yapılır açıklayalım.

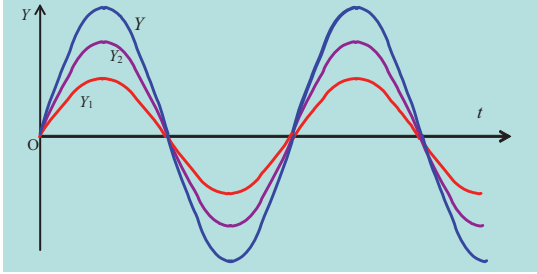
Bu amaç için Şekil 3. alınsın. M noktasındaki dalgalanmanın amplitütü nekadardır, O_1 ve O_2 kaynakları M noktasından d_1 ve d_2 mesafeleri uzaklıklarında bulunurlar.

M noktasında dalgaların birleşmeleri sonucu faz farkına bağlıdır $\Delta d = d_2 - d_1$. Bu mesafe dalga uzunluğu λ kadar, yada 2, 3, 4 kez λ 'dan büyük olduğu zaman nokta M 'deki dalgalanmanın maksimum yada minimum amplitütü vardır.

$$\Delta d = k\lambda \quad k = 0,1,2,\dots, \quad (1)$$

dalgalanmalar fazlı yapılır denir.

Bir noktadaki titreşim amplitütü maksimum olur eğer ki her iki dalga girişlerinin yürüyüşlerin farkı dalga uzunluğunun tam sayısına eşitse. Şekil 4'te y_1 ve y_2 uzamaların bağıllığı ve sonuç uzaması verilmiştir. Denklem (1) matematik olarak maksimum için şartı verir.

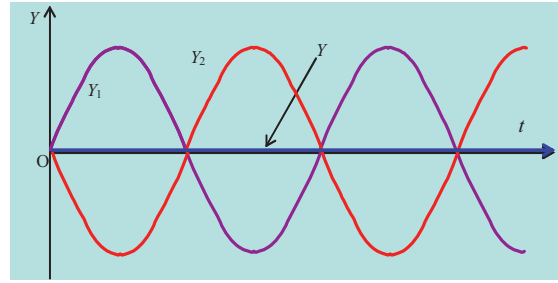


Şekil 4. Y_1 (kırmızı çizgi) ve Y_2 (mor çizgi) yerdeğişimleri (uzamalar) iki dalgadan oluşan ve aralarındaki fark $\Delta d = \lambda$ dır. Fazlar arası fark yoktur ve uzama sonucu Y (mavi çizgi) ikisinin toplamına eşittir. Titreşim güçleşir.

Eğer Y_1 ve Y_2 arası mesafe $\lambda/2$ kadar, yada $\lambda/2$ tek sayısı kadar o zaman uzamalar arası faz farkı π kadardır, o noktalarda titreşim yoktur (Şekil 5.) **Minimum şartını verir:**

$$\Delta d = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \quad k = 0,1,2,\dots \quad (2)$$

Bir noktadaki titreşim amplitütü minimum olur eğer ki her iki dalga girişlerinin yürüyüşlerin farkı dalga uzunluğunun tek sayısının yarısına eşitse.



Şekil 5. Kirişlerin yürüyüşlerinin farkı $\Delta d = \lambda/2$ yada tek sayısı kez kadar büyükse. Uzama sonucu Y sıfır dır. Titreşimler ters fazlıdır.

Bazı noktalar bulunur ki şartlardan (1) ve (2) hiçbirini geçerli değildir. O durumlarda amplitütlerin bu iki değer arasındadır. Önemli olan o noktalarda amplitütler zamanla değişmezler. Bundan dolayı su yüzeyinde belli titreşim amplitüt dağılımı oluşur buna girişim resmi (Şekil 2.a.) denir.

Girişim olayı her dalga türünde oluşur: mekanik dalgalarda, ses dalgalarında, radyo dalgalarda veya ışık dalgalarında.

Şu kavramları açıklayın

- dalgaların süperpozisyonu
- uyumlu (koherent) dalgalar
- dalgalarının girişimi

8.4. HAYGENS-FRENEL PRENSİPİ

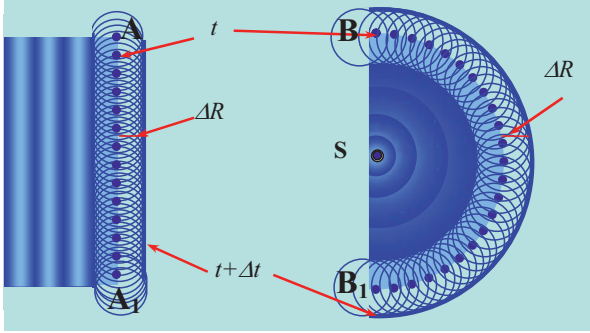
Haygens prensipi

Dalgaların yayılması ile ilgili olan çoğu olaylar, onların yansımaları, kırılması ve benzeri dalganın başlangıcı ile açıklanır.

1960 yılında Holandalı fizikçi Haynrih Haygens dalganın başlangıcını ($t+\Delta t$) anında belli etmek için basit bir örnek vermiştir eğer dalga başlangıcının durumu t anında biliniirse.

Haygens'e göre dalga başlangıcının her noktası t anında temel küresel dalganın **sekunder kaynağını** oluşturur. Dalga başlangıcı ($t+\Delta t$) anında sekonder dalgaların paylaşılacak anvelopu olacaktır.

Homojen çevrede Haygens'in verdiği düşüncesini dalganın yayılması ile gösterelim.



Şekil 1. Alanda düzlem ve küresel dalganın izdüşümü (küresel dalga kaynağının alanı)

Şekil 1'de düz dalganın solunda dalga başlangıcı verilmiştir AA₁. t anında alanı oluşturur, o alanın her noktası elementer küresel alan kaynağını oluşturur ve bu dalgaların ortak anvelopu tekrar alanıdır.

Demek ki ($t+\Delta t$) anında dalga başlangıcı ΔR mesafede elde edilir:

$$\Delta R = v\Delta t \quad (1)$$

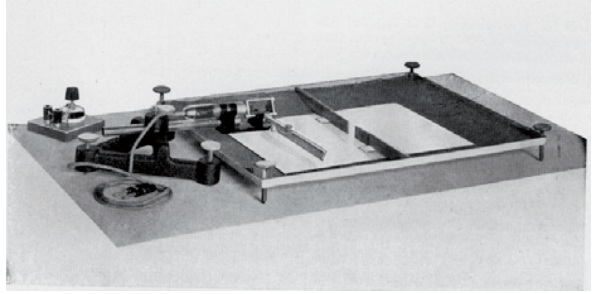
Aynı şekilde S kaynağın alanında küresel dalganın yayılması verilmiştir. Orada dalga başlangıcı t anında BB₁ küreyi oluşturur ve onun her noktası temel küresel dalga kaynağını oluşturur ve tekrar ortak anvelopu küredir.

Sekunder kaynaklar tutarlı (koherent) dırlar

Haygens ışığın dalgalı doğasını büyük savunulardan birisi dir, onun fikirleri o dönemde pek iyimser kabul edilmemiş, Fransız fizikçisi Frenel Haygens'in prensipini genişletir ve tekrar açıklar. Frenel çok sayıda deneyden sonra dalga başlangıcında yatan sekonder temel dalgaları tutarlı (koherent) olduklarını ifade eder. Bundan dolayı dalga başlangıcı herhangi bir noktada belli zaman anında sekonder dalgalarının girişimi sonucu oluşur.

Buna göre **Haygens-Frenel prensipi** şöyle tanımlanır:

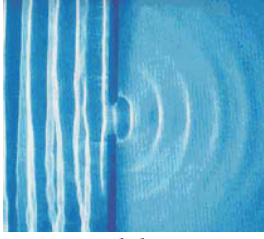
Alanda herhangi bir noktaya dalgalanma ulaşırsa temel küresel dalga kaynağıdır, sekonder dalgaların girişimini herhangi bir noktadaki ulaşan dalgalanma belirler.



Şekil 2. Su dalgaları aracı

Su dalgaları aracı yardımı ile Haygens-Frenel prensipi tazdiklanabilir. Kabda su bulunur bir kenarında çubuk motora bağlıdır (Şekil 2.), yukarı aşağı motor çubuğu titreştirip düz dalga elde edilir ve onun dalgalar başlangıçları paralel çizgilerdir.

8. Dalgalar ve ses



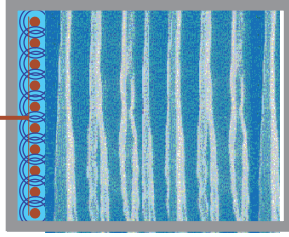
Şekil 3.

Düz dalganın yoluna engel ve onda küçük boşluk konulur, boşluk temel küresel dalga kaynağı olur, engelin arkasında dairesel dalgalar yayılır, (Şekil 3.).

Haygens-Frenel prensipin ikinci kısmını tekrar su dalgaları ile açıklayalım.



Şekil 4.



Şekil 5.

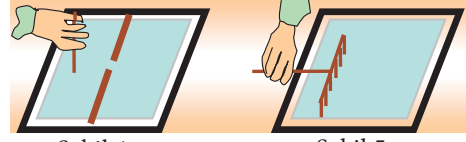
Aynı kabda bir desteğe normal kısa çubuklar konulur (Şekil 4.) ve her biri suya aynı anda dokunur. Her çubuk küresel dalga kaynağını oluşturur, o kaynaklar tutumlu (koherent) oldukları için onların dalgalanmaları girişir. Girişim sonucu olarak belli uzaklıkta düz dalga elde edilir (Şekil 5.).

Şu kavramları açıklayın:

- sekonder dalgalar
- Haygens-Frenel prensipi

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Ev şartlarında deney yapın. Geniş kabda su konulur, kabın kenarlarına bez konulur dalgaların yansıması kabın kenarlarından olmamak amacıyla. Kabın ortasında engeller koyun (Şekil 6.)



Şekil 4.

Şekil 5.

Bir tarafında kısa sopacıkla suya dokununuz. Denge arkasında ne farkedersiniz? Dengenin arkası için Şekil çizin.

2. Aynı kabda benzer deney Şekil 5 (Şekil 7.) yapınız. Eğer sopacıkla su dokunulursa düz dalga elde edilir.
3. Suyun dokunulması için kullanılan cismin şekli eğri şekilde olursa dalga başlangıcı destek arkasında Şekil 6'da değişecek?

4. Huygens' principle konusuyula ilgili bilgiler internet adreslerine bakın:

1. The Physics of Light: huygens' Principle library.thinkquest.org/p_huygens.htm-14k-

2. Huygens' principle Farside.ph.utexas.edu/~rfitzp/teaching/3021/lectures/node135.html

dalga başlangıcın oluşması Haygens-Frenel prensipi ile araştırılsın



Hristian Huygens (1629-1695)

Holandalı fizikçi ve matematikçi dir, 1660 yılında ışığın birinci dalgalı teorisini kurmuştur. İlk kez sarkacın periyot denklemini vermiştir ve sarkaçlı duvaar saati kurmuştur.

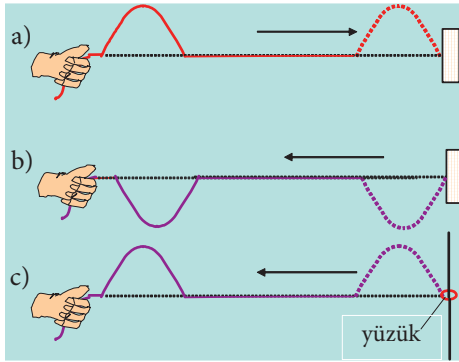
Onun matematik işleri koni kesintileri, cikloid ve olasılık teorisidir. Teleskopu geliştirmekle Satürn'un uydusu olan Titan'ı bulmuştur ve Satürn'ün yüzüğü onun yüzeyini dokunmadığını açıklamıştır.

8.5. DURAN DALGALAR

Yansımada dalga nabzı

Lastik borusunda el yardımı ile sadece bir dalga nabzı üretilsin (Şekil 1.). Lastik borunun bir ucu duvara bağlansın (Şekil 1.a.). Dalga nabzı duvara yetişince ondan yansıyor. Bu yansıma esnasında duvar lastik boruya etki eder, böyle ki geri çevrilen nabız deformasyon yönünü değiştirir (Şekil 1.b):

yoğun çevreden dalganın yansıması esnasında dalga fazının değişimi $\varphi=\pi$ olmuştur.



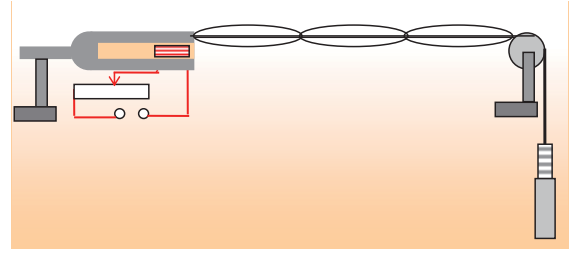
Şekil 1. Dalga nabzının yansıması; a) nabız katı çevreye ulaşır; b) katı kısımdan yansıyan nabız geri hareket eder; c) nabzın yansıması borunun serbes ucunda - yansıyan dalganın fazı değişmez

Bu faz değişimden ötürü verilen dalga yoğun çevreden yansırsa lastiğin her noktası zorunlu titreşir iki dalganın etkisinden: gelen ve yansıyan.

Bu iki dalga tutumlu (koherent) durlar ve girişirler. Birbirine ters yönlüdürler faz olarak birbirinden uzaktırlar.

Telin duran dalgası

Yoğun çevreden yansımasıyla elde edilen girişimlerin karakteristikleri şu deneyle iyice görülecekler.

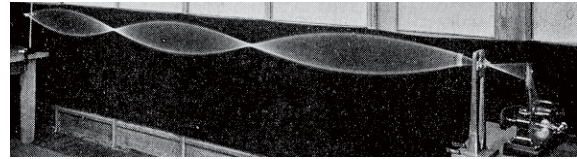


Şekil 2.

İpliğin bir ucuna ses çatalı bağlı bulunur elektromıknatısın etkisinden zorunlu titreşir (Şekil 2.). İpliğin diğer ucu makaradan geçer ve ucuna ağırlık bağlanır. Böyle elektromıknatısın çatalının frekansı 100 Hz dir.

Burada iplik sıkı bağlıdır ve dalganın yansıması olur başlangıç dalganın ve yansıyan dalganın girişimi sonucu olarak duran dalga elde edilir. Duran dalganın net görünen karınlarında titreşen ipliğin maksimum amplitütleri bulunur, düğümlerinde ise titreşim yoktur. *Karınların ve düğümlerin durumları zamanla değişmez, çünkü onlar iplikte hareket etmezler, bunda ötürü bu dalgalara duran dalgalar denir.*

Böyle elde edilen dalgaların fotoğrafı Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Telin titreşmesinde karınlar ve düğümler

Deneyden görüldüğü gibi düğümlerin ve karınların sayısı titreşim frekansına f bağlıdır, ipliğin kütlesine uzunluk birim gibi μ ve gerilme kuvvetinin modülüne F . Bu bağlılık şu denklemlerle verilir:

$$f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad (1)$$

Burada l düğmeler arası mesafedir. Bu mesafe dalga uzunluğunun yarısına uygun olduğunu gösterilmesi için bu denklem şöyle yazılır:

$$v = f\lambda = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad (1a)$$

dalganın yayılma hızı v . Bu denklem (başlık 1.2)'den tanındıktır.

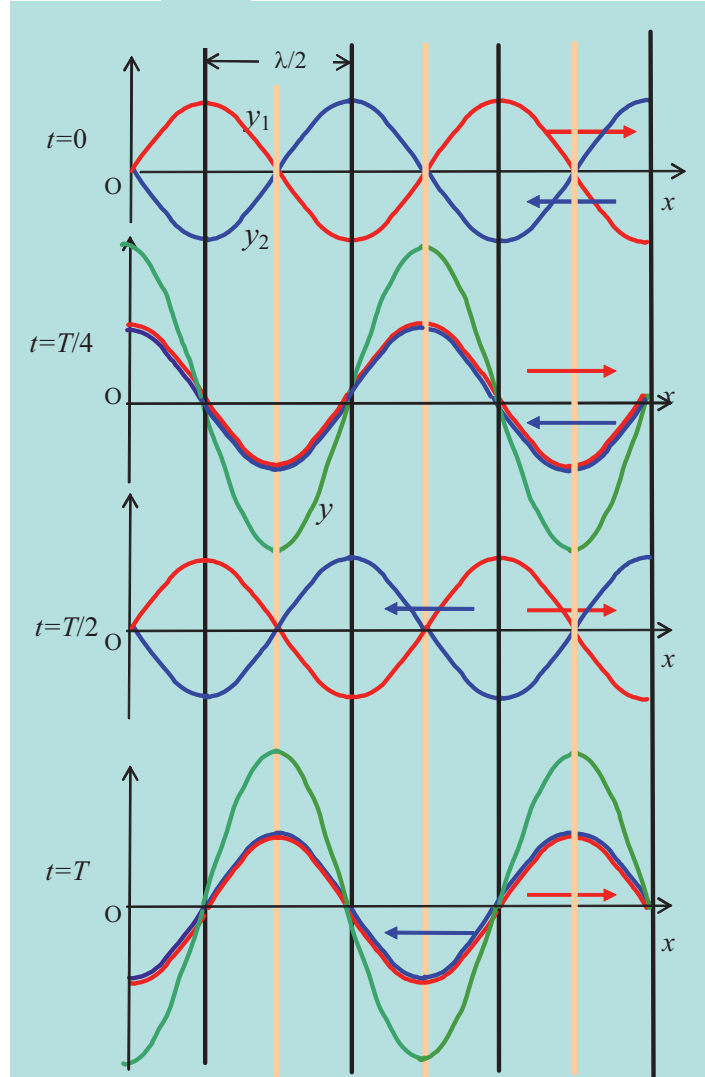
Duran dalgaların özellikleri

Gördüğümüz gibi dalga karınları ve düğümleri yerlerini değiştirmezler. Titreşimlerin faz farkı karın ve düğüm yerlerinde zamanla değişmezler.

Bunu anlamamız için Şekil 4 alınsın, orada uzamalar gelen dalga (kırmızı renkli çizgi) ve yansıyan dalga (mavi renkli çizgi) titreşimin farklı anlarında gösterilmiştir. Bu iki dalga girişirler ve duran dalgayı oluştururlar (yeşil renkli).

Şekilden görülüşü gibi iki düğüm arası veya iki karın arası mesafe $\lambda/2$ dir.

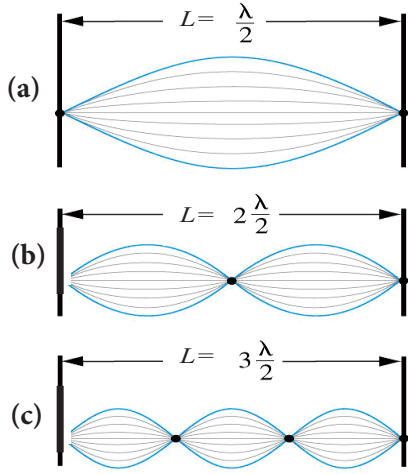
Bu şekilde görüldüğü gibi iki düğüm arası **tüm noktalar fazlı titreşirler**, aynı anda maksimum değerler elde ederler aynı yönde yada farklı yönde. Aynen **düğümün sol ve sağ tarafında tüm noktalar ters fazlı titreşirler**. Bunlar faz olarak π değeri kadar birbirinden uzaktırlar.



Şekil 4. Telin farklı yerlerinde farklı zamanda titreşim. Görüldüğü gibi gelen dalga ve yansıyan dalga düğüm yerinde ters fazlıdır. Karın göbek yerleri maksimum amplitütlü dürler.

Burada söylenmesi gereken verilen telde duran dalgalar herhangi bir frekansta oluşamazlar, sadece belli frekanslarda oluşurlar.

8. Dalgalar ve ses



Şekil 5.

Her iki ucu sabitleşen telin titreşen olayı varsa, o zaman her iki ucunda düğümler oluşur, onlar arasında bir yada ya da fazla göbek var (Şekil 5.). Düğümler arası mesafe $\lambda/2$ dir, telin uzunluğunda L dalga uzunluğunun tam sayıların yarısında oluşurlar:

$$L = m\lambda/2 \text{ burada } m = 1, 2, 3, \dots$$

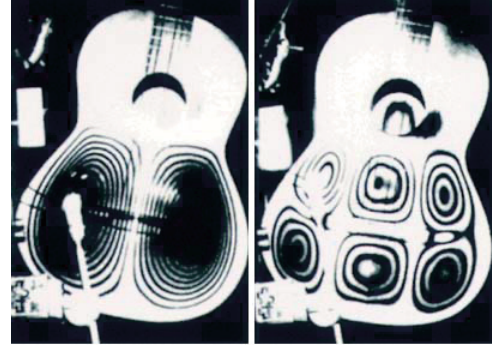
Dalga uzunluğunu hızla v ve frekansla f verelim: $f = \frac{v}{\lambda}$ şu elde edilir:

$$f = m \frac{v}{2L} \quad (m = 1, 2, 3, \dots) \quad (2)$$

Böylece elde ettiğimiz denklem öz frekansları için, temel ($m = 1$) ve daha yüksek frekanslar – harmonikler.

Duran dalgalarda, enerjinin taşınması olmaz. Her iki dalga ters yönde hareket edenler aynı miktarda enerji taşırlar ve bunların hareketiyle enerjiler ters yönde hareket ederler. Titreşim enerjisi her noktanın iki düğüm arasında değişmez. İdeal duran dalgada sadece kinetik enerjisinin potansiyel enerjisine dönüşmesi olur ve tersi.

Duran dalgalar her tür dalgalarda oluşurlar: su dalgalarında, ses dalgalarında, radyo dalgaları kaynaklarında – antenlerde ve sayı. Işık dalgalarında duran dalgalar sonucu olarak kalın katmanlı hologramlar (üç boyutlu cisimlerin resimleri) elde edilir.



Şekil 6. Gitar ağaç kutusunun duran dalgaları

Telli enstrümanların tellerindeki titreşimler duran dalgalar şekli vardır ve büyüklüğü denklem (1) ile belirlenir. Aynı zamanda tellerin titreşimi frekanslar da yaratır. Bu frekanslar bir numaradan daha fazla yüksektir ve **harmonik-obertonlar** olarak adlandırılırlar. Böylelikle verilen enstrümanın titreşimleri sinüsoid eğrileri değildir, daha doğrusu normal ve çok bileşik osilatör eğrileridir. Fakat, bu eriler, sinüsoid biçimi olan osilatörlerin bileşimi neticesi olarak da gösterilebilir.

Enstrümanlarda ses dalgalarının elde edilmesi için rezonans kutusunun önemi de vardır onda havanın duran dalgaları oluşurlar (Şekil 6.).

Şu kavramları açıklayın:

- duran dalga
- düğüm
- göbek
- öz frekansı
- harmonikler

8.6. DURAN DALGA DENKLEMİ

Dalğanın yayılma yönünü x eksene yerleştirilim uzamayı ise y eksenine, gelen dalga (y_1) ve yansıyan dalga (y_2) şu denklemler yardımı ile verilirler:

$$y_1 = A \sin(\omega t - kx) \quad (3)$$

$$\text{ve} \quad y_2 = A \sin(\omega t + kx + \varphi) \quad (4)$$

Bunlar kaynaktan x mesafesine kadar titreşimlerdir, dairesel frekans $\omega=2\pi f$ ve dalga sayısı $k=2\pi/\lambda$ dırlar. Denklem (4) yansıyan dalga için geçerlidir ve yayılması ters yönde dir bundan dolayı denklem (3)'te "-" işareti bulunur. Yansıma olduğu için burada ek faz farkı φ oluşur. Eğer yasıma daha yoğun ortamdandır yapılmışsa bildiğimiz gibi $\varphi = \pi$, buna göre dalğanın bileşke denklemi:

$$y = y_1 + y_2 = A \sin(\omega t - kx) + A \sin(\omega t + kx + \pi)$$

Eğer temel trigonometri denklemi iki sinüs açısının toplamı uygulanırsa:

$$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$$

duran dalga denklemi:

$$\begin{aligned} y &= 2A \cos\left(kx + \frac{\pi}{2}\right) \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = \\ &= 2A \sin kx \cos \omega t \end{aligned} \quad (5)$$

şöyle yazılabilir:

$$y = B \cos \omega t$$

nerde ki $B=2A \sin kx$ (6)

duran dalğanın amplitütünü oluşturur. Görüldüğü gibi eksen x bağlıdır.

Düğüm yerlerini $B=0$ olmasıyla buluruz. Denklem (6)'den yerler şöyledir: $kx=m\pi$, nerdeki $m=0, 1, 2, \dots$. Eğer $k=2\pi/\lambda$, düğümlerin koordinatları:

$$x_{\text{jazol}} = m \frac{\lambda}{2} = 2m \frac{\lambda}{4} \quad m = 0,1,2\dots \quad (7)$$

Karın göbeklerinin yerleri $B = \pm 2A$ bulunur; negatif işareti düğümden geçildiği zaman duran dalga ters fazlı olduğunu ifade eder. Denklem (6)'den $\sin kx=\pm 1$, şu elde edilir $kx = (2m+1)\pi/2$ ya da:

$$x_{\text{mev}} = (2m+1) \frac{\lambda}{4} \quad m = 0,1,2,\dots \quad (8)$$

Denklem (7) ve (8)'den görüldüğü gibi iki düğüm arası mesafe ya da iki göbek arası mesafe $\lambda/2$ dir.

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Telin gerdirme kuvveti nekadardır, eğer her iki tarafı iyice sabitlemiş bulunur ve elektromıknatis çatalı ile (100 Hz) uyarılır telde bir göbeği elde etmek için? Tel yoğunluğu 7 g/cm^3 olan malzemedendir yapılmıştır, uzunluğu 1 m ve kesiti-nin yüzeyi 1 mm^2 dir. (Cevap. 280 N).

2. Önceki ödevdeki telin dalga uzunluğu ve dalğanın yayılma hızı nekadardır? (Cevap. $\lambda=2 \text{ m}$; $v=200 \text{ m/s}$)

3. Havada ses çatalı ile yapılan duran dalğanın düğümleri arasındaki mesafe 40 cm dir. Ses çatalın frekansı nekadardır eğer sesin hızı $v=340 \text{ m/s}$ ise? (Cevap. 425 Hz)

4. Violinciler kendi violin tellerini nasıl ayarladıklarını gördünüz mü? Açıklayın!

5. Eğer gitar temperatürü farklı olan bir çevrede getirilirse, telleri ayarlınsın gerekir, neden?

Standing Waves konusuyula ilgili bilgileri internet adresinden bakabilirsiniz:

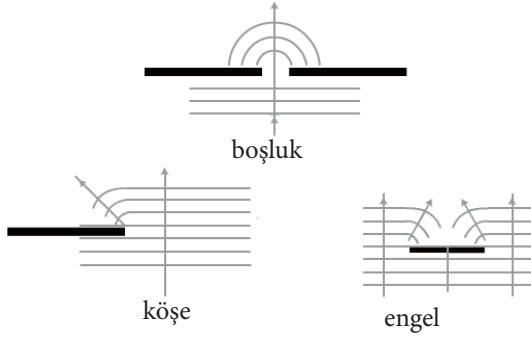
1. [Formation of Standing Waves](http://www.glenbrook.k12.il.us/gbssci/phys/Class/waves/u10l4b.html)

www.glenbrook.k12.il.us/gbssci/phys/Class/waves/u10l4b.html ve

[www.cord.edu/dept/physics/p128/lecture99_35.html - 16k - 17 Mar 2003

duran dalgalarla ilgili simülasyonu izleyin.

8.7. DALGANIN KIRINIMI

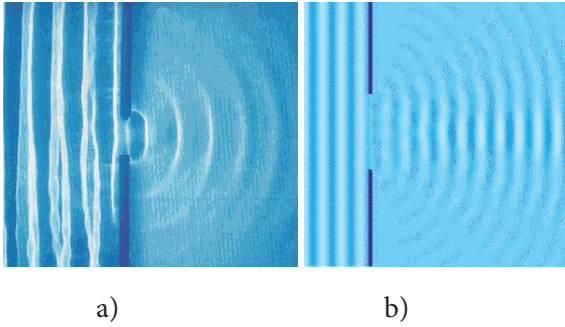


Şekil 1. Düz dalganın kırınımı

Dalganın kırınımı dalganın engel sınırından, ya da boşluktan geçmesiyle olur.

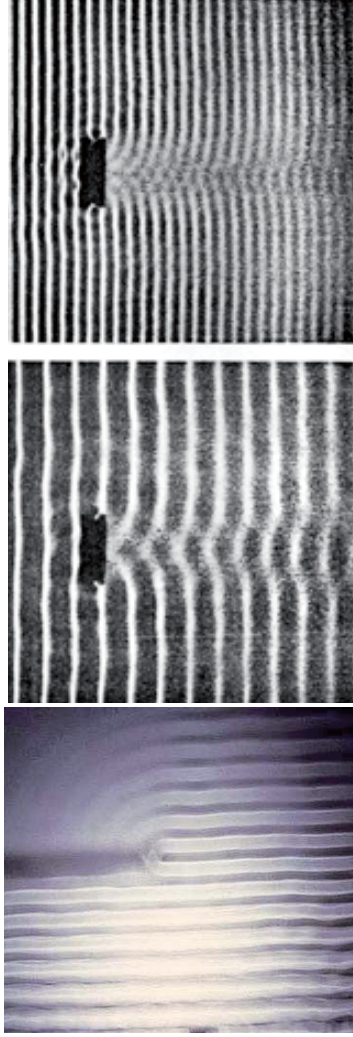
Kırınım esnasında hiçbir özellik değişmez sadece dalganın yayılma yönü (Şekil 1.) değişir. Kırınım olayından sonra dalga uzunluğu, frekans, periyot ve hız aynı kalırlar deney yoluyla da teyid edilir.

Doğru plak ve elektromotor yardımı ile suda düz dalgalar (Şekil 2.) oluşturulur ve onların yayılma yoluna boşluğu olan engel konular, boşluğun boyutunu değiştiririz (Şekil 2). Boşluğun boyutu dalga uzunluğundan küçük yada onun kadar, engel arkasında küresel dalga elde edilir (Şekil 2a).



Şekil 2.

Eğer boşluk dalga uzunluğundan büyükse (Şekil 2b) boşluk kenarlarından gelen dalga başlangıcında eğriler oluşur, dalga başlangıcının diğer fazla kısmını doğrular oluşturur.



Şekil 3.

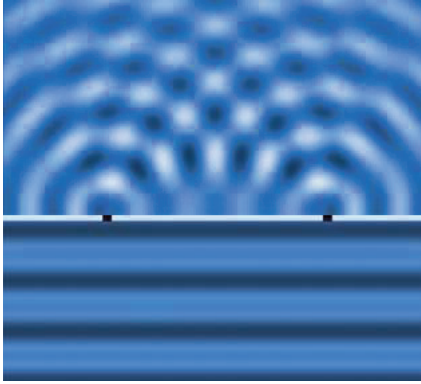
Engellerde dalga başlangıcının bükülmesi görülür. Eğer su dalgalarının yayılma yolunda küçük engel konulursa, boyutları da dalga uzunluğu ile kıyaslanabilir durumda ise, dalga başlangıcı deforme edilir (Şekil 3.).

8. Dalgalar ve ses

Engel boyutu büyükse, engel arkası dalgalanma olmaz, sadece köşelerinde dalga başlangıcının eğrilmesi görülür (Şekil 3.).

*Boyutu dalga uzunluğu ile kıyaslanabilen küçük boyutlu boşluklardan geçilmesi esnasında dalga başlangıcının eğrilmesi olayına dalganın **kırınımı** denir.*

Dalgaların kırınımı olayı Haygens-Frenel prensipi ile açıklanır. Küçük boşluğun sekonder dalgaları Şekil 2'deki girişirler, onların sayısı küçüktür, küresel dalgaya benzeyen dalganın oluşması girişim sonucu dur.



Şekil 4.

Şekil 4'te sudaki düz dalganın yolunda konulan iki boşluğun kırınım fotoğrafı verilmiştir. Görüldüğü gibi boşluklar arkasında dalgalar girişirler, iki bağımsız kaynağın giriştikleri gibi.

Dengeler arkasında dalgaların kırınımı seste de oluşur. Komşu odadan radyoyu görmemiş bile olsak sesini duyarız.

Dalgaların kırınımı, girişim özellikleri gibi tüm dalgalar için geçerlidir.

Bunu görmek için temel şar boşluğun yada engelin boyutu ona gelen dalganın dalga uzunluğuyla kıyaslanabilir olması gerekir.

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Dalgaların kırınımı nedir, açıklansın.
2. Dalgaların kırınımı olayı olaması için hanga şartlar gerekir?

3. İnternet sitesinde

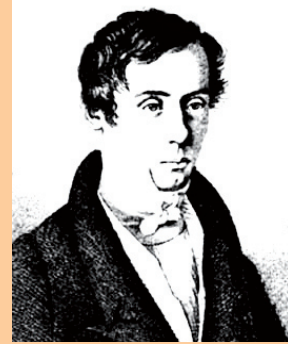
<http://www.smeter.net/propagation/images/wavediffraction-2.gif>

ışığın kırınımı ile ilgili simülasyonu bakınız ve öğreniniz.

Şu kavramları açıklayın:

- ince kenarın dalga kırınımı
- küçük boşluğun dalga kırınımı
- iki boşluğun kırınımı

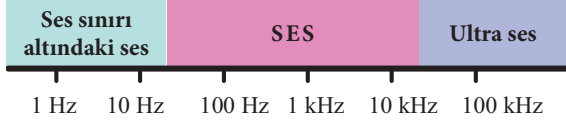
Biraz tarih



Ogustin Frenel (**Augustin Fresnel**, 1788-1827) ünlü Fransız fizikçisi, çağdaş optiğin temellerini atmıştır. Haygens prensipini sekonder dalgaların girişmeleri ile tamamlayarak, ışığın kırınımı için matematik teorisi vermiştir. Işık dalgalarının enineliği onun tarafından kanıtlanmıştır. Yansıyan ve kırılan ışık için verilen Frenel'in vermiş olduğu amplitüt ve faz formülleri bugün de hala kıymetlerini kaybetmediler.

8.8. SES DALGALARI

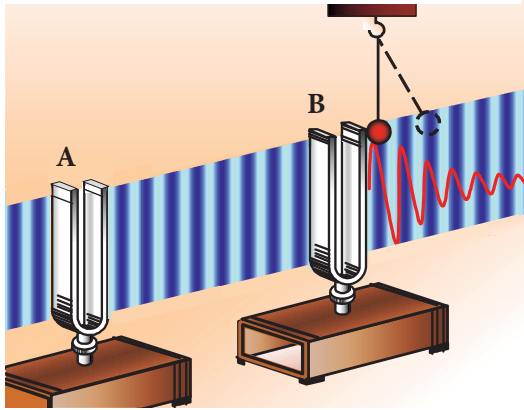
Ses alanı, oluşması, yayılması ve sesin algılanması fiziğın **akustik** denen bölümünde araştırılır.



Ses dalgaları frekansları 16 – 20000 Hz olan mekanik dalgaları oluşturur. İnsan kulağının fiziksel yapısı 16 Hz küçük olan frekansları (infrases) yakalayamaz ve 20000 Hz büyük olan frekansları (ultrases) yakalayamaz. Bazı canlı yaratıklar bulunur onlar ultrasesleri ve infrasesleri işitirler.

Genel olarak, her cisim belli frekans aralığında titreşirse ses kaynağını oluşturur.

Ses dalgaların var olunuşunu kendi kulaklarımızla tazzdıklarız, en kolay olarak ses dalgasının rezonansı olduğu zaman yapılır. Bu amaç için şu deney yapılır:



Şekil 1.

A ve B ses çatalı aynı frekans ile titreşen alınır (Şekil 1.). Onların rezonatör kutuları biri diğerinden ayırır ve aralarındaki mesafe 1 m ol-

sun. B Çatalını dokunmak için topcağız yerleştirilir. Lastik çekiç yardımı ile A çatalı uyarılır.

Dikat ederseniz topcağız zıplamağa başlar.

B çatalını uyardık fakat çatal A basınçta ve hava yoğunluğunda periyodik değişiklik oluşturur ve bu değişiklik B çatala ulaşır. Çatalar arası ses rezonansı olmuştur deriz. Eğer çatalların birinin kanda metal parçası eklersek frekansı genişir ve rezonans şartları bozulur. Titreşimler o çatalda zayıftır ve işitilemez.

Maddesel çevrede basınç ve yoğunluk değişimi mekanik dalgalarda geçerli olan kurallara göre oluşurlar.

Sıvılarda ve gazlarda ses boyuna dalgaları gibi yayılır. Katı elastik çevrelerde ses boyuna ve enine dalgaları gibi yayılırlar. **Vakumda ise akustik dalgaların yayılması için şartlar yoktur.**

Ses dalgaların temel karakteristikleri

Her günkü yaşamda farklı sesler duyarız, onlar arasında **müzik tonları** gürültüden ayrılır.

Müzik tonları gürültüden nasıl ayrılır ve müzik tonları arasında farkı oluşturan nedir?

Harmonik titreşimler yapan ses kaynağı ürettiği sese ton denir. İşitme organı ile kaydedilen ses dalgaların temel fiziksel karakteristikleri: **yükseklik, renk ve ses seviyesi.**

Ton yüksekliği frekansla belirlenmiştir. Ses çatalı farklı frekanslarla titreşim için uyarılmışlar, yüksekliğe göre farklı tonlar verirler. Frekans ne kadar büyükse, yükseklik de büyüktür. Müzik merdiveninde her tona belli frekans karşılığı gelir. Örneğin ton A (1a) 440 Hz frekansı var.

Oktava kadar daha yüksek tonun frekansı, birincisinin frekansından iki kez daha büyük-

8. Dalgalar ve ses

tür ve 880 Hz değeri vardır. Akustik tonlar dizisi ton yüksekliğine göre 10 intervale ayrılırlar. Tonların yükseklik aralığı kenarlarının frekansı oranı iki defa daha büyüktür ve buna oktava denir, (birinci: 16:32; ikinci:32:64 ve sayı).

Müzik enstrümanları veya ses telleri bileşik tonlar üretirler ve harmonik titreşimleri toplamı gibi gösterilirler, frekansları en alçak frekansın tamsayı değeri dir. En alçak frekansın sesine temel yada birinci harmonik ton denir, tüm diğerleri ise yüksek harmonik tonları dırlar.

Tonun rengi özel karakteristiği oluşturur ve buna göre ton kaynakları ayrılırlar. Tonun rengi yüksek harmonik tonların türüne ve sayısına bağlıdır.

Farklı enstrümanların müzik tonları aynı ses üretmezler, olsun ki aynı yükseliklere sahiptirler. Örnek, tonların yüksekliği aynı olan keman ve piyanoda farklıdır. Tellerin öz frekansları çok nedenlere bağlıdır: kütle, uzunluk ve gerdirme kuvveti.

Gürültüler bileşik peryodik olmayan amplitüt ve frekans olarak titreşimlerden kaynaklanırlar. Gürültüler basit harmonik bileşenlere ayrılmazlar.

Güçlü ve kısasüren gürültüye patlama denir. Örneğin, farklı patlamalar, camın kırılması ve sayı.

Sesin şiddeti ve yüksekliği

Frekansından mada şiddeti ile ses karakterize edilir.

Ses dalganın **şiddeti** I her dalganın şiddeti gibi tanımlanır. Ses dalganın yayılma yönüne normal gelen yüzeyden biriminden S zaman biriminde t taşınan enerjiye E ses şiddeti denir.

$$I = \frac{E}{St} = \frac{P_{cp}}{S}, \quad (1)$$

denklemde $P_{cp} = \frac{E}{t}$ ortalama güçtür. Ses dalgasının şiddeti I ölçü birimi:

$$\frac{J}{m^2 s} = \frac{W}{m^2}.$$

Ses şiddeti enerjetik karakteristiği gibi oluşan basıncın amplitütü karesiyle doğru orantılıdır.

Sesin şiddeti $I_{max}=1 \text{ W/m}^2$ alınan kulakta ağrı yapar. Sesin 10 kez daha büyük olan şiddeti duyamayız sadece kulakta ağrı hisederiz.

Sesin maksimum şiddeti kulakta ağrı ile kaydedilene **ağrı sınırı** yada **işitiminin yüksek sınırı** denir.

Ses dalga şiddetinin minimum değerine belli frekansta işitme hissi oluşturana işitme basamağı denir. Bu basamak farklı frekanslar için farklıdır. Örneğin, frekansı $f=1000 \text{ Hz}$ olan minimum şiddeti $I_{min}=10^{-12} \text{ W/m}^2$ dir.

İşitme organların değerlendirilmesinde şiddeti yerine sesin yükseklik seviyesi yada yüksekliği alınır. Böylece yükseklik seviyesi L herhangi bir şiddet I için şu denklemle hesaplanır:

$$L = k \log \frac{I}{I_{min}}, \quad (2)$$

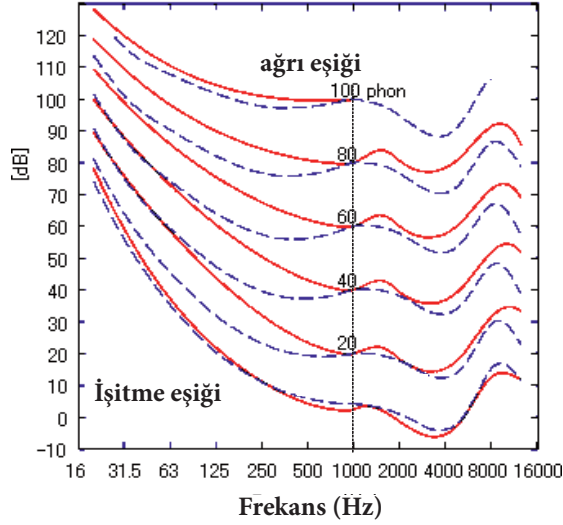
denklemde k sabite dir; I ses şiddeti; $I_{min}=10^{-12} \text{ W/m}^2$ sesin referans şiddeti – işitme basamağı $f=1000 \text{ Hz}$ frekansı için.

$k=1$ alındığı zaman yükseklik seviyesinin birimi bel (B) dir ve $k=10$ alındığı zaman seviyenin 10 kez daha küçük olan birimi desibel (dB) dir.

8. Dalgalar ve ses

Bu birimlere göre en düşük ses, işitme basamağının yükseklik seviyesi 0 dB.

Ses şiddeti kulağa ağrı yaptıranın maksimum yükseklik seviyesi 120 dB dir.



Şekil 2. Eşit yükseklik seviyesinin yeni eğrilerin kıyaslanması (ISO 226, 2003 yılından – dolu çizgi) ve Fletcher-Manson eğrisi (1923 yılından – kesik çizgili). Alçak frekanslarda çizgiler arasında fark vardır

Şekil 2'de yükseklik seviyesinin eğrileri gösterilmiştir ve onlara göre işitme basamağı frekansın değişmesi ile daha çok değişir, ağrı verici sınır ise daha az. İşitme basamağının ve ağrı verici sınırının alanına *işitme alanı* denir.

Grafik 1'den görüldüğü gibi 2 ile 4 kHz arasında kulak en hisli dir, bu frekanstan farklı frekanslarda hissizdir. Örneğin, 100 Hz frekansında işitme basamağı 10^{-8} W/m^2 dir, bu da 104 kez daha şiddetli dir frekansı 1000 Hz olanın şiddetinden.

Farklı gürültü kaynaklarının ses şiddeti ve yükseklik seviyesi Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Sübjektif ve objektif ses birimlerinin kıyaslanması

SES KAYNAKLARI	L (dB)	I (Wm ²)
İşitme basamağı (1m uzaklıkta)	0	10^{-12}
Fısıltı	20	10^{-10}
Normal konuşma	40	10^{-8}
Normal işlek cadde	60	10^{-6}
Şiddetli konuşma, ulaşım	70	10^{-5}
Yüksek işlek cadde	90	10^{-3}
Otomobil düdüğü	100	10^{-2}
Jet uçağı	120	1

Dikatinizi çektiyse opera salonun duvarları bez ile örtülüdür. Eğer sesin absorbe edilmesi sesin yansımından büyük değilse kapalı ortamlarda bu olaya *reverberasyon* denir. Bundan dolayı büyük salonların yapılması esnasında reverberasyon için en uygun zaman şartın sağlanmasına dikkat edilir.

Ses hızı geçeceği ortamın özelliklerine ve temperature bağlıdır.

Ses dalgaları için de enine ve boyuna dalgaların denklemleri geçerlidir.

Ses hızı gaz ortamında yayılırken yükselir temperature'nin yükselmesiyle. Sesin hızı havada 0°C sıcaklıkta 331,5 m/s dir, suda 20°C sıcaklıkta 1493,2 m/s, granit 20°C sıcaklıkta 6000 m/s.

ÖRNEK 1. Alüminyumdan geçen sesin hızı hesaplınsın eğer elastik Yung modülü $E=7 \cdot 10^{10} \text{ Nm}^{-2}$ ve yoğunluğu $\rho=2,7 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ değerleri verilmişse.

Çözüm: Sesin hızı şu denklemlerle hesaplanır:

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \text{ ve değerler değiştirildiği zaman}$$

$$v = \sqrt{\frac{7,0 \cdot 10^{10}}{2,7 \cdot 10^3}} \approx 5,1 \text{ km/s.}$$

8.9. İKİ ÇEVREDEDEN GEÇEN SESİN KANUNLARI

Ses dalgaları iki farklı ortamın sınırına ulaştıkları zaman onlar için bir de mekanik dalgaları için geçerli yansıma, kırılma, kırınım, girişim kanunlarıdır.

Düz dalga iki ortamın sınırına normal bir şekilde düşerse onun bir kısmı yansır diğer kısmı ise ikinci ortama geçer.

Ses dalgasının yayılması esnasında sürekli basınçtan p_0 mada ek periyodik akustik basıncı olur ve şu denklemlerle verilir:

$$\Delta \tilde{p} = A \omega \rho v \sin 2\pi f(t-x/v), \quad (1)$$

burada $p_{max} = A\omega\rho v = A\omega R_a$ akustik basıncın amplitütüdür ve dalganın özelliklerine ve maddesel çevrenin özelliklerine (**akustik direnç** – ortam empedansı $R_a = \rho v$) bağlıdır.

Ses dalgasının şiddeti I enerjetik özellik gibi amplitütün ve akustik basıncın kareleri ile doğru orantılıdır, ortamın akustik direnci ile ters orantılıdır. Düz boyuna dalga için:

$$I = \frac{1}{2} A^2 \omega^2 \rho v = \frac{p_{max}^2}{2\rho v} . \quad (2)$$

Akustik basıncın amplitütünü ölçerken sesin şiddeti belirlenir.

$$\frac{p_{1r}}{p_{1u}} = \frac{R-1}{R+1}, \quad \frac{p_{2u}}{p_{1u}} = \frac{2R}{R+1}$$

burada $R = \frac{\rho_2 v_2}{\rho_1 v_1}$ sabitesi ortamı karakterize eder.

$R=1$ ortamları için, dalga iki ortam sınırını yansımadan geçer, $R \ll 1$ için tam yansıma var. Gelen dalga şiddeti, yansıyan ve kırılan dalga için denklem (2)'yi göz önüne alarak geçerlidir:

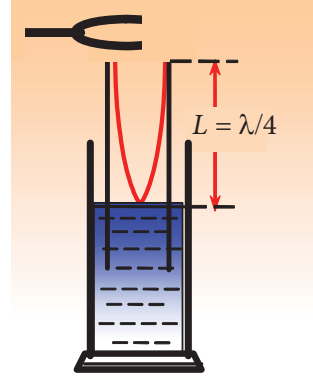
$$\frac{I_{1r}}{I_{1u}} = \left(\frac{R-1}{R+1} \right)^2, \quad \frac{I_{2u}}{I_{1u}} = \frac{4R}{(R+1)^2}$$

Ses dalgası geniş plaktan geçtiği zaman ona normal şekilde düşerek enerji taşınması ortamın özelliğine ve plakın kalınlığına bağlıdır. En büyük enerji taşınması plakın kalınlığı ses dalgasının çok sayıda dalga uzunluğunun yarısına ($\lambda/2$) eşit olduğu zaman yapılır. Buna göre iki kez daha kalın plak iki kez daha iyi yalıtkan olmasına her zaman karşılık gelmez.

8.10. SES REZONANSI

Ses kaynakları, mekanik titreşimleri gibi zorunlu titreşimler yaparlar ve rezonans durumunda bulunabilirler.

Şekil 1'de boru şeklinde geniş suyla dolu bir kabda ondan küçük boru şeklinde ve her iki kenarı açık olan kab konulur.



Şekil 1. Ses rezonansı deneyi

Kenarları açık olan borunun diğer havadaki kenarına titreşen ses çatalı getirilince, hava sütunu zorunlu titreşimler yapar. Hava sütununun uzunlu-

8. Dalgalar ve ses

ğunu (boru yukarı aşağı kaldırılır ve indirilir) de-ğiştirmekle belli yükseklikte ses daha şiddetli işitilir. Kùçùk boruda hava sùtunun titreşimlerinin frekansı ve ses çatalın frekansı aynı olmakla ses rezonansı oluşur. Kùçùk boruda duran dalga oluşur.

Hava sùtunun frekansı kendi uzunluğuna bağlıdır L :

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{(2n+1)}{4L} v; \quad n=1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

denklemden n tam sayıdır, v havadaki sesin hızıdır. Şekil 1'de Hava sùtunun uzunluğu $L=\lambda/4$ dur. Rezonans olayı her tek sayı için dalga uzunluğunun dörte birinde oluşur:

$$L = (2n+1) \frac{\lambda}{4}$$

Ses rezonansı üflenilen enstrümanlarda kullanılır. Bazılarında ise daha şiddetli ses almak için mekanizma kullanılır ve bunlara *rezonatör* denir. Rezonans olayı ile ses dalgalarının hızı ölçülür. Şekil 1'de deney ile sesin hızını belirleyin.

ÖRNEK 1. Frekansı $f=735$ Hz olan ses çatalı bir tarafı kapalı olan hava sùtunu üzerinde konulmuştur. En şiddetli ses duyulacak ne zaman hava sùtunun uzunluğu: a) 11,3 cm olunca; b) 33,5 cm olunca. Havada sesin hızı hesaplınsın.

Çözüm: Şu denklem alınsın

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{(2n+1)}{4L} v,$$

Hız elde edilir

$$v = \frac{4Lf}{(2n+1)} \quad n=0,1,2,3,\dots$$

a) Bu denklemde değerler değiştirilince $n=0$, hava sùtunun uzunluğu $L=11,3$ cm için

$v=4Lf$; daha doğrusu $v_1=332$ m/s

b) Hava sùtunu uzunluğu $L=33,5$ cm için, $n=1$ hızı

$$v = \frac{4Lf}{3}; \text{ olarak } v_2=328 \text{ m/s.}$$

Sesin hızı ortalama hız olarak v_1 ve v_2 'den bulunur.

Sorular, ödevler ve etkinlikler

1. Otomobil düdüğü şiddetli 10^{-3} W/m² ve yükseklik seviyesi 90 dB ses yapar; böyle on tane düdük şiddeti 10^{-2} W/m² ve yükseklik seviyesi 100 dB ses yapar; iki düdük ise 93 dB yapar neden?

2. Uzunluğu 931 cm olan metal boru uzunluğu boyunca çekiç ile vurulur. İkinci kenarına $t=2,5$ s zaman farkıyla iki kez ses işitilir. Bu olay kime göre olur. Metalde sesin hızı belirlensin, eğer havada sesin hızı 340 m/s ise.

(Cevap: 3900 m/s)

8.11. AKUSTİK METODLAR

Auskultasyon (dinlemeli) ve perküsyon (vurmali)



Şekil 1. Stetoskopi

Ses ile önemli bilgiler iç organların durumuyla ilgili elde edilir, ses metodu *auskultasyon* (dinlemeli) gibi teşhiste en eski akustik metodu dur.

8. Dalgalar ve ses

Auskultasyon için *stetoskop* (Şekil 1.) kullanılır. Sesin kulağa götürülmesi için bir boruyu oluşturur. *Binaural* (çiftkulaklı) *stetoskop* (Şekil 2.) elastik membran ile örtülen rezonans kapsülü (1) vucüda dokunulur ve ondan lastik boru (2) kulaklara ulaşan kısımlardan oluşmuştur. Membran ses yakalayıcısıdır. Boş kapsülde onun büyüklüğü $\lambda/4$ olduğu zaman rezonans oluşur, ses auskultasyon (dinleme) ile şiddetlendirilir ve iyileştirilir.



Şekil 2. Binaural (çiftkulaklı) stetoskop

Auskultasyon sadece tıpta kullanılmaz diğer dallarda, teknikte ve hayatta kullanılır.

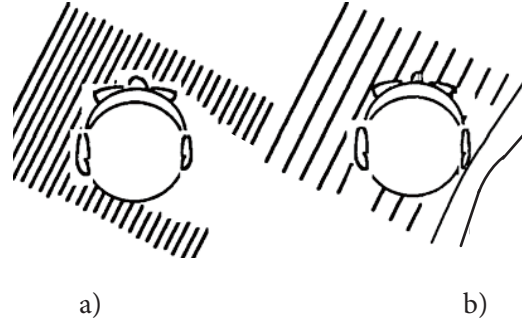
Auskultasyon yardımı ile ses işitilir ve farklı durumlar için hüküm verilir. Aynı anda çok sayıda dinleme yapmak için ve kayıtlarını saklamak için sistem kullanılır ve şu kısımlar sisteme girer: mikrofon, güçlendirici, hoparlör, frekans filtreleri ve sesin saklama aracı.

Prensip olarak buna benzer metot **perküsü** (dukunmalı) dır. Bu metod yardımı ile vücudun bazı kısımlarına parmakla yada uygun çekiçle vurularak alınan sesler analiz edilir.

Her cisim şematik olarak gazla, sıvı ile katı süpstanlardan oluştuğu gösterilebilir. Cismin yüzeyine vurmakla titreşimler oluşur, frekanslar geniş bir aralığı kapsar. Bazı titreşimler çabuk söner, bazıları ise herhangi bir boşluğun öz titreşimleri ile çakışır, güçleşirler ve rezonans ötürü işitilirler. Deneyimli uzman kişi perkusiden sonra çıkan tondan durumu belli eder ve verilen cismin topolojisini.

8.12. SES KAYNAĞINI YERELLEŞTİRME (LOKALİZASYON). BİNAURAL (ÇİFTKULAK) EFEKTİ

Araştırmalara göre insan yanlış yapmadan sesin sağ yada sol taraftan geldiğini fark eder. Yanlış yapılmasının mümkünlüğü ses kaynağının yerelleştirilmesinden önde yada arkada olduğu kaynaklanır. Ses kaynağının yerelleştirilmesi yatay düzleme göre dikeyden daha iyidir.



Şekil 1.

Bu olayların açıklanılması yüksek ve alçak frekanslar için farklıdır. İnsan kafatası yaklaşık olarak küre gibidir ve diyametresi (çapı) 0,18 m dir, bu uzunluğa havada frekansı 1,8 kHz olan ses dalgası uygundur. Buna göre insan kafatasına engel gibi gelen ses dalgaların dalga uzunlukları $\lambda \ll 0,18$ m karşı tarafta ses gölgesi gibi kalırlar Şekil 1a. Bu esnada bir kulak sesi işitir diğeri ise işitmez. Şiddetlerden ötürü ses kaynağın durumu kolayca belirlenir.

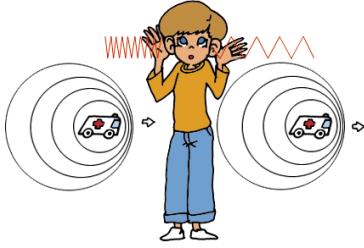
Diğer yandan, dalga uzunlukları $\lambda \gg 0,18$ m olduğu durumda ses dalgaların kırınımı olur, ve onlar geometrik gölgeye de yayılırlar Şekil 1b. Ses kaynağından gelen sesler her iki kulağa farklı yolları geçtikleri için dalgalar aynı fazda değildirler ve buna göre bir kulaktaki basınç daha büyüktür diğesinde daha küçüktür. Her bir kulaktan gelen sinir impulsları farklı basınç bilgilerini beyine iletirler ses kaynağını yerelleştirmek için.

8. Dalgalar ve ses

Frekansları 1 kHz küçük olanların ses kaynakları durumları faz farkından belirlenir. Frekansları 5 kHz büyük olan ses kaynakların durumları şiddetlerin farkından belirlenir. Bunların arasındaki frekanslar için (1 kHz – 5 kHz) ses kaynakların durumları her iki yöntemle bulunur.

8.13. DOPLER EFETKİ

Ses barieri kırma



Şekil 1.

Kayık dalgalanmış suya karşı hareket ederken, dalgaların kayığa vuruşları daha büyük olacak nitekim kayıt sükûnette bulunurken. Ses kaynağı algılayıcıya yaklaşırken, algılayıcı daha yüksek ton işitir. Ters durumda ses kaynağı algılayıcıdan uzaklaştığı zaman daha düşük ton işitir. Gözlemci önünden büyük hızla otomobil veya trenin geçtiği zaman bu etki farkedilir.

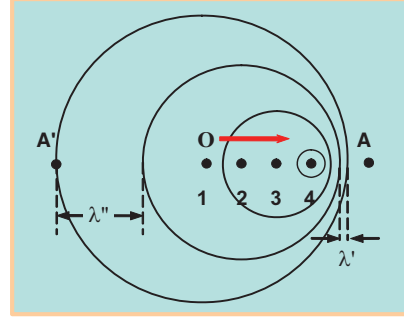
Dopler efekti ses frekansın hareket esnasında alıcıya göre değişmesine denir.

Dopler efekti, suda, ses ve ultra sesli dalgalar - bütün dalgalı hareketler için karakteristiktir. Aynı zamanda ışık, radyo dalgaları ve diğer elektro manyetik dalgalar için de geçerlidir.

Bu efekti açıklamak için ses kaynağı (Şekil 1.) hızı v ile algılayıcıya doğru hareket eder A noktasında, 1, 2, 3,... noktaları ses kaynağının durumlarını aynı zaman aralıklarında gösterir.

Ses kaynağı durum 1'de olduğu zaman ondan küresel dalga kalkar, merkezi 1'de olan A noktasına kadar genişler. Biraz sonra nokta 2'den

ikinci dalga kalkar ve verilen zamanda A noktasına kadar genişler, merkezi 2'de bulunur. Sonradan sırasıyla dalga nokta 3'ten kalkar ve aynı OA yönünde ses dalgasının dalga uzunluğu λ' hareket etmeyen ses kaynağının dalga uzunluğundan λ daha küçüktür. Ters yönde OA' dalga uzunluğu λ'' daha büyük λ' olacak.



Şekil 1.

Hatırlatalım dalga uzunluğu λ ve frekans f şu denklemle bağılırlar $f = v_z / \lambda$, v_z sesin hızıdır.

v ses kaynağının hızıdır ve frekansı da f dir, yakalanacak frekans şu denklemle verilir:

$$f' = \frac{v_z}{v_z \mp v} f \quad (2)$$

Denklemde “-” işareti ses kaynağı yaklaştığı zaman algılayıcı yakalayacağı frekans ses kaynağının frekansında f büyüktür. “+” işareti ise ses kaynağı uzaklaştığını bildirir ve daha küçük frekansı algılayıcı işitir.

Algılayıcı ses kaynağına yaklaştığı zaman ses kaynağı ise sükûnette bulunursa, işitilecek frekans:

$$f' = \frac{v_z \pm v}{v_z} f \quad (2)$$

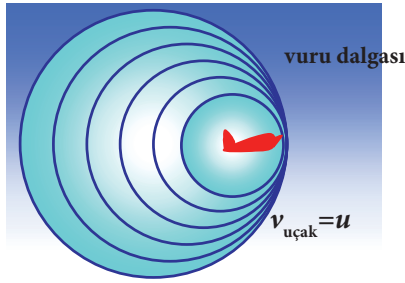
“+” işareti algılayıcının ses kaynağına yaklaştığını gösterir, “-” işareti ise ses kaynağından uzaklaştığını gösterir.

8. Dalgalar ve ses

Aynen dalgalar hareketli engelden yansındıkları zaman yansıyan dalganın frekansı Dopler efektine göre gelen dalganın frekansından farklıdır. Gelen ve yansıyan dalga giriştikleri zaman frekansları arasındaki küçük farktan ses vuruşları işitilir. Bu olayla hareketli engellerin hızları bulunur. Dopler efekti tüm dalgalar için geçerlidir. Örneğin, kan cisimlerinden yansıyan ultrases dalgaları damarlardaki kan hızı için bilgi verirler, soluk almada değişimler yakalanır.

Astronomide bu efekt herhangi bir yıldızın hareketini belirlemek için kullanılır. Yerküreden uzaklaşan bir yıldızdan gelen ışığın frekansı o yıldız sükûnetinde bulunurken ondan gelen ışığın frekansından küçüktür. O yıldızın tayf çizgileri kırmızıya doğru yaklaşık bulunurlar.

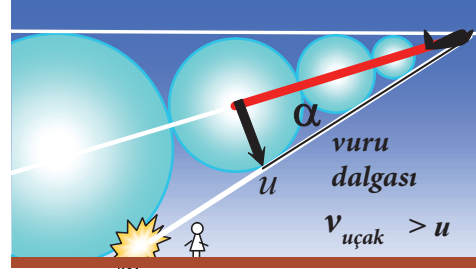
Dopler efekti yardımı ile polis radarları ulaşırma kontrolü esnasında otomobillerin hızlarını belirlerler.



Şekil 3.

Dopler efektin özel olayı “ses barieri kırma”dır. Bu olayı açıklamak için her noktadan geçen ses kaynağı temel dalga yayılır. Ses kaynağı sesin yayılma hızıyla hareket ederse, ses dalgaları onun önünde yoğunlaşır ve düz dalgayı oluştururlar (Şekil 3.)

Eğer uçağın hızı v ses dalgalarının hızından u büyük olursa ($v > u$), uçak önünde dalga noktasalır. Uçak arkasında ise koni şeklini alır (Şekil 4.). Uçak arkasında vuru dalgası oluşur koni şeklinde.



Şekil 4.

Vuru dalgası toprağa doğru yayılır uçağın hızıyla. Eğer uçak alçak yükseklikte hareket ederse, dalga başlangıcı toprağa varınca patlama işitilir buna da “ses barieri kırma” denir.

Koni eksenini ile dalga başlangıcı arasındaki açıya *Max açısı* denir, $\sin \alpha = u/v$. Vuru dalgalarından ek basınç oluşur ve bundan dolayı binalardaki camlar kırılabilir. Vuru dalgası çoğalır Max sayısının çoğalmasıyla, $M = v/u$. Eğer $M=1$ ise uçak 330 ms^{-1} hızı ile hareket eder; $M = 2$ ise uçağın hızı iki kez daha büyük ses hızından dır.

Sorular ve ödevler

1. Yol kenarında algılayıcı bulunur. Otomobil 20 m/s hızla algılayıcıya doğru hareket eder ve düdüğünü 540 Hz frekansla çaldırarak onu geçer. Algılayıcı ne kadar değerinde frekansı yakalar, otomobilin yaklaşmasıyla ve uzaklaşmasıyla?

(Cevap: 574 Hz , 510 Hz)

2. Süpersonik uçaklar ne kadar hıza ulaşabilirler eğer $M=6,15$ ise? (Cevap. 2030 m/s)

Dopler efekti ile ilgili bilgiler ve simulasyonlar şu adreste bulabilirsiniz:

www.scholsobservaory.org.uk/internal/doppler.htm
http://webphysics.davidson.edu/Applets/Examples/From_Others/doppler.html

9.1. FLUIDLERİN TEMEL ÖZELLİKLERİ

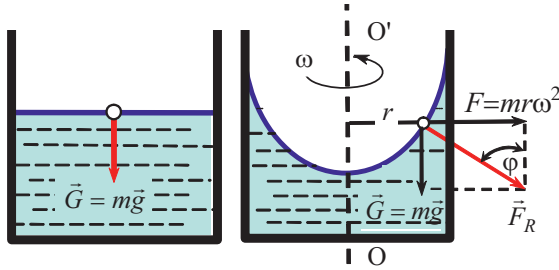
Kolay hareketli yapısal parçacıkları olan maddesel çevresine *fluidler* denir. Sıvılara ve gazlara fluidler denir. Fluidler araştırıldığı zaman *ideal fluid* modeli gözden geçirilir çünkü sıkıştırılmayan ve sürtünme iç kuvvetleri gözününe alınmaz. *Reel fluidlerde* sıkışabilme ve viskozite özellikleri vardır.

Fluidler mekaniği *aeromekaniği* ve *hidromekaniği* kapsar.

Gazları ve sıvıları farklı yapan özellikler nedir?

Gazlar tüm hacımı kapsama özelliğine sahiptirler. Yoğunluğu küçüktür ve kolayca sıkışabilirler.

Katı cisimler gibi, sıvılar mükemmel sıkıştırılmazlar, hacimlerinde deforme olmasın diye dış kuvvetlere büyük direnç verirler. Sıvıların hacimlerinde elastiklik vardır, katı cisimlerde şekillerinde ve hacimlerinde vardır. Sıvılar kabın şeklini alırlar.



Şekil 1.

Şekil 2.

Moleküler yapıyı neden olarak sıvıların ve gazların temel özelliği onların *hareketliliği* dir.

Sıvıların kolayca hareketliliği onların dengede olmasını sağlar, ona etki eden kuvvetler yüzeyine normal olarak yönlü dürler. Sıvıya yerçekimi kuvvetinden mada diğer kuvvetler etki ederse sıvının serbest yüzeyi bileşke kuvvetine normal gelir.

Buna benzer örnek Şekil 2'de gösterilmiştir. Sıvının yüzeyindeki her maddesel noktaya kütlesi m olan aynı anda ağırlık kuvveti $\vec{G} = m\vec{g}$ ve eylemsizlik kuvveti $F = mr\omega^2$ yada merkezkaç kuvveti denen etki eder, r maddesel noktanın ve dönme eksenini OO' arasındaki mesafe, eksen etrafında açılal hız ω . Sıvının serbest yüzeyinin şekli dönen paraboloid benzer.

Şekil 2'de şu şart konulabilir:

$$\text{tg } \varphi = \frac{mr\omega^2}{mg} = \frac{r\omega^2}{g} . \quad (1)$$

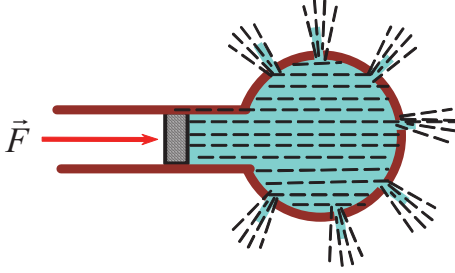
Büyük su çevrelerin yüzeyi denizlerin ve okyanusların yerçekimi ağırlığına normal yönde dir. *Fluid molekülleri kolay hareket ettikleri için onlara dış kuvvetlerin etkisi sadece hareket yönünde değil tüm hacimına taşınır.*

Dış kuvveti etki ettiği zaman hacimsal deformatsiyon olmaması için sıvıda elastik kuvvetleri oluşur, bunlara **basınç kuvvetleri** denir.

Fluidte dış kuvvetin oluşturduğu basınç kuvvetleri fluidin iç kısmında aynı etki ile her yöne etki eder, bunu tazdıklamak için Şekil 3'teki deney alınır.

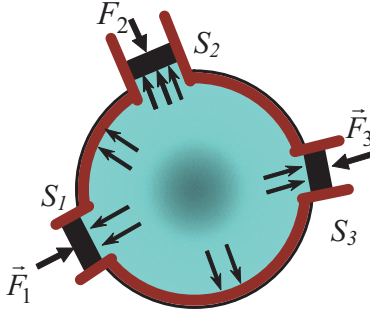
9. Fluidler mekaniği

Kabdaki sıvıya kolayca hareket eden piston dış kuvveti \vec{F} yardımı ile etki ederse, basınç kuvveti kabdaki fluidin her yönüne etki eder, bundan dolayı boşluklardan aynı fluid miktarı püskürür. *Dış kuvvetin etkisi fluidin her yönüne aynıdır.*



Şekil 3. Fluidte basınç kuvveti aynı şiddetle her yöne taşınır. Buna hüküm suyun benzer püskürmeleri ile verilir.

Basınç kuvvetlerin sıvıdaki dağılımı fiziksel büyüklüğü **basınçla** karkterize edilir. Basınç neye bağlıdır?



Şekil 4. Dış kuvvetin oluşturduğu basınç kuvveti aynı şiddetle fluidin her tarafına etki eder.

Şekil 4'te küre şeklindeki kabın suyla dolu ve üç boşluğu vardır, her boşluğun kendi yüzeyi ve o yüzeye normal dış kuvveti etki eder. Eğer yüzey-

lere etki eden dış kuvvetleri belirlenirse, kuvvetlerin ve yüzeylerin oranı sabit büyüklüktür:

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2} = \frac{F_3}{S_3} = p \quad (2)$$

Bu sabit büyüklük **basınç** fiziksel büyüklüğüdür. Basınç kuvveti F normal yönde yüzeye S etki eder:

$$p = \frac{F}{S} \quad (3)$$

(3) denklemi kullanarak basınç birimi belirtebiliriz. Sı sistemine göre basınç ölçü birimi Pa (Pascal) dır:

$$1 \text{ Pa} = \frac{1 \text{ N}}{\text{m}^2} \quad (4)$$

Basınç 1 Pa değerinde 1 N değerindeki kuvvet 1 m^2 yüzeye normal şekilde etki etmesi ile elde edilir:

$$1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ Pa} \text{ dhe } 1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}.$$

ÖRNEK 1. Dik açılı havuz suyla doludur. Havuz dibinin yüzeyi $S=16 \text{ m}^2$ ve yüksekliği 5 m dir. Havuz dibindeki basınç hesaplınsın, suyun yoğunluğu $\rho=1000 \text{ kg/m}^3$ dur.

Çözüm: Havuz dibine basınç yapan kuvvet su sütununun ağırlığı ile eşittir. Suyun kütlesi $m=\rho \cdot V$; hacim ise $V=S \cdot h$ dir. Buna göre suyun ağırlık kuvveti:

$$P = mg = \rho V = 1000 \cdot 16 \cdot 5 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 800000 \text{ N}$$

Havuz dibindeki basınç:

$$p = \frac{P}{S} = \frac{800000 \text{ N}}{16 \text{ m}^2} = 50000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 50 \cdot 10^3 \text{ Pa}.$$

9. Fluidler mekaniği

Havuzun dibindeki basınç daha basit yöntemle belirlenebilir.

Suyun hacımı $V=S h$, kütlesi $m=\rho V$ yada $m=\rho S h$.

Suyun ağırlık kuvveti $P= m g = g \rho S h$

Sıvı ağırlığı havuzun dibine etki eden sıvının kuvveti ile eşittir buna göre basınç şöyle elde edilir:

$$p = \frac{P}{S}, \text{ veya } p = \frac{\rho g h S}{S}.$$

yani $p = \rho g h;$ (5)

Bu denklem sıvının havuz dibine yaptığı basınç dır, hidrostatik basıncı oluşturur. Denklem (5) görüldüğü gibi basınç sıvının yoğunluğuna ve yüksekliğine bağlıdır.

Sorular ve ödevler

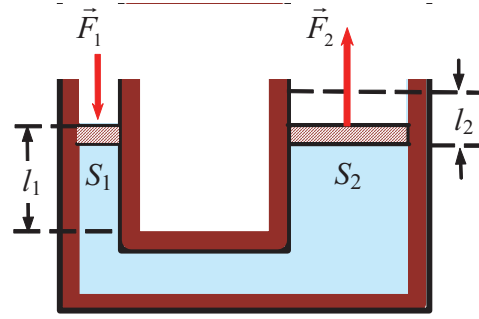
1. Fluidler nedir ve nasıl özellikleri var?
2. Basınç nasıl tanımlanır ve SI sistemde ölçü birimi nedir?

9.2. PASKAL KANUNU

Gördüğümüz fluide etki eden gibi basınç kuvveti, dış kuvvetin etkisinden fluidin her yönüne aynı etki eder. Bununla fluidin basıncı, denklem (3) ile belirlenen aynı tüm fluidin hacmine etki eder.

Sıvının bu önemli temel özelliklerinden birini ilk olarak Blaise Pascal (Blaise Pascal, 1632-1662) açıklamıştır bundan dolayı fizikte buna **Paskal kanunu** denir. Bu kanun hidrolik süreçlerde, hidrolik frenlerde, stomatoloji sandalyesi, kaldıraçlarda ve sayı, kullanılır.

Hidrolik basınç (Şekil 1.) en basit şekilde fluid ile dolmuş iki silindirik kab kenarlarında sürtünmesiz pistonlar bulunur.



Şekil 1.

Kuvvet \vec{F}_1 etki ettiği anda yüzeyi S_1 olan piston yerdeğişimi yapar, \vec{F}_2 kuvveti etki ettiği zaman yüzeyi S_2 olan piston da yerdeğişimi yapar. \vec{F}_1 ve \vec{F}_2 kuvvetleri basınçlarla verilebilir:

$$F_1 = p_1 S_1; \quad F_2 = p_2 S_2.$$

ÖRNEK 1. F_1 kuvvetin işi F_2 kuvvetin işine eşitse Paskal kanunu geçerli olduğu tazdiklansın.

Çözüm: \vec{F}_1 kuvvetin işi S_1 yüzeyli pistonu l_1 mesafesi kadar yerdeğişimine ve \vec{F}_2 kuvvetin işi S_2 yüzeyli pistonu l_2 mesafesi kadar yerdeğişimine eşittir:

$$A_1 = F_1 l_1 = p_1 S_1 l_1. \quad (1)$$

$$A_2 = F_2 l_2 = p_2 S_2 l_2. \quad (2)$$

F_1 kuvvetin işi ve F_2 kuvvetin işine eşittir:

$$A_1 = A_2 : \quad p_1 S_1 l_1 = p_2 S_2 l_2, \quad (3)$$

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

burada $S_1 l_1 = V_1; S_2 l_2 = V_2$ hacimleri 1 ve 2 pistonların yerdeğişimi yapmasıyla kapsanan hacimlerdir. Sıvının özelliklerinden biri sıkıştırılmaz olduğu ($V_1 = V_2$) dur, denklem (3)'den basınçlar aynı olduğu elde edilir:

$$p_1 = p_2 \quad (4)$$

Bu Paskal kanunu oluşturur. Bu kanuna göre şöyle yazılabilir:

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}, \quad \text{yani} \quad \frac{F_1}{F_2} = \frac{S_1}{S_2}. \quad (5)$$

Demek ki küçük bir kuvvetin \vec{F}_1 etkisinden piston S_1 piston S_2 daha büyük kuvvet uygular. Hidraulik basınlarda kuvvetin faydalanması geçilen yoldan ibarettir. Buna göre kuvvetler geçilen yollarla ters orantılıdır:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1} \quad (6)$$

Hidraulik basınlarda büyük kuvvetlerin elde edilmesi için gerektiren yerlerde kullanılır.

ÖRNEK 2. Hidraulik basının küçük pistonuna $\vec{F}_1=30$ N kuvvet etki eder. Daha büyük pistonun yüzeyi $S_2=100 S_1$ dir. a) büyük pistonu etki eden kuvvet hesaplınsın. b) pistonların geçtiği yolların oranı nasıldır?

Çözüm: a) Kuvvet \vec{F}_1 hidraulik basının küçük pistonuna S_1 'e yaptığı basınç $p=F_1/S_1$, sıvı sıkışmaz halde olduğu için, bastırılan sıvı hacmi:

$$l_1 S_1 = l_2 S_2 \text{ daha } \frac{l_1}{l_2} = \frac{S_2}{S_1} = 100.$$

Büyük pistonu etki eden kuvvet, Paskal kanununa göre:

$$F_2 = p S_2 = F_1 \frac{S_2}{S_1} = 3000 \text{ N}.$$

b) daha büyük pistonun alanı

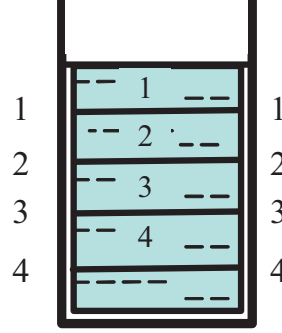
$$S_2 = 100 S_1 \text{ verilen } \frac{l_1}{l_2} = \frac{S_2}{S_1} = 100 \text{ şöyle elde edilir } l_1 = 100 l_2.$$

Sorular ve ödevler

1. Sıvılarda ve gazlarda basınç her yöne aynı olarak taşınır ifadesi nasıl açıklanır?
2. Fluidte basınç kuvveti aynı şiddetle her yöne taşınır deneysel olarak nasıl gösterilir?

9.3. HİDROSTATİK BASINCI

Yerçekimin ağırlık kuvveti yüzünden sıvının iç kısmında oluşan basınca *hidrostatik basıncı* denir.



Şekil 1.

Demek ki, bütün moleküller kendi ağırlıklarıyla kabın dibinde faaliyet gösterirler, böylelikle kendi ağırlıklarıyla basınç yaratırlar. Eğer sıvı (şekil 1) eşit ve daha büyük sayıda tabakalara ayrılmışsa 1, 2, 3 vb. en üst tabaka (1. tabaka) yerçekimi kuvvetinin etkisi altında 2. tabakaya basınç yaratır. Paskal Kanunu'na göre, bu basınç aşağıda bulunan bütün tabakalara da etki yapar. Ne daha aşağıda bulunan tabakalar, daha büyük basınç altında bulunurlar.

Hidrostatik basınç, bir yatay alanındaki bütün noktalarda eşittir. Sıvı içerisinde eşit hidrostatik basınçla noktaların geometrik yerleri *seviye alanları* yaratır.

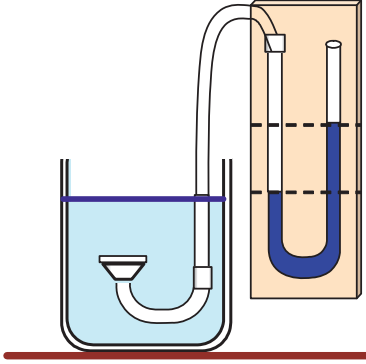
$p = 0$ olduğu sıvının serbest alanından başlanarak, hidrostatik basınç fazla artmaktadır. En büyük şiddeti kabın dibinde elde eder.

Sıvının kendi ağırlığı neticesinde ve Paskal Kanunu'na uygun olarak kabın dibinde basınç en şiddetlidir.

Paskal Kanunu'na uygun olarak basınç sadece kabın dibinde görülmez. Sıvı içerisinde *hidrostatik basınçlar* adı altında şu basınçlar yer alır: yan ve yanal basınç, kabın dibine yönelik basınç ve yukarıya doru yönelik basınç.

9. Fluidler mekaniği

Sıvının bir seviye alanındaki (aynı derinlikteki) bütün taraflarında bulunan hidrstatik basınç eşit olduğunu şekil 2'de gösterilmiş deneyden öğrenebiliriz:



Şekil 2.

Sıvı kolonların derinliğiyle hidrostatik basıncın değişme kanununu şekil 3'ün yardımıyla elde edeceğiz.

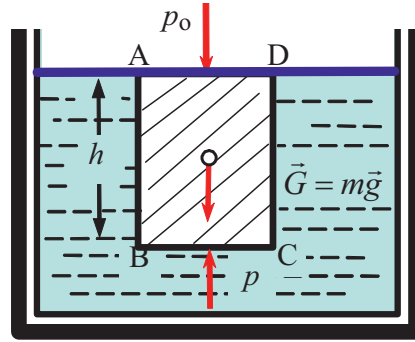
İlkönce ABCD silindir şeklindeki elemanı sıvıdan ayırt edeceğiz. Bu elemanın yüksekliği h

ve S kesiti vardır. Paskal Kanunu'na göre ayrılmış elemanın kenarlık baskısı büyüklüğüne göre eşit ve yönlerine göre zıt olurlar. Demek ki, ABCD elemanına şu güçler etki yapıyor:

$F_1 = S p_o$ üst alana basınç yapan güç, p_o atmosfer basıncıdır;

Sıvı sütüne yerçikimi ise $\vec{G} = m\vec{g}$;

$F_2 = S p$ alt alana basınç yapan güç.



Şekil 3.

\vec{F}_1 ve \vec{G} kuvvetlerinin yönü ve doğrultusu aynıdır, \vec{F}_2 kuvvetinin ise doğrultusu aynıdır yönü ise terstir. Bu kuvvetler dengede dir.

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{G} = 0 \text{ yani } S p = S p_o + m g. \quad (1)$$

Son denklemde sıvı sütununun kütlesi $m = \rho V = \rho h S$ ve S ile bölerek, h derinliğinde hüküm süren basınç:

$$p = p_o + \rho g h. \quad (2)$$

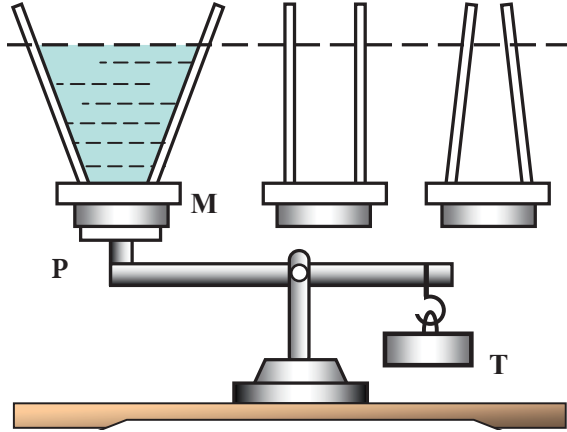
Eğer hidrostatik basıncı atmosfer basıncından çok büyükse $p \gg p_o$ denklem (2) şöyle yazılır:

$$p = \rho g h. \quad (3)$$

Denklem (3) tüm basınçlar için geçerlidir, hidrostatik basıncı kabın şekline bağlı değildir onun derinliğine bağlıdır.

9. Fluidler mekaniği

Bundan dolayı kabın dibinde sıvının yarattığı güç sıvının miktarına bağlı değildir, yani sadece sıvının kabdaki uzunluğuna ve kabın alanına bağlıdır. Hidrostatik basıncı serbest yüzeyin belli derinliğinde sabittir ve denklem (3) ile belirlenir ve hidrostatik paradoksu denen olaya dayanır.



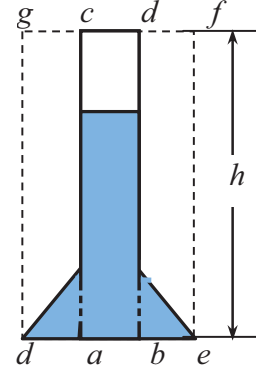
Şekil 4. Hidrostatik basıncı kabın şekline bağlı değildir. Hidrostatik paradoksu.

Hidrostatik paradoksu Şekil 4'teki araçlarla gösterilebilir. Bir teraziden oluşmuştur ve kanadında plak P bulunur. İkinci kanda ağırlık T konulursa plak P yere dokunacaktır. Cam boruları M kapağı ile iyice kapatılır ve borular suyla doldurulur. Tüm üç olayda su seviyesi aynıdır.

F kuvveti kabın dibine etki eden hidrostatik basıncın ve kab dibinin yüzeyi çarpımına eşittir:

$$F = p S = \rho g h \cdot S$$

Basıncı kuvveti kabın dibine etki eden büyüklük olarak dikey sütunun ağırlığına eşittir.



Şekil 5.

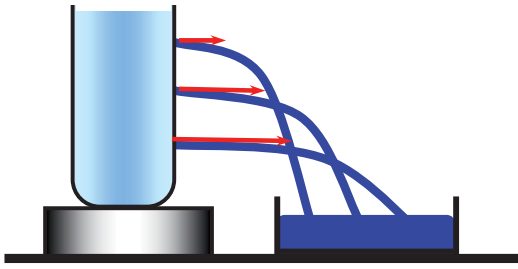
Şekil 5'te ab yüzeyinin dibine basınç etki eder $p=\rho gh$. Paskal kanununa göre aynı basıncı da ve be yüzeylerinin vardır. Hidrostatik basınç kuvveti $F=pS$ tüm kab dibine de etki eden sıvının dikey sütunu ile eşit olacaktır $defg$ ($hS = V_{defg}$). Bu kuvvet sıvının kabda oluşturduğu kuvvetten büyüktür, Şekil 5.

Şekil 5'te kabın ince borusu iyice incelenir, o anda az miktarda suyla kabın geniş dibine büyük basınç yapabilir.

Sonunda, son sonuca bağlı olarak bir ilginç olaydan bahsedelim: Paskal 1648 yılında fiçi içine ince ve evinin ikinci katına uzanan boru koymuştu, ince boruya bir bardak su dökerek fiçi ve boruyu yokedebilirmiş.

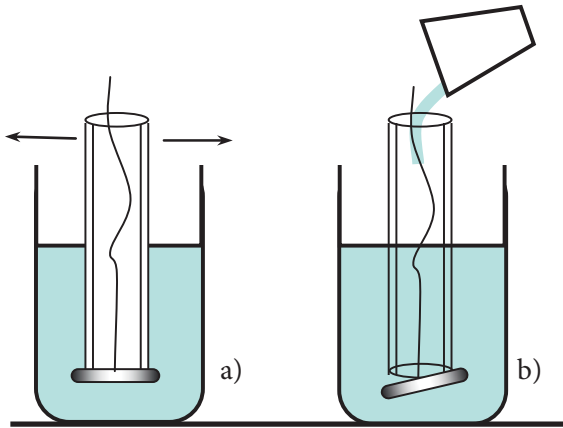
Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Nasıl ifade edersiniz, sıvının farklı katman yüzeylerinde hidrostatik basıncı farklıdır, aynı katman yüzeyinin her yönünde hidrostatik basıncı aynıdır.



Şekil 6.

2. Şu deneyi yapınız (Şekil 6.). Yüksek silindirik kabda farklı yüksekliklerde birkaç boşluk bulunur. Kabı suyla doldurduğunuz zaman ne görebilirsiniz? Neden püsküren su miktarları farklı uzunlukta dırlar?



Şekil 7.

3. Şu deneyi yapınız. Yüksek silindirik kab (boru) dibi çıkarılabilen, diğer geniş bir kabda gömün (Şekil 7a.). Boruyu eğik duruma getirin. İnce kaba su doldurun onun dibi sökelene kadar (şekil 7a.). İnce borunun dibi söküldüğü zaman? Bu deneyle ne gösterdiniz?

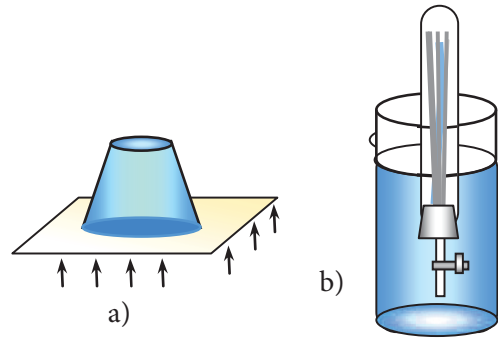
4. Paskal kanununu şu örnekte deneyin. Yarıçapı 0,30 m olan fiçi içine yarıçapı 0,30 cm olan dikey boru 12 m yüksekliğinde konulmuştur. Hesaplanın: a) suyun kütlesi b) fiçinin dibindeki kuvvet. Su boruda değilse fiçi içine bulunursa basınç kuvveti nekadardır?

(Cevap. $m=0,34$ kg, $p=1,5 \cdot 10^4$ N)

9.4. ATMOSFER BASINCI

Yerküre etrafındaki hava katmanına *atmosfer* denir. Gravitasyon kuvvetleri etkisi yüzünden o Yerküre etrafında döner. Atmosferi oluşturan hava kütleleri basınç yaparlar bu basınca atmosfer basıncı denir. Atmosfer basıncı Yerkürenin etrafında en büyüktür. Atmosfer basıncının doğası hidrostatik doğasına benzer.

Atmosfer basıncının etkisi sayıca deneylerle gösterilebilir. Bunlardan bazılarını gösterelim. Suyla dolu bardak üzerine beyaz kalın kağıt konulur, eğer kağıt bardak kenarlarına tam yapışmışsa ve bardağı tam çevirdiğimiz zaman kağıt ondan ayrılmaz, su da bardaktan dökülmez (Şekil 1a).

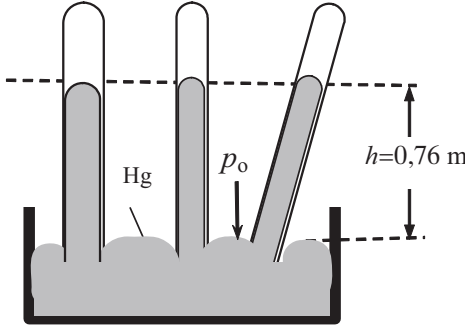


Şekil 1.

İkinci deney: tıpa ile kapalı uzun boru alınır. Boru tıpa bulunan kenarı tarafı suyla dolu daha geniş bir boru için batırılır. Tıpa açıldığı zaman geniş boruda bulunan su püskürerek ince boruya girer (Şekil 1b). Suyun boruya girmesi olur çünkü çevrenin atmosfer basıncı ince borudaki basınçtan büyüktür.

Atmosfer basıncının büyüklüğü deney olarak Evangelist Toriçeli (1608-1647) tarafından belirlendi. Bu amaç için cam borusu 1 m yüksekliğinde kullanılır, bir tarafı kapalıdır ve içi cıva ile doludur.

9. Fluidler mekaniği



Şekil 2. Toriçeli deneyi

Dolu olan boru parmak yardımı ile kapatılır ve ters çevrilerek ve daha geniş kaba batırılır. Eğer deney sıfır metre deniz yüksekliğinde gerçekleştirilirse borudaki yükseklik $h=0,760$ m düşer, Şekil 1. Bu durumda ince borudaki hidrostatik basıncı dışarıdaki atmosfer basıncı ile eşittir p_o .

Normal atmosfer basıncı olarak deniz seviyesi (sıfır metre yükseklik) ve sıcaklığı 0°C ($273,16$ K) ve coğrafi genişliği 45° alınır: $p_o = \rho gh$

$$p_o = 13,6 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3} \cdot 9,81 \text{ ms}^{-2} \cdot 0,76 \text{ m} = 101396 \text{ Pa,}$$

burada $\rho = 13,6 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ cıvanın yoğunluğunu oluşturur. Bununla 1 mm Hg sütununa ne kadar basınç uygundur hesaplanır.

$$1 \text{ mm Hg} = 133 \text{ Pa.}$$

Basıncı ölçmek için birde birim olarak milibar (1mbar).

$$1 \text{ mbar} = 10^2 \text{ Pa (1 hetopaskal)}$$

Atmosfer basıncı deniz üstü yüksekliğine ve coğrafi genişliğine bağlıdır. Deniz üstü yüksekliği büyük olan atmosfer basıncı küçüktür. Basıncın azalması iki nedenden ötürü olur: daha büyük yükseklikte hava katmanının kalınlığı küçüktür ve yoğunluğu da küçüktür. Böylece 5,4 km Yerkürenin yüksekliğinde hava yoğunluğu 2 defa Yerküre üzerindeki yoğunluktan daha küçüktür, 11 km de 4 defa daha küçüktür ve sayı.

Deneyimlerden faydalanarak basıncın azalması hava neminin yükselmesinden kaynaklanır. Hava nemli olduğu zaman hava ve su buharı daha yoğundurlar, atmosfer basıncı ise azalır. Atmosfer basıncın aynı yerde sabit değeri yoktur, sürekli değişir. Atmosfer basıncı hava değişikliği için önemli bir göstergedir ve sürekli ölçülür.

Canlı dünyanın uymuş olduğu $101,3$ kPa atmosfer basıncı pek büyük görülmemektedir.

Oto Gerike (Otto von Guericke, 1602-1686) Magdeburg'da 1621 yılında atmosfer basıncın etkisini kanıtlamak için, Yena şehri yakınında deney yapmıştır. İki yarım küre alıp onları birleştirdiği zaman küre şeklini alır. Yarım kürelerden birinde vana bulunur. Toplar birleştirilir ve çabuk ayrılırlar, yarım küreler birleştirilip ve vanadan pompa yardımı ile hava çıkarılır, düşük basınçtan ötürü yarım küreler zor açılır yada açılmazlar. Bunu denemek için herbir tarafta dört çift at getirmiştir. Kürenin açılması okadar basittir sadece vana ile biraz hava içrisine salınır ve basınçlar eşit olunca kolayca açılırlar.



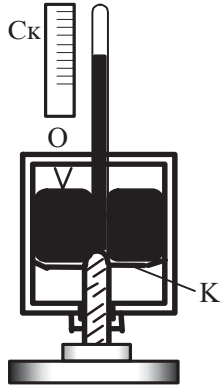
Şekil 3. Magdeburg yarım topları

Magdeburg topları için daha geniş bilgiyi şu internet adresinde arayın:

<http://spot.fho-empden.de/pt/experinent/magdeburg1.htm>

9.5. BASINCIN ÖLÇÜLMESİ

BAROMETRELER. Atmosfer basıncını ölçmek için kullanılan enstrümanlara barometreler denir. Barometreler yapısına göre ikiye ayrılırlar: *cıvalı* barometreler ve *metal* barometreler.



Şekil 1. Forten barometresi

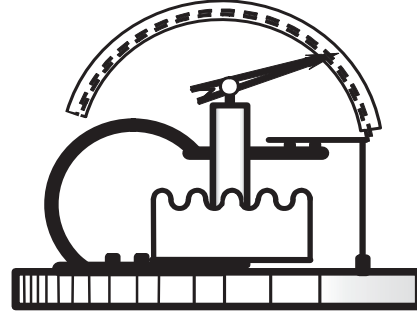
Cıvalı barometreler toriçeli deneyi prensipine göre çalışırlar. **Forent barometresinde** (Şekil 1.) cıva ile dolu kab bulunur, vint yardımı ile kabın dibi ayarlanır ve membrane (K) yakın bulunur. Basıncı okurken cıva seviyesi her zaman aynı işarette bulunur. Fildişinden yapılmış O indeksi, enstrümanın sıfır durumunu teşkil eder.

Metal barometreler yada aneroidler. Vidie barometresi (Şekil 2.). Öyle denilen aneroidler, metal barometrelerden daha az doğru değildirlir. Örneğin, **Viddi barometresi** öyle bir araçtır (Şekil 2).

Bu barometrede havası çıkarılmış metal kutu ve ince dalgalı membran ile kapatılmıştır.

Bu kutunun kapağının ortasında yenlik kaldırma sistemi ile ok bağlıdır. Membrane basınç değiştiği zaman ok durumunu değiştirir ve basın-

cın değeri ona uygun olan merdivenden okunur. Bunlarda bazılarında iki merdiven bulunur biri barometre basıncını gösterir diğeri ise deniz üstü yüksekliğini gösterir.



Şekil 2. Vidie barometresi

Zamanla basıncın değişimini yakalamak için *barograflar* kullanılır, değerler özel mekanizma yardımı ile şeride yazılır.

MANOMETRELER. Sıvıların ve gazların basınçları *manometre* denen enstrümanlar yardımı ile ölçülür. Manometreler yapısına göre ikiye ayrılırlar: sıvılı manometre ve metal manometre.

Atmosfer basıncına yakın olanlar için *açık manometreler* kullanılır. Daha büyük basınçları ölçmek için *kapalı manometreler* kullanılır. Manometrelerde cıvadan mada, su ve alkol kullanılır.

Su ile manometreler cam borularından yapılmış U şeklinde dir.

Şekil 1a'da açık manometre gösterilmiştir ve atmosfer basıncın p_o ve ölçülen basıncın p farkını verir.

Şekil 1a'da açık manometre gösterilmiştir ve atmosfer basıncın p_o ve ölçülen basıncın p farkını verir. U borunun bir tarafı ölçülen sisteme bağlanmıştır. Bu sistem baskıyı ölçmektedir. Manometrenin diğer tarafı ise açıktır ve doğrudan p_o atmosfer basıncı etki yapmaktadır.

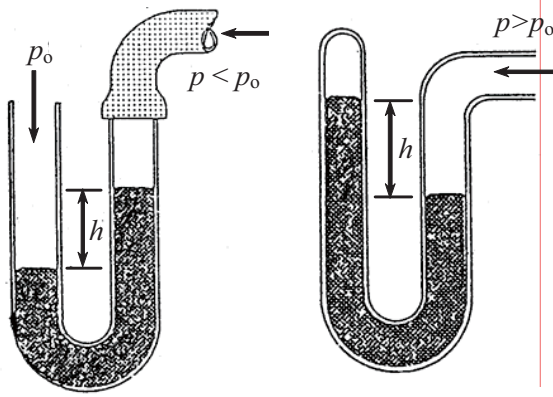
Eğer p_o ve p basınçları eşitseler, o zaman U borunun her iki tarafındaki sıvısı bağlı kablara için kanununa göre aynı seviyededir.

9. Fluidler mekaniği

Atmosfer basıncı p_0 ile ölçülen basınç p arasında fark varsa sıvı borunun bir kenarında yükselir yada iner. Bu esnada denge şöyle kurulur:

$$p = p_0 \pm \rho gh \quad (3.4.1)$$

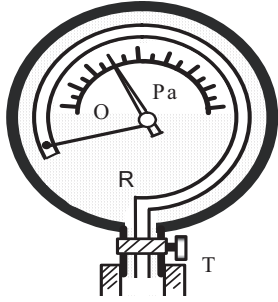
ρ sıvının yoğunluğu dur.



Şekil 3. Manometreler. a) açık ve b) kapalı manometreler.

Kapalı manometreler Boyl-Mariot kanunu üzere çalışır.

Metal manometreler atmosfer basıncına yakın yada yüksek basınçları ölçerler. Bunlarda en çok rastlananlar: *borulu manometre ve membranlı manometre*.

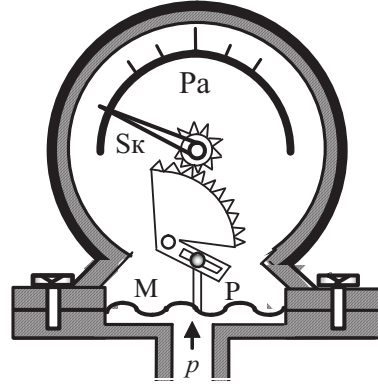


Şekil 4. Bükülmüş borulu manometre

Borulu manometreler bükülmüş R borusundaki oluşan elastik deformasyonuna dayana-

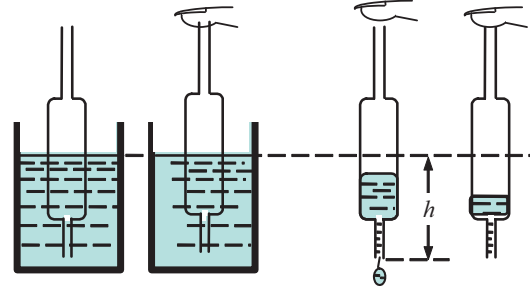
rak çalışır. T vanası ile basıncı ölçülecek çevre ile bağlıdır (Şekil 4.).

Membranlı metal manometre Şekil 5'te gösterilmiştir. Bu manometrelerde basıncın etkisi membrane taşınır ve uygun yapılan sisteme göre P akrepine bağlıdır.



Şekil 5. Membranlı metal manometresi

Sorular, ödevler, etkinlikler

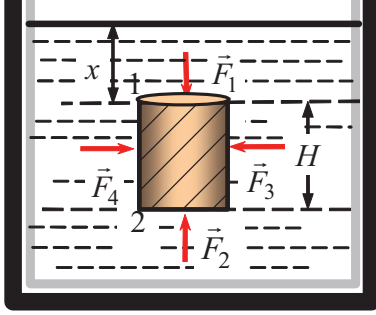


Şekil 6.

1. Atmosfer basıncı deniz üstü yüksekliğe bağlı mıdır?
2. Pipet borusu yardımı ile taşınma fonksiyonun Şekil 6'deki deney yapıp açıklayınız.
3. Sulu barometre 1646 yılında Paskal tarafından yapılmıştır. Atmosfer basıncı 760 mm Hg olan su sütununun yüksekliği nekadardır? (Cevap. 10,3 m)

9.6 KALDIRMA KUVVETİ. ARŞİMET KUVVETİ

Kaldırma kuvveti yüzünden fluitte batırılan cisim kendi ağırlığından atılmış sıvı ağırlığı kadar kaybeder.



Şekil 1.

Bu amaç için Şekil 1'de düzgün şekli olan cisim sıvıyla dolu kab için batırılmıştır, ρ sıvı yoğunluğu dır. Cisim sıvı yüzeyinden x uzaklıkta bulunur ve her tarafına basınç etki eder. Yan taraflarına etki eden basınçlar ters yönlü oldukları için birbirlerini yokederler. Cisme yukardan etki eden kuvvet:

$$F_1 = p_1 S = \rho g x S; \quad (1)$$

aşağı tarafında etki eden kuvvet:

$$F_2 = p_2 S = \rho g (x+H) S. \quad (2)$$

p_1 ve p_2 kuvvetlere uygun basınçlar dır seviye 1 ve 2, S cismin taban yüzeyi dir. Basınçlar:

$$p_1 = \rho g x \quad \text{ve} \quad p_2 = \rho g (x+H).$$

Kuvvetler denklem (1) ve (2) ile verilenler eşit olmadıkları için, basınçlar da $p_2 > p_1$ eşit değildir cisme bileşke kuvveti etki eder (Arşimet kuvveti):

$$F = F_2 - F_1 = \rho g H S, \quad (3)$$

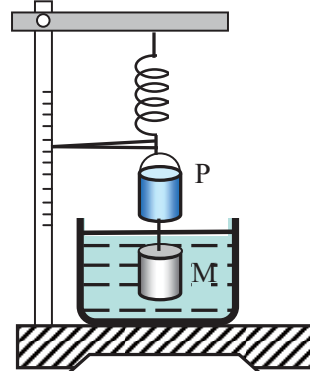
$$F = \rho g V, \quad (4)$$

$$F = mg, \quad (5)$$

burada $V=SH$ cisim tarafından atılmış sıvı hacmini verir, kütlesi $m=\rho V$ ve ρ yoğunlu dur. Kaldırma kuvveti büyüklük olarak atılan sıvının ağırlığına eşittir ve hacmi cismin sıvıda batmış olduğu hacmine eşittir. Kaldırma kuvveti cismin kütle merkezinden yukarıya doğru yönlüdür.

Fluidlerde batırılan cisimlere kaldırma kuvveti nekadardır, bu fluidlerin doğasına ve batırılan cismin hacmine bağlıdır.

Şekil 2'de gösterilen deneyde, yaya boş silindir P ve ağırlık M bağlı bulunur. Ağırlık suya batırıldığı zaman kaldırma kuvvetin etkisinden yay biraz toplanır. Yay akrepi ağırlık suya batırılmadan önce duruma gelmek için boş silindir aynı suyla doldurulur. Ağırlık suda kaybettiği ağırlığı kadar silindirde su miktarı doldurulmuştur.



Şekil 2.

Sıvıların yoğunluğu gazların yoğunluğundan daha büyük olduğu için Arşimet kanunun sıvılarda daha geçerli olmasıdır. Bununla ilgili deyim şöyle dir "**tüm cisimler suda dah yenlik olurlar**".

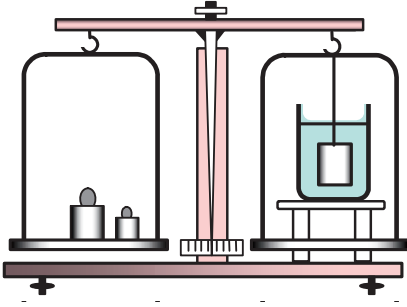
Cisim fluitte batırılmış olduğu zaman ona iki kuvvert etki eder: Yerçekim kuvveti ve Arşimet kuvveti.

9.7. YOĞUNLUĞUN BELİRLENMESİ

Arşimet kanununa göre katı cisimlerin ve sıvıların yoğunluğunu ölçmek için araçlar yapılmıştır, örneğin aerometre, Mor terazisi, piknometre ve sayı.

Arşimet kanunuyla hacımı düzgün olmayan cisimlerin yoğunluğunu ölçülür.

Hidrostatik terazisi (Şekil 3.) teknik terazisi gibi kullanılır. Bir tarafında yoğunluğu ölçülen cisim asılır alt kısmında küçük sandaliye konularak, onun üzerine de bardak suyla dolu konulur.



Şekil 1. Hidrostatik terazisi

İlk önce cismin kütlesi ölçülür m , sonradan su içine konularak kütlesi ölçülür m_1 .

Arşimet kanunu cisme etki eder:

$$M_v g = mg - m_1 g.$$

Buna göre atılmış hacmin kütlesi $M_v = m - m_1$. Onun hacmi $V = M_v / \rho_o$ okadar da cismin hacmidir, cismin yoğunluğu için şunu elde ederiz:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{M_v} \rho_o = \frac{m}{m - m_1} \rho_o, \quad (6)$$

ρ_o suyun yoğunluğu ölçme esnasındaki sıcaklıkta.

Laboratuvar şartları altında katı cisimlerin ve sıvıların yoğunluğu *piknometre* ile belirlenir, piknometre cam şişesini oluşturur (Şekil 2). Bir cismin yoğunluğunu ρ belirlemek için ilk önce analitik terazisi ile kütlesi m bulunur.



Şekil 2. Piknometre

Sonra suyla dolu piknometre kütlesi m_1 ölçülür, üçüncü ölçüme ise piknometre ve cismin kütlesi m_2 ölçülür. Cismin yoğunluğu:

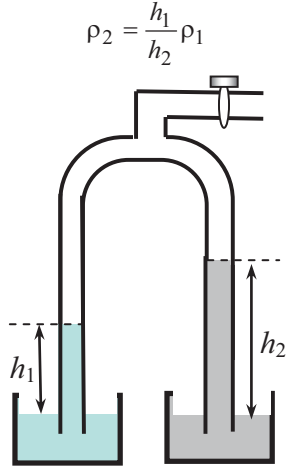
$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{(m + m_1 - m_2) / \rho_o} = \frac{m}{m + m_1 - m_2} \rho_o$$

cisim tarafında atılmış su kütlesi $(m + m_1 + m_2)$ suyun yoğunluğu ρ_o ile bölünürse

$$V = \frac{m + m_1 - m_2}{\rho_o}.$$

Farklı cisimlerin yoğunluğunu ölçmek için **hidrometre** kullanılır (Şekil 3.). Birleşen iki cam borusundan oluşmuştur (Şekil 3) gösterildiği gibi. Piston K yardımı ile gazın basıncı sıvılara göre azaltılır, o anda her iki boruda sıvılar yükselir. Sıvıların hidrostatik basınçları borularda aynı olacak $\rho_1 g h_1$ ve $\rho_2 g h_2$.

Eğer birinci sıvının yoğunluğu bilirse yükseklikleri ölçüp ikinci sıvının yoğunluğu belirlenir. Daha doğrusu $\rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2$



Şekil 3. Hidrometre

ρ_1 ve ρ_2 sıvıların yoğunlukları ve h_1 ve h_2 borularında sıvıların yükseklikleri

9.8. CİSİMLERİN YÜZMESİ VE ONLARIN SIVILARDAKİ İSTİKRARI

Katı cisim sıvıda batırılırsa, cisme iki ters yönlü kuvvet etki eder. Onlar da Yerçekimi kuvveti ve Arşimet kuvveti dirler. Bu kuvvetlerin bileşke kuvvetine bağlı cisimler sıvıda yüzer, uçar yada sıvının dibinde batar. Örneğin, bir parça demir suya batıyor, fakat cıva içerisinde yüzebilir.

Cisim sıvıda batmış bulunursa ona etki eden kuvvetler Yerçekimi ağırlığı G Arşimet kuvvetinden A büyükse

$$G > F_A \quad (1)$$

cisim batar. ρ cismin yoğunluğu olsun ρ_0 sıvının yoğunluğu dur buna göre Yerçekimi ağırlığı $G = mg = \rho Vg$ ve Arşimet kuvveti $F_A = m_0 g = \rho_0 Vg$ elde edilir

$$\rho Vg > \rho_0 Vg \quad \text{yani} \quad \rho > \rho_0 \quad (2)$$

Bundan şunu kararlaştırırız *cisim suda dalmışsa ve onun yoğunluğu sıvının yoğunluğundan büyükse cisim suda batacaktır.*

Cisim uçar eğerki Yerçekimi ağırlığı Arşimet kuvvetine eşit olduğu zaman, daha doğrusu $G = F_A$ böyle olayda $\rho = \rho_0$ cismin yoğunluğu ve sıvının yoğunluğu eşittir.

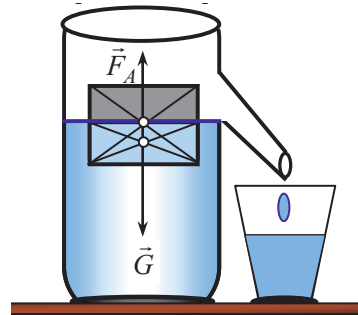
Cisim yüzer eğer ki Arşimet kuvveti yerçekimi ağırlığından büyükse,

$$F_A > G \quad (3)$$

Daha doğrusu su içinde batan cisim su üzerine çıkar eğer ki cismin yoğunluğu sıvının yoğunluğundan küçükse ($\rho < \rho_0$).

Denge şartları esnasında Arşimet kuvvetin etkisi ve Yerçekimi ağırlığı çakışır. Arşimet kuvveti kütle merkezinden atılmış sıvıya etki eder, yerçekimi ağırlığı cismin ağırlığına etki eder.

Bundan dolayı sıvının yoğunluğundan daha az yoğun olan batırılmış cisim sıvının içerisinde dikey yönde yukarıya doğru hareket edecektir. Sıvının üst alanına yetiştiği zaman Arşimed kuvveti azalmaya başlar. Doğal ki Arşimed kuvvetin dünya yerçekimi kuvvetiyle eşitlenmesine kadar cisim yukarıya doğru çıkacaktır. Denge şartları altında Arşimed kuvvetin ve dünyanın yerçekimi yönleri çakışır. Arşimed kuvveti, batırılmış sıvının kütle merkezinde faaliyet gösterir. Dünya yerçekimi ise cismin ağırlık merkezinde etki yapar.

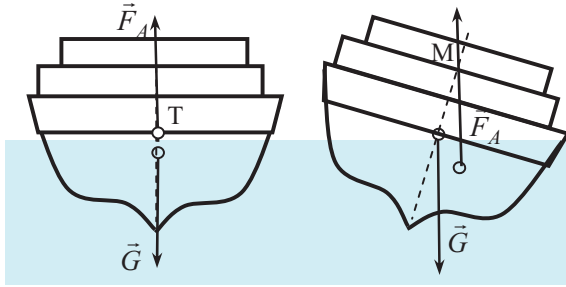


Şekli 1.

9. Fluidler mekaniği

Demek ki, cisimden bastırılmış sıvının ağırlık büyüklüğü cisme etki yapan dünya yerçekiminin kuvvetiyle eşit olmalıdır. Suyla dolu bir kabda (Şekil 1.) cisim daldırılır öyle ki yüzer ve onun ağırlığı bilinir. Cisim kendi ağırlığı ile suyun bir kısmını kaldıracak. Eğer kaldırılan sıvının ağırlığı belirlenirse göreceğiz ki cismin ağırlığına eşittir.

Suda yüzen cisimler istikrarlı olmak için onlara özel şekiller verilir. Bunlar en çok ortalama yoğunluğu sudan büyük olan malzemeden yapılırlar. Böyle cisim suyun yüzeyinde bulunmak için Yerçekimi ağılık kuvveti suda dalan cisim ve kaldırdığı suyun ağırlığına eşittir. Bundan dolayı yüzen cisimler büyük hacimli yapılırlar.

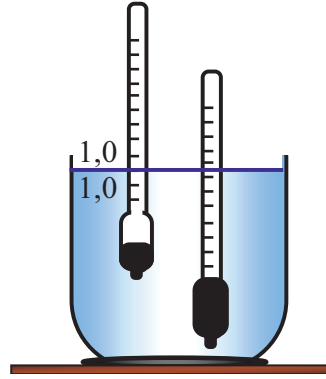


Şekil 2.

Sakin yüzen gemi, Arşimet kuvvetinin darbe noktası P ağırlığı T altında bulunur, (Şekil 2a.) O anda yerçekimi kuvveti ve Arşimet kuvveti aynı doğrultuda bulunurlar fakat farklı yöndedirler ve birbirini yok ederler. Eğer rüzgar ve dalgalar gemiyi (Şekil 2b.) eğri duruma düşürürler o zaman darbe noktaları yerdeğişimi yaparlar. Arşimet kuvveti ve yerçekimi kuvveti farklı doğrultularda buldukları için döngü momenti oluştururlar gemiyi önceki duruma getirmek için.

Gemi eğik durumda bulunurken Arşimet kuvveti geminin merkezinden geçen simetrisini keser ve oradaki **nokta metamerkezi M oluşturur**. Gemi eğik durumda da olsa istikrarlı yüzecek o ana kadar metamerkez noktası M ağılık noktası T üzerinde bulunana kadar. Meta noktası M ağılık noktası altında geçince gemi devrilir. Denk merkezi ağılık merkezinin altına geldiğinde vapur kararsız dengede bulunur ve batır. İstikrarın daha büyük olması için denk merkezi cismin ağırlık merkezinden daha yüksek olmalıdır.

Aerometre. Arşimet kanununa göre daha doğrusu yüzme kanununa göre aerometre çalışır. Bu araç yardımı ile hızlı ve basit olarak sıvıların yoğunluğu ölçülür.



Şekil 3.

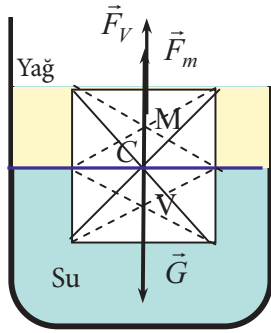
Yüzmenin genel şartlarına uygun olarak: cisme etki yapan dünya yerçekimi kuvveti büyüklüğe göre sıvının ağırlığıyla eşittir. Aerometre kapalı cam borusunu oluşturur. Batırılan kısım öyle yapılmıştır ki kaldırılan sıvı kütlelerinin merkezi cismin ağılık noktasından daha yüksekte bulunur. İstikrarlı denge elde etmek için cam borusu kuğun parçalarla desteklenir.

Silindir kısmına merdiven bulunur yoğunluk birimleri okunur.

Pratikte iki türlü aerometreler kullanılır. Birinci aerometre türü Şekil 3'te verilmiştir küçük yoğunlu sıvıların yoğunluğunu ölçmek için amaçlandırılmış. Nokta 1 burada 4°C sıcaklıkta suyun yoğunluğuna 10^3 kg/m^3 uygundur.

İkinci aerometre türü suyun yoğunluğundan daha büyük sıvıların yoğunluğu ölçmek için amaçlandırılmıştır.

ÖRNEK 1. Suyla dolu kabda paralelogram şeklinde odundan cisim yüzer. Su üzerinde yağ serpilir, cismin su üstündeki kısım yağ ile aynı yükseklikte dir.



Cismin suda ve yağdaki yükseklik oranı nekadardır. Odunun yoğunluğu $\rho_d = 784 \text{ kg/m}^3$, yağın $\rho_m = 676 \text{ kg/m}^3$ ve suyun $\rho_v = 10^3 \text{ kg/m}^3$ dür.

Çözüm: Denge durumunda paralelogram cismin kütle merkezinde C yerçekimi ağırlığı kuvveti G etki eder, yağ kısmındaki kütlelerin merkezinde M kaldırma kuvveti F_m etki eder ve sudaki kısmın merkezine V noktasına kaldırma kuvveti F_v etki eder. Tüm kuvvetler aynı doğrultuda bulunurlar:

$$\begin{aligned} G &= F_v + F_m, \quad G = g\rho_d(V_v + V_m) \\ g\rho_d(V_v + V_m) &= g(\rho_v V_v + \rho_m V_m) \\ \rho_d(h_v + h_m) &= \rho_v h_v + \rho_m h_m \end{aligned} \quad (1)$$

cismin suda V_v ve yağdaki hacimleri V_m . Denklem (1)'den istenilen oran

$$\frac{h_v}{h_m} = \frac{\rho_d - \rho_m}{\rho_v - \rho_d} = \frac{784 - 676}{1000 - 784} = \frac{108}{216} = 0,5.$$

Örnek 2. Buz parçası deniz yüzeyinde üzer. Buzun sudaki hacmi $V_1=200 \text{ m}^3$ tür. Buzun tüm hacmi hesplansın eğer buzun yoğunluğu $\rho_1=0,9 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, suyun yoğunluğu $\rho_2=1,03 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

Çözüm: Eğer sudaki hacim V_1 ise toplam hacim V olsun. Su üzerindeki hacim $V_2=V-V_1$. Buz yüzüdüğü zaman

$$F = F_A$$

burada F_A Arşimet kuvveti dir.

$$V\rho_1 g = (V - V_1)\rho_2 g, \quad V(\rho_1 - \rho_2)g = V_1\rho_2 g$$

$$V = V_1 \frac{\rho_2}{\rho_1 - \rho_2}; \quad V = 1584 \text{ m}^3$$

Sorular ve ödevler

1. Hacmi $1,6 \text{ m}^2$ olan taşın kaldırma kuvveti hesaplınsın. Suyun yoğunluğu $\rho=1030 \text{ kg/m}^3$.

(Cevap. $16\,480 \text{ N}$)

2. Havada bir cisme Yerçekimi kuvveti 20 N değeri ile etki eder, suda ise $18,25 \text{ N}$ değeri ile etki eder. Cismin yoğunluğu hesaplınsın eğer ki o altın veya gümüşten dir. Yoğunluklar $\rho_{Au} = 20\,000 \text{ kg/m}^3$, $\rho_{Ag} = 10\,000 \text{ kg/m}^3$.

(Cevap. $16\,0001 \text{ kg/m}^3$; Au: $1,5 \text{ kg}$ ve Ag: $0,5 \text{ kg}$)

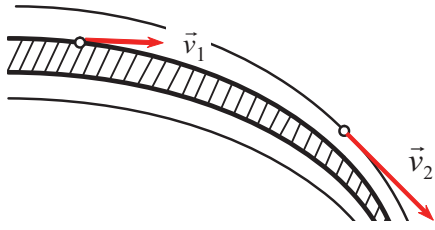
3. Kalınlığı $0,35 \text{ m}$ olan platformun en küçük alanı bulunsun, 70 kg ağırlıkta insan su üzerinde dursun, platformun yoğunluğu 900 kg/m^3 , suyun yoğunluğu 1000 kg/m^3 . Tüm platform su yüzeyinin altında yüzer. (Cevap: $m_1 g + m_2 g = F_A$, nerde ki $m_2 = \rho_2 V$ platform kütlesi dir, ρ_2 platform yoğunluğu dur $m_1 g + m_2 g = F_{pot}$,

$$V = \frac{m_1}{\rho_o - \rho_2} = 0,7 \text{ m}^3, \quad S = \frac{0,7 \text{ m}^3}{0,35 \text{ m}} = 2 \text{ m}^2.$$

9.9. İDEEL FLUIDİN SABİT HAREKETİ. SÜREKLİLİK DENKLEMİ

Fluidlerin hareketini araştırırken ideal fluidlerde sınırlanım çünkü onlarda iç sürtünme kuvvetleri göz önüne alınmaz kadar küçüktür. İdeal fluidler sıkışmayan fluidlerdir ve hareketi esansında yoğunluğu değişmez, onların yoğunluğu basınca bağlı değildir. Eğer ideal fluidlerin hareketi zamana bağlı olmayan dış kuvvetleri etkisinden ötürü yapılırsa, sıvıda sabit bir durum kurulur. Bu şartlardaki hareket hız vektörünün büyüklüğü ve yönü, ardısıra gelen parçacıkların verilen sıvının noktasında, zaman akışıyla değişmez.

Parçacıkların hareket ettikleri yörüngeler *akım çizgileri* gibi temsil edilmiştirler. Akım çizgilerin yoğunluğu hızla orantılıdır. Verilen noktada parçacığın hızı teğet doğrultusunda dır (Şekil 1).



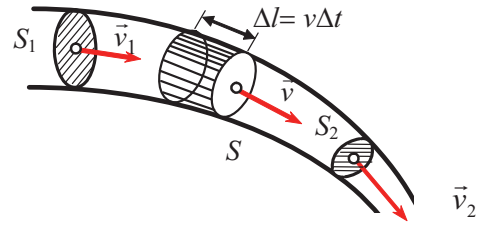
Şekil 1.

Akım çizgileri ile sınırlanan sıvının bir kısmı *akım borusunu* oluşturur. Hareket sabit olduğu zaman parçacıklar akım borusunun sınırlarında dışarı çıkmazlar. Bu harekete *katmansal* denir, eğer öyle değilse *çalkantılı hareket* oluşur.

Akım borusunda (Şekil 2) bir kesit alınсын nerde ki hareket vektörü ona normal gelir ve tüm noktalarda sabit değeri var. Sıvının hacımı $\Delta V = S \Delta l$ (Δl uzunluk, S kesit yüzeyi) ve akım borusunda zaman biriminde akıyor, buna *sıvı akışı* Q denir. Bu fluidin hızına ve kesitin yüzeyinin çarpımına eşittir:

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = S \frac{\Delta l}{\Delta t} = vS, \quad (1)$$

Nerde ki $v = \frac{\Delta l}{\Delta t}$ ve hızı temsil eder



Şekil 2.

Sıkışmayan fluid aynı zaman aralığında Δt , herhangi bir kesitte S_1 veya S_2 (Şekil 2.) sabit akışı vardır:

$$S_1 v_1 = S_2 v_2 = \dots = S_n v_n, \quad (2)$$

S_1 ve S_2 kesitlerinin hızları v_1 ve v_2 . Genel olarak şöyle yazılır:

$$Sv = \text{const.} \quad (3)$$

İdeal fluid akım borusunun herhangi bir kesitinde sabit akımda, belli zaman aralığında sabit hacim akar.

Denklem (3) *süreklilik kanununun* matematiksel denklemidir, *boru kesiti daha küçük olduğu yerde ideal fluid hızı daha büyüktür*, tersi de geçerlidir.

Buna göre örnekler, aşı esnasında ilaç iğnesinden hızlı akıyor onun bastırma pistonundan.

Örnek 1. İtfaiye borusundan su akıyor. Bir kısmı serbestir ve dairesel kesiti var, ikinci kısmın ise kare şeklindedir. Borunun birinci ve ikinci kısmı için akış esnasında hızların oranı ne kadardır?

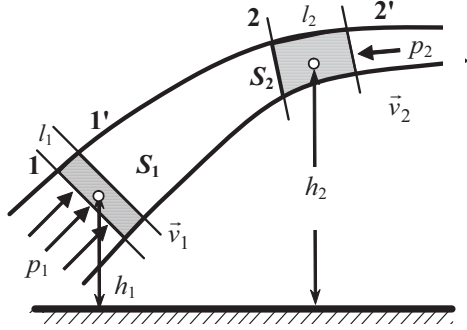
Çözüm: İlk önce alanlar bağlantısı aranılır. Denk-

$$\text{lem (2)'den } \frac{S_1}{S_2} = \frac{v_2}{v_1}; \quad \frac{v_2}{v_1} = \frac{4}{\pi} = 1,27.$$

9.10. BERNULİ DENKLEMİ

Bernuli denklemi ideal fluidin sabit akımında enerji korunum kanunu ifade etmektedir.

İnce ve değişken yüzeyli boru, yatay düzlemde belli açı üzere bulunur (Şekil 1). Akım borusunda kesit yüzeyleri S_1 ve S_2 farklı yüksekliklerde h_1 ve h_2 alınmıştır.



Şekil 1.

Sıvı kesit 1 ve 2 arasında bulunur ve hareket eder zaman aralığından Δt sonra durum 1' ve 2'de bulunur.

1-1' ve 2-2' hacimleri silindirik şekilde dirler ve o sınırlar içinde hızlar sabittir. Fluidler sıkışmadıkları için S_1 ve S_2 kesitlerden süreklilik kanununa göre aynı sıvı miktarı akar:

$$\begin{aligned} \Delta V &= \Delta V_1 = \Delta V_2 = S_1 l_1 = S_2 l_2, \\ \Delta V &= S v \Delta t, \end{aligned} \quad (1)$$

$l_1 = v_1 \Delta t$ ve $l_2 = v_2 \Delta t$ uygun uzunluklardır ve fluid zaman aralığında Δt hareket etmiştir.

Fluidin 1 ve 2 durumlarında hız farklıdır, kinetik enerji değişimi:

$$\Delta E_k = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}, \quad (2)$$

potansiyel enerji değişimi şöyle belirlenmiştir:

$$\Delta E_p = mgh_2 - mgh_1 \quad (3)$$

fluid kütlesi yoğunluğu ile şöyle verilmiştir:

$$m = \rho V = \rho V_1 = \rho V_2 = \rho S_1 l_1 = \rho S_2 l_2. \quad (3)$$

Toplam enerji değişimi

$$\Delta E = \Delta E_k + \Delta E_p \quad (3)$$

Akım sabit olduğunda, kinetik ve potansiyel enerjisi ΔE_k ve ΔE_p basınç kuvvetlerin yaptığı işe eşit olmalıdır.

Sıvının akımında kesit S_1 'de basınç kuvveti $F_1 = p_1 S_1$ mesafede l_1 , pozitif iş yapar

$$A_1 = F_1 l_1 = p_1 S_1 v_1 \Delta t. \quad (4)$$

Aynı zaman için kesit S_2 'de basınç p_2 etki eder yada basınç kuvveti $F_2 = p_2 S_2$ ters yönde fluidin hareketi doğrultusunda, yapılan iş

$$A_2 = F_2 l_2 = p_2 S_2 l_2 = p_2 S_2 v_2 \Delta t \quad (5)$$

Toplam enerjiye göre negatif bilançosu vardır

$$\Delta E_p + \Delta E_k = A_1 - A_2 \quad (6)$$

Denklem (5)' önceki denklemleri alarak, elde edilir:

$$\Delta p_1 \Delta V + \frac{mv_1^2}{2} + mgh_1 = \Delta p_2 \Delta V + \frac{mv_2^2}{2} + mgh_2,$$

yada

$$p_1 \Delta V - p_2 \Delta V = \rho \Delta V g h_2 - \rho \Delta V g h_1 + \frac{\rho \Delta V v_2^2}{2} - \frac{\rho \Delta V v_1^2}{2}$$

Elde edilen son denklem hacimle V bölünür, ve gruplandırdıktan sonra:

$$p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} + \rho g h_1 = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho g h_2 \quad (7)$$

Elde edilen denklem basınçları S_1 ve S_2 kesitlerde bağlar.

9. Fluidler mekaniği

Tüm akım borusu için şu geçerlidir:

$$p + \frac{\rho v^2}{2} + \rho gh = \text{const.} \quad (8)$$

Bernuli denklemi 1738 yılında kurulmuştur Daniel Bernuli (1700-1782) tarafından. Denklem her üç üyesi basınç boyutundadır. Birinci üye **statik basıncı** sıvının hareketi ile ilgilidir.

İkinci üye **dinamik basıncı** hacim biriminde kinetik enerjidir $\rho v^2/2$. Üçüncü üye **hidrostatik basıncı** hacim biriminde potansiyel enerjidir ρgh .

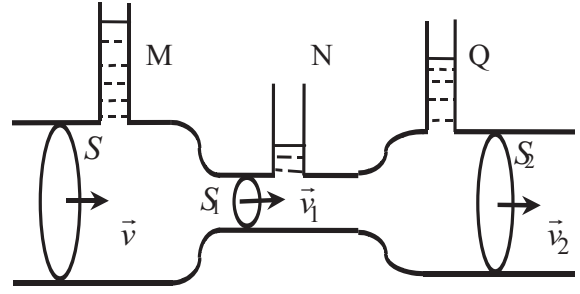
Bernuli denklemi kanun gibi ifade edilebilir: *akım burusunda ideal fluidin herhangi bir noktasında statik, dinamik ve hidrostatik basınçların toplamı sabittir.*

Örnek 1. Ventür borusu kesitleri farklı olan boru yardımıyla fluidin akışını Q hidrodinamik tesislerde ve farklı su akışlarını ölçebilir. Bu amaç için yatay durumda konulan boru alınır $h_1=h_2$ ve denklem (8)'de S_1 ve S_2 kesitler için yazılabilir:

$$p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}. \quad (9)$$

Son denklemde Bernuli denklemi yeni şekil almıştır: *yatay boruda statik ve dinamik basınçların toplamı sabit büyüklüktür.* Buna göre, yatay borunun bazı kısımlarında hız akımı büyürse statik basıncı azalacaktır ($S_1 < S_2$, $v_1 > v_2$, ve $p_1 < p_2$).

Dinamik basıncı çoğalırsa statik basıncı azalır, bazı olaylarda statik basıncı atmosfer basıncında daha küçüktür, bununla ilgili boruda boşluk açılırsa sıvı akışı durdurulur ve hava çekmeğe başlar. Şekil 2'de manometre borusu M, N, Q statik basıncı gösterir.



Şekil 2.

Denklem (9) ve süreklilik kanunu ile yazılabilir

$$v_2 = v_1 \frac{S_1}{S_2},$$

daha doğrusu

$$v_2^2 \left[\frac{\rho}{2} \left(1 - \frac{S_1^2}{S_2^2} \right) \right] = p_2 - p_1. \quad (10)$$

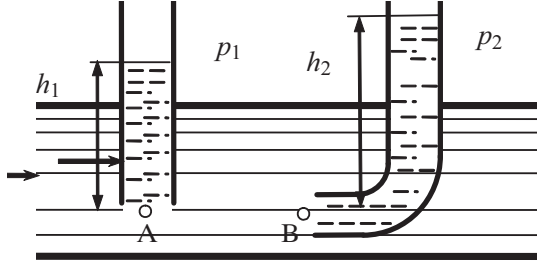
Elde edilen hıza göre denklem (1)'den sıvı hacmi için zaman biriminde akış yapan

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = S_1 v_2 = S_1 \sqrt{\frac{2(p_2 - p_1)}{\rho \left(1 - \frac{S_1^2}{S_2^2} \right)}} \quad (11)$$

Demek ki yüzeyler ve basınçlar bilinirse (Şekil 2) sıvının hacmini belirlenebilir.

Örnek 2. Pit borusu. Sabit hareket eden fluidin basıncını daha basit ölçmek için iki boru yardımıyla yapılır (Şekil 3).

Fluidin hızını ölçmek için iki nokta alınır A ve B noktaları aynı akım çizgisinde yatarlar (Şekil 3a).



Şekil 3. Pit borusu

Boru yatay olduğu için $v_2=0$, denklem (9) göre:

$$p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = p_2 \quad (12)$$

buradan hız için elde edilir:

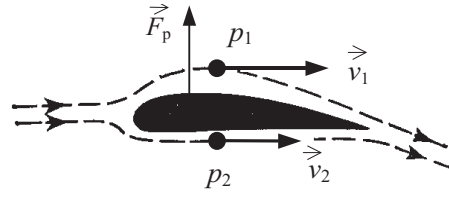
$$v_1 = \sqrt{2 \frac{p_2 - p_1}{\rho}} \quad (13)$$

Pit borusu ile statik ve dinamik basıncı ölçülür daha doğrusu toplam basınç. Statik basınç p_1 yükseklik h_1 ile A borusunda elde edilir Şekil 3. B borusunda yükseklik h_2 göre toplam basıncı gösterir.

İki borudan oluşan öyle bir sistem için denklem (13) göre hız belirlenir.

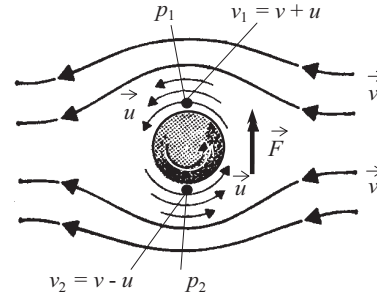
Örnek 3. Uçakların kanatlarında ve kuşların kanatlarındaki kaldırma kuvveti hidrodinamik yada aerodinamik kanunuyla açıklanır.

Kanatlar modeli etrafında (Şekil 4.) katmansal akımlar gözden geçirilirse, üst kısımda akım çizgileri daha yoğundur dinamik basıncın yükselmesiyle statik basınç azalır. Bundan dolayı $\vec{v}_1 > \vec{v}_2$ basınçlar da $p_1 < p_2$. Bu durumda kaldırma kuvveti F_p yada **yükseltme** oluşur ve yukarıya yönlüdür.



Şekil 4.

Tenis topu hareketi esnasında aynı zamanda dönüşlü hareketi de yapar (Şekil 5.), akım çizgilerinin farklı basınçlarından ötürü ($p_1 < p_2$), önceki yönünden sapar.



Şekil 5.

Aynı olay laboratuvar şartları altında, yenilik silindire bağlı olan iki ip yardımı ile gösterilebilir. Serbest düşmede silindir dönüşlü hareket yapar iplik açılırken, farklı basınçlardan ötürü yukarıya doğru sapar (Magnus efekti). Aynı öyle, dış çevrenin etkisi altında sıvı veya gazın geçtiği elastik borular içeriliğinde statik basıncın azalması yüzünden kenar tarafları yığılıyor. Ceryanlandırma yada duvarların yığılması da bitiyor.

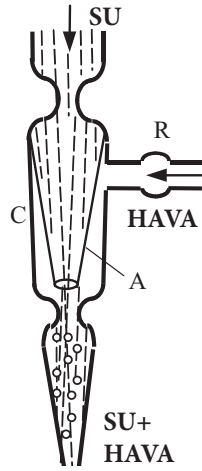
Sorular ve ödevler

1. Su akışı nedir ve nasıl belirlenir?
2. Pit borusu ile ne ölçülür?
3. Bernuli denklemin uygulanması ile diğer örnekler verebilir misiniz?

9.11. BERNULİ DENKLEMİN BAZI UYGULANMALARI

Farklı kesitli borulardan fluidlerin hareketi için Bernuli denklemi geniş çapta uygulanır.

BUNZEN POMPASI yada vakum pompa akan suyla (gaz). Tıpta ve stomatolojide bazı müdahalelerde kullanılır (Şekil 1.) Su (gaz) boru A'dan akar ve ucu dar olduğu için büyük dinamik basıncı yapar. Su (gaz) koni şeklinde boruya geçer ondan atmosfere sıvı gazla beraber çıkar, gazı R kısmından çeker.



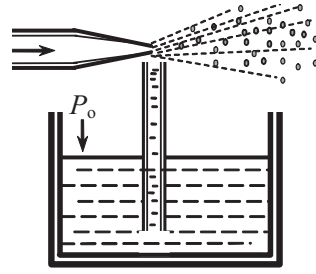
Şekil 1. Bunzen pompası

C balonu gibidir A borusunu içerir, burada dinamik basıncı büyük olduğu için statik basıncı küçüktür ve dışarıdan havayı burada çeker R.

R kısmına sonda bağlandığı zaman tıp müdahalesinde toplanan kan gibi sıvılar çekilir yada stomatoloji emicisi.

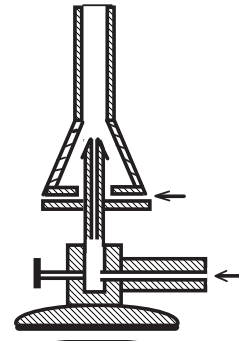
Bu pompalar yardımı ile basınç azaltılır 12 kPa'dan 4kPa'a kadar.

Bunzen pompası akciğerler arası toplanan suyu çekmek için kullanılır.



Şekil 2. Pulverizatör

PULVERİZATÖR iki normal duran borudan ibarettir. Dikey boru sıvı ile dolu kabda bulunur, yatay şekilde hava akım yapan boru konulmuştur (Şekil 2), bu borunun ucu dar olduğu için havanın hızı büyütülmüştür. Bu yüzden dikey borunun uc kısmında statik basıncı azalır, kabdaki sıvı dikey borudan dışarıya püskürtülür.

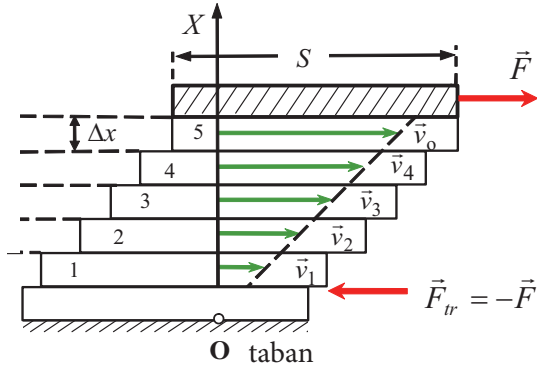


Şekil 3. Bunzen brülörü

BUNZEN BRÜLÖRÜ (Şekil 3) burada yakılacak gazın hızlı akımıyla, borunun dar kısmında statik basıncı atmosfer basıncından daha düşük olur ve kenardaki boşluklardan hava girip gazın yanmasına yardımcı olur.

9.12. REEL FLUİDLERİN DİNAMIĞI. SIVILARIN VİSKOZİTESİ

Reel sıvılar ideal sıvılardan farklı harekette iken moleküller arasındaki etkiden katmanlar arasında sürtünme iç kuvvetleri yada viskozite oluşur. Reel sıvılar hareketleri esnasında katmanları biri diğerine tanjan kuvvetleri ile etki ederler hareket yönüne ters olarak. Bundan dolayı bir reel sıvının katmansal akımı esnasında, katmanları farklı hızlarla hareket ederler.

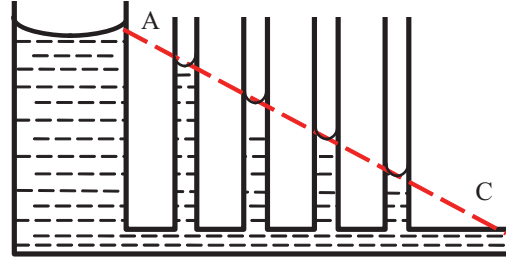


Şekil 1.

Real sıvının akmasını sabit yatay tabana göre inceleyelim (Şekil 1.). Sıvı katmanlar gibi ifade edilebilir ve teğet kuvvetleri yüzünden katmanlar birbirlerinden kayar gibi akışı oluştururlar. Yukarıdaki plakin \vec{v}_0 sabit hızla akması için aynı yönde sabit kuvvetin etkisi gereklidir \vec{F} . Maksimum hızı \vec{v}_0 en üst yüzeye yapışık olan katmanın vardır,

$$v_1 < v_2 < v_3 < v_4 < v_5 \dots < v_0.$$

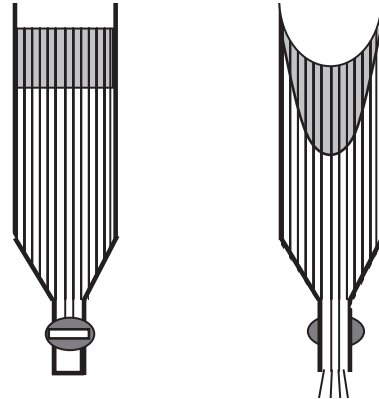
İki katman arasında oluşan sürtünme kuvveti yada viskozite farklı hızlarla farklı katmanlarda bulunan moleküllerin impuls değişimlerinden kaynaklanır.



Şekil 2.

Reel sıvılarda sürtünme kuvvetlerin mevcut olması daha basit olarak gösterilebilir (Şekil 2.). Yatay konulan bir borudan ideal fluid sabit hızla akarsa, Bernuli denkleminde göre statik basınçları aynıdır. Dikey konulan borularda sıvı geçtiği yolun uzunluğuna göre statik basıncı azalır. Sıvı düzgün hareket yaptığı için basınç kuvvetlerin işi iç sürtünme kuvvetleri ile dengede olur.

İç sürtünme kuvvetlerin var oluşmasından ötürü borulardaki fluidlerin akışı katmansal dır, katmanların hızı artar boru duvarlarından uzaklaşarak. Duvara yakın olan katman ona yapışık ve hızı en düşüktür.



Şekil 3.

Dikey cam borsunda (Şekil 3a) şekerden renkli yoğun sıvı konulur, onun üzerinde şekerden renksiz sıvı konulur. Borunun aşağı kısmında musluk açılınca (Şekil 3b) katmanlar aynı hızla hareket etmedikleri görülür.

Deney olarak iç sürtünme kuvveti katmanlar akışı için sürtünme için Nefton kanunu ile verilir:

$$F = -\eta S \frac{\Delta v}{\Delta x}, \quad (1)$$

Denklemdaki büyüklükler S katman alanı, η dinamik viskozite yada viskozite, Δv iki katmanın hız farkı, Δx iki katman arası mesafe, $\Delta v/\Delta x$ hız gradyanı (eğimi) dirler. Denklemda “-” işareti sürtünmenin hareket yönü ile ters olduğunu gösterir.

SI sistemde dinamik viskozite yada viskozite ölçü birimi 1 Pa s (Paskal saniye) dir.

Kinematik viskozite η_k dinamik viskozite ve sıvı yoğunluğu oranı oluşturur

$$\eta_k = \frac{\eta}{\rho} \quad (2)$$

Dinamik viskozite elastik modülü gibi malzeme için önemlidir.

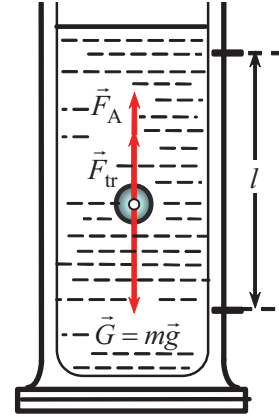
Sübstansların viskozitesi sıcaklıktan daha fluid türünden ve bulunduğu şartlara bağlıdır. Gazların viskozitesi sıvılardan daha küçüktür fakat sıcaklığın artması ile gazlarda viskozite artar, sıvılarda ise azalır.

Sorular ve ödevler

1. İç sürtünme kuvvetlerin varolmasıyla katmanların hızları nasıl değişir?

9.13. ORTAM DİRENCİ. STOKS KANUNU

Deneyler iç sürtünme kuvvetleri sıvının hareket ettiği zaman varolduğunu gösterir. Fluitte hareket eden cisme etki eden ortam direncin azalması için cisim aerodinamik şekli verilir. Tüm aerodinamik şekillerden kürenin en basit şekli var.



Şekil 1.

Ortamın direnç kuvveti cismin hızı ile ters yönde dirler, Stoks kanunu ile belirlenir

$$F_{tr} = f v_o = 6 \pi \eta r v_o, \quad (1)$$

denklemdaki büyüklükler f sürtünme sabitesi ve küresel parçacık için $f=6\pi\eta r$ dir, maddesel parçacığın yarıçapı, v_o onun hareket hızı, η ortamın viskozitesi.

ÖRNEK 1. Kab duvarları yarıçapı $r=1$ mm olan topcağız hareketine etki etmez farz edelim, topcağızın hızı bulunsun eğer o gravitasyon kuvveti etkisi yüzünden viskoz çevresinde hareket eder (gliserin $\eta=0,83$ Pa s; $\rho_r=800$ kg/m³). Topcağızın yoğunluğu $\rho=6000$ kg/m³.

9. Fluidler mekaniği

Çözüm: Topçağızın hareketi (Şekil 1) düzgündür ve ona iç kuvvet etki eder, yerçekimi kuvveti \vec{P} , Arşimet kuvveti \vec{F}_A ve ortamın direnç kuvveti \vec{F}_{tr} Stoks kanunu ile belirlenen (1).

$$P = F_A + F_{tr} \quad (2)$$

topçağızın yarıçapı r ; yoğunluğu ρ_1 , ve hacmi $V = \frac{4}{3}\pi r^3$, denklem (2) şöyledir:

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_1 g - \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_t g - 6\pi \eta r v = 0 \quad (3)$$

nerde ki $P = mg = 4\rho_1 \pi r^3 g / 3$, $F_{tr} = 6\pi \eta r v$, ve

$$F_A = m g = 4\rho_t \pi r^3 g / 3.$$

Son denklemde m_t topçağız tarafından kaldırılan sıvın kütlesi dir, ρ_t sıvının yoğunluğu, v topçağızın düzgün hareketi. Denklem (3)'ten hız elde edilir:

$$v = \frac{2(\rho - \rho_t)r^2 g}{9\eta} \quad (4)$$

hız için $v = 0,0136$ m/s.

Bu hızı ölçmekle parçacıklar hakkında şekilleri ve büyüklükleri bilgileri elde edilir. Denklem (4) sıvılarda viskoziteyi bulmak için elde edilir. Bu prensipe göre Hepler viskozimetresi çalışır.

Ortamın direnç kuvveti cismin şekline bağlıdır.

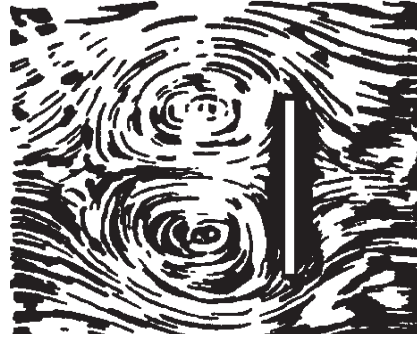
Akım özelliği fluidin özelliklerine, akım hızına, borunun boyutlarına ve şekline bağlıdır. Fluidin akım karakteri boyutsuz büyüklük olan **Reynolds sayısı** ile belirlenir.

$$R_e = \frac{\rho v D}{\eta} \quad (5)$$

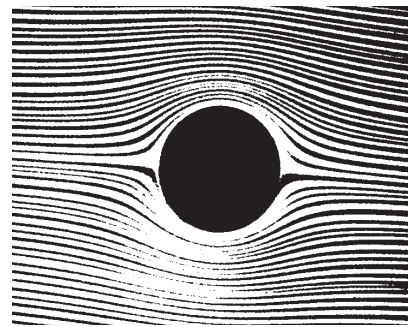
denklemde ρ fluid yoğunluğu, D borunun çapı (diyametresi), η viskozite, v fluidin maksimum hızı.

Fluid hızı kritik hızına eşitse v_{kr} katmansal hareketten çalkantılı harekete geçilir o anda Reynolds sayısı kritik değer alır, $R_e < R_{e,kr}$ fluitte katmansal akım, $R_e > R_{e,kr}$ fluitte çalkantılı akım.

Denklem (5) görüldüğü gibi fluid akımı borunun boyutuna bağlıdır. Geniş borular ve büyük hızlarda fluidlerin çalkantılı akım olayları görülebilir. Örneğin, diyametresi 2 mm olan boruda suyun akımı çalkantılı olur eğer hızı 127 cm/s ise; borunun diyametresi 2 cm ise çalkantılı hızı 12 cm/s (16°C derece) olur.



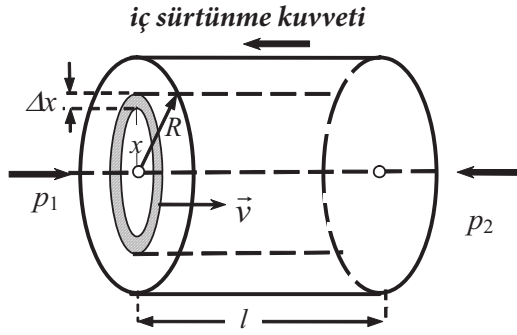
Şekil 2. Çalkantılı akım



Şekil 3. Katmansal akım

9.14. PUAZEY KANUNU. VİSKOZMETRELER

Yatay boruda sıvı sabit hareket ederse ona gravitasyon kuvvetleri etki etmez, iç sürtünme kuvvetini yenmek için basınçlarda farklı olması gerekir.



Şekil 1.

Borunun uçlarındaki basınçlar p_1 ve p_2 olsun, $p_1 > p_2$ (Şekil 1.). Sıvı daha büyük basınçtan daha küçük basınca hareket eder. Bu durumda her katman koaksiyel sildir gibidir. Buna göre simetri ekseninden x uzaklıkta bulunan katman hızı:

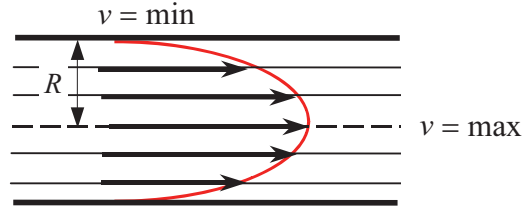
$$v = \frac{p_1 - p_2}{4\eta l} (R^2 - x^2) . \quad (1)$$

Simetriden ötürü sıvı parçacıkları geometrik ekseninden aynı uzaklıkta olanlar aynı hızları vardır. Duvara yakın olan katmanın hızı sıfır ($v=0$) dır, geometrik ekseninde olan katmanın maksimum hızı ($x=0$) vardır:

$$v_{\max} = \frac{p_1 - p_2}{4\eta l} R^2 \quad (2)$$

Hızların dağılımı yarıçapı R olan boru kesitinde parabolik kanununa dayanır. Hız grafiği Şekil 2'de verilmiştir.

Parabolik biçimi olan hız grafikonu şekil 2'de gösterilmiştir. Viskoz sıvının akışları deneysel olarak 9.12. başlığının şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.

Denklem (2)'den ortalama hız ve Puazey silindirik borudan viskoz sıvısının akışını hesaplamıştır

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{\pi R^4 \Delta p}{8\eta l} \quad (3)$$

Denklem (3)'ten hacim belirlenir

$$V = \frac{\pi R^4 \Delta p}{8\eta l} t \quad (4)$$

Denklem (4)'te görüldüğü gibi katmansal akım, basınç p ve yarıçap R birde sıvı akışı Q viskozite η ile ters orantılıdır.

Bu bağımlılık sıvıların viskozitesini ölçmek için kullanılabilir.

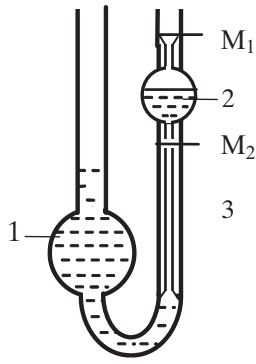
Fluidlerin viskozitesini belirlemek için kullanılan metotları ve araçları *viskozimetri bölümü* araştırır, *viskozite* viskozimetri aracıyla belirlenir.

OSVALD VİSKOZMETRESİ. Bu viskozmetre yardımıyla bir sıvının viskozitesi belirlenir eğer ikinci sıvının viskozitesi bilinirse.

Bu amaç için damıtık su kullanılır Şekil 1. Bükülmüş bir boruyu oluşturur ve U şeklinde dir. Bir kenarı genişletilmiş ve kazanı var (1), diğer kenarın uc kısmı genişletilmiştir.

9. Fluidler mekaniği

İkinci kenarda M_1 ve M_2 işaretleri bulunur ve bir hacımı tanımlar (2), ikinci kenarın dib kısmında kılcal boru bulunur (3). Viskozitesi ölçülecek sıvı viskozmetreye konulur ve sıvı M_1 ve M_2 işaretleri geçecek zaman t ölçülür.



Şekil 3. Oswald viskozmetresi

Puazey kanununda hacim sıvı kütlesi ve yoğunluğu ile verilirse

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{\pi R^4}{8\eta} \frac{\Delta p}{l} t, \quad (5)$$

ve bu denklem viskozite elde edilir:

$$\eta = \frac{\pi R^4}{8m} \frac{\Delta p}{l} \rho t, \quad (6)$$

veya $\eta = C \rho t, \quad (7)$

nerde ki $C = \frac{\pi R^4}{8m} \frac{p_1 - p_2}{l}. \quad (8)$

Sabit şartlarda denklem (7) damıtık suyun belli hacımı akması için uygulanırsa M_1 ve M_2 işaretleri arasında:

$$\eta_0 = C \rho_0 t_0, \quad (9)$$

t_0 suyun akımı M_1 'den M_2 'ye; ρ_0 bilinen sıvı yoğunluğu. Denklem (7) ve (9) bölmekle rölatif viskozite değeri:

$$\frac{\eta}{\eta_0} = \frac{\rho t}{\rho_0 t_0} \text{ ya da } \eta = \eta_0 \frac{\rho t}{\rho_0 t_0}. \quad (11)$$

Rölatif değer sıvının viskozite değeri referans alınan viskozite değerinden kaç kez büyük olduğunu gösterir.

HEPLER VİSKOZMETRESİ. Bu viskozmetrede kullanılan metot Stoks kanununa dayanır. Viskoz sıvıda düzgün hareket eden topcağız v_0 için viskozite:

$$\eta = \frac{2(\rho - \rho_f) r^2 g}{9v_0} = \frac{2(\rho - \rho_f) r^2 g t}{9l}; \quad (10)$$

burada

$$v_0 = \frac{l}{t}. \quad (11)$$

Hepler viskozmetresi silindirik kab içinde viskozitesi ölçülecek sıvı konulmuş bir viskozmetreyi oluşturur. Aynı kabda işaretler l mesafesinde bulunur. Fluidin yoğunluğu ρ_f bilinir viskozitesi η ise bilinmez topcağızın düzgün düşmesi gözetlenir, ve düşme zamanı t ölçülür. Viskozite denklem (10) ve (11) elde edilir.

Sorular ve ödevler

1. Viskoz sıvının akması katmanlı veya çalkantılı olacağı neye göre hüküm verilir?
2. Viskozitenin belirlenmesi esnasında hangi kanunlar kullanılır?

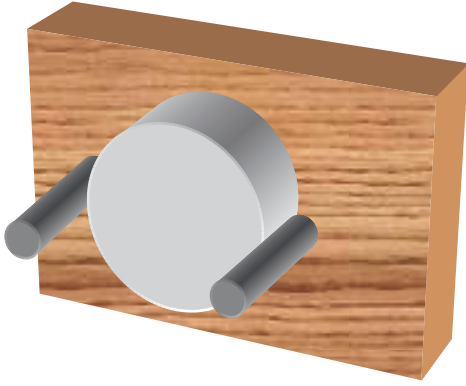
Daha fazla bilgi için:

http://physicsweb.org/resources/Education/Interactive_experiments/Fluid_dynamics/

10.1. ISI. SICAKLIK. TERMİK GENİŞLEME

Katı, sıvı veya gaz malzemesi parçacıklarından veya atom ve moleküllerden oluşmuştur. Bu parçacıklar hareket ettikleri için kinetik enerjileri vardır, birbirlerine etki ettikleri zaman onların potansiyel enerjileri de vardır.

Rölatif hareketi enerjisi ve moleküller arası etki alanında potansiyel enerjine cismin iç enerjisi denir. Bu enerjiyi sıcaklık gibi hissederiz. Cisimleri ısıtmakla kinetik enerjileri değişir yani çoğalır.



Şekil 1. Sıcaklıkta katı cisimler genişler

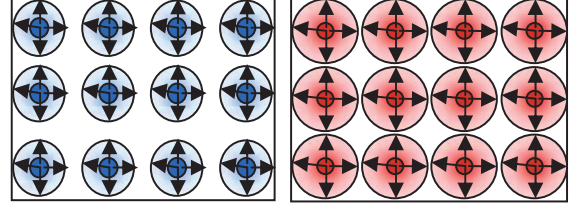
Cismin ısınma birimi olarak fiziksel büyüklük temperatur dır.

Cisimlerin termik genişlemesi

Bir odun tabanı üzerinde bir metal parası geçecek kadar genişlikte iki çivi çakılır (Şekil 1). Odun dikey duruma getirilir, metal para mum yardımıyla ısıtılır ve çiviler arası geçmesi denem yapılır, geçemediğini görürüz.

Ne olmuş?

Cisim belli sıcaklıkta bulunduğu zaman, parçacıklar haotik olarak dengeleri etrafında hareket ederler (Şekil 2a.). Cisim yüksek dereceye ısıtılınca daha fazla titreşirler ve denge durumu ile aralarındaki mesafe çoğalır (Şekil 2b.) Demek ki aynı cisme o anda daha büyük alan gerekir.



a)

b)

Şekil 2. Cisim şekil a) 'da daha soğuk
şekil b) 'den dir

Tüm cisimler ister katılar, sıvılar yada gazlar ısıtıldıkları zaman genişlerler. Sıcaklığın büyümesiyle cisimlerin hacimni da büyür, bu olaya *cisimlerin termik genişlemesi* denir. Genişleme *çizgisel, yüzeyesel ve alansal* olabilir.

Katı cisim ısıtılmakla üç boyutta genişler, bazen şekline göre bir boyutta, bazen iki boyutta, bazan da üç boyutta genişler.

Aynı uzunlukta olan iki cisim farklı malzemelerden yapılmışsalar, sıcaklığın etkisinde aynı genişlemezler, çünkü genişleme malzemenin yapısına bağlıdır. Çizgisel genişlemede sıcaklık çizgisel genişleme sabitesi alınır α ve her malzeme için değerleri farklıdır:

$$\alpha = \frac{l_t - l_o}{l_o t} \quad (1)$$

denklemden l_o başlangıç uzunluk 0°C ; l_t uzunluk t sıcaklıkta;

$$l_t = l_o (1 + \alpha t) \quad (2)$$

Sıcaklık çizgisel genişleme sabitesi çok sayıda malzemeler için pozitif değeri vardır, kauçuk ve bazı sentetik malzemelerin negatif değeri vardır. Bunlarda sıcaklık yükselirken bunlar topulur.

Paralelogram şeklindeki cismin hacimsal genişlemesi a_p, b_p, c_t sıcaklık t de:

$$a_t = a_o (1 + \alpha t) \quad (3)$$

$$b_t = b_o (1 + \alpha t) \quad (4)$$

$$c_t = c_o (1 + \alpha t) \quad (5)$$

denklemlerden şu elde edilir:

$$a_t b_t c_t = a_o b_o c_o (1 + \alpha t)^3 \quad (6)$$

denklemdenki değerler $3\alpha^2 t^2 + \alpha^3 \cdot t^3$ çok küçük oldukları için göz önüne alınmazlar:

$$\begin{aligned} a_t b_t c_t &= a_o b_o c_o (1 + 3\alpha t + 3\alpha^2 t^2 + \alpha^3 t^3) \\ a_t b_t c_t &\approx a_o b_o c_o (1 + 3\alpha t) \end{aligned} \quad (7)$$

$\beta = 3\alpha$ olarak sıcaklık **hacimsal genişleme sabitesi** alınsın, görüldüğü gibi sıcaklık çizgisel genişleme sabitesinden üç defa daha büyüktür.

$a_o b_o c_o = V_o$ çarpımı 0°C hacim temsil eder:

$$V_t = V_o (1 + \beta t) \quad (8)$$

Sıvıların termik genişlemesi için de denklem (8) geçerlidir, sıvılarda küp genişleme sabitesi katılardan daha büyüktür.

Su, ortalama genişlemede eksiklikler göstermektedir. Su 0°C ile 4°C ısı genişleyecek yerde toplanır, 4°C ısı daha büyük sıcaklıkta genişler. 4°C sıcaklıkta hacmi küçüktür fakat yoğunluğu büyüktür. Farklı sıcaklık derecesiyle yapılan farklı genişlik ve hacim değişiklik deneyleri her zaman göz önünde bulundurulur.

SICAKLIĞIN ÖLÇÜLMESİ. TERMOMETRELER

Termik genişleme sıcaklıklarının yapılmasında uygulanır.

Sıcaklığı ölçen enstrümanlara termometre denir. Bunlardan en yaygınları sıvılı (cıva, alkol) termometrelerdir, (Şekil 3b). Yapılışı kılcal boru ve onun dibinde kazandıktan ibarettir ve belli sıcaklıkta sıvı kazandıktan kılcal boruya geçer.

Diğer tür termometreler katı cismin genişlemesini kullanır, metal şirit spiral şeklinde bükülmüştür (Şekil 3a). Spiralın merkezi kısmı sabitleştirilir ve dış kısmının ucuna akrep bağlanır ve ısıldığı zaman genişlenir ve akrep bir değeri gösterir.

Bazı termometreler cisimlerin genişlemesini kullanmazlar, bunlar sıvı kristalleri kullanan termometrelerdir, (Şekil 3d), belli sıcaklıklarda görülürler ya da renklerini değiştirirler.

Diğer tür termometreler sayısal termometrelerdir, (Şekil 3c), elektriksel yolla sıcaklık değişimini yakalarlar.

Bir fiziksel büyüklüğü ölçmek için ölçü alelerinden mada birim tanımlanır. Birçok bilim adamı Nefton, Remer, Rankin ve diğerleri sıcaklık için farklı birimler önermişler, dünyada sıcaklık için üç birim geçerlidir, Makedonya kanununa göre iki birim geçerlidir.

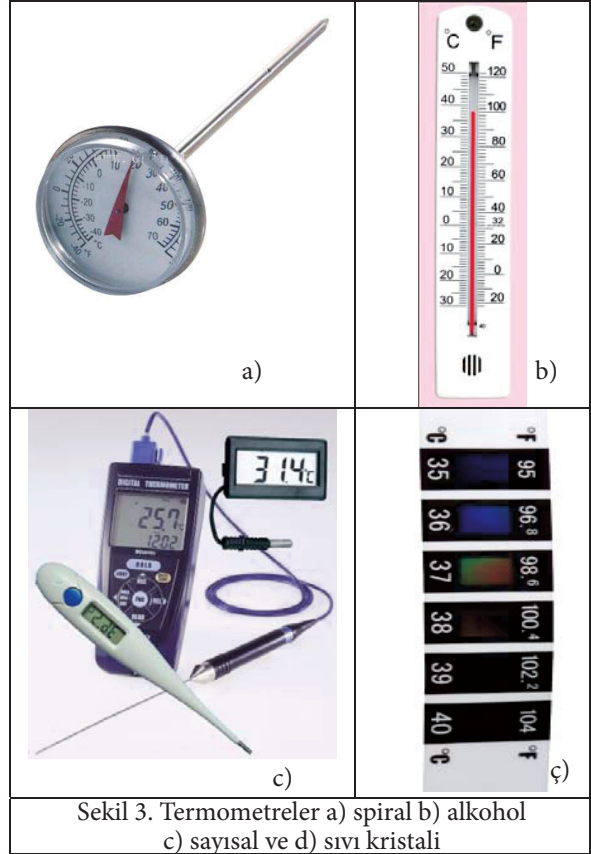
İsfeç astronomu Anders Selzius 1742 yılında sıcaklık ölçeğini öngörmüştür sıfır derecede su donmaktadır ve yüz derece su kaynamaktadır, birimi Selzius derecesi ($^{\circ}\text{C}$) dir.

Lord Kelvin yada Vilyam Tomson 1848 yılında kendi sıcaklık ölçeğini öngörmüştür ve mutlak ölçeği yada sıcaklık ölçeği olarak adlandırmıştır. Bu ölçeğe göre sıfır derece mutlak sıfırda $-273,16$ $^{\circ}\text{C}$ bulunur, ona saygı duyarak bu birim Kelvin (K) olarak adlandırılır.

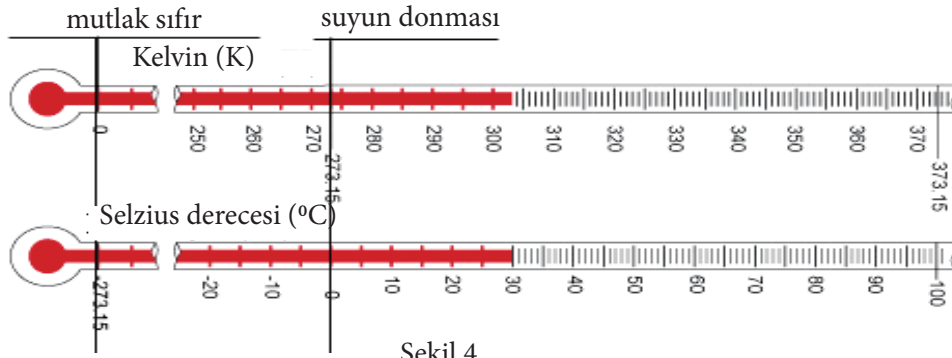
Tablo 1. Sıcaklık ölçeklerinin dönüşümü

Selzius'ten Kelvin ölçeğine	$T_K = t_C + 273,15$
Kelvin'den Selzius ölçeğine	$t_C = T_K - 273,15$

Şekil 4'te üç sıcaklık ölçeğinin kıyaslanması yapılmıştır. Buna bir de Farenhat ölçeği eklenmiştir, olsun ki Uluslararası sisteme uygun değildir fakat kullanılması yaygındır ABD, İngiltere'de ve sayı



Farenhat derecesi ($^{\circ}\text{F}$) Alman fizikçisi Daniel Gabriel Farenhayt tarafından 1724 yılında öngörülmüştür, bunun sıfır derecesini buz, su ve amonyum hlorid oluşturur.



Şekil 4.

10.2. ISININ TAŞINMASI

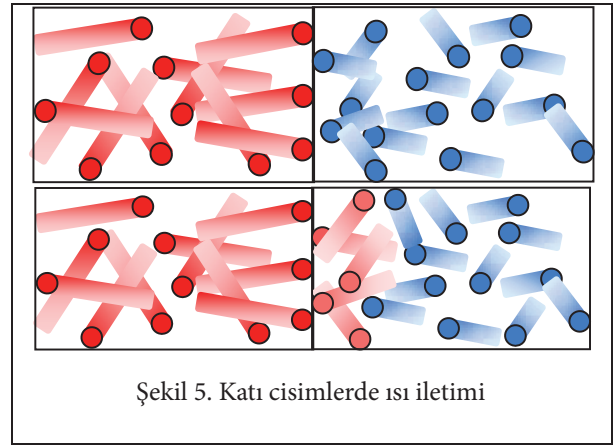
Elle sıcak cisme dokunulursa, elimiz ısınır. Sıcak cismin bir kısmı elimize geçer. Eğer bir parça buz dokunulursa buz erimeğe başlayacak çünkü sıcaklık elimizden buza geçer. Demek ki sıcaklık kendiliğinden daha sıcak cisimden daha soğuk cisme taşınır.

Isının taşınması için üç mekanizma çeşidi vardır:

- ısı iletmesi
- ısıyayma
- radyasyon

Isı iletimi

Isı iletimi mekanizma gibi katı cisimlerde geçerlidir, sıcaklığın iletilmesi için cisimler arasında ısı teması gerekir. Demek ki sıcaklığın iletilmesi için bir cisimden diğer cisme sıcaklık farkı gereklidir, (Şekil 5). Daha sıcak cisim kinetik enerjisini daha soğuk cismin parçacıklarına verir ve oda ısınır.

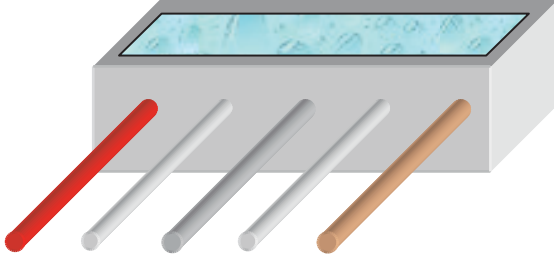


Şekil 5. Katı cisimlerde ısı iletimi

Bu şekilde cisimler arası ısı iletimi yapılır.

Bir kabda odun, cam, plastik, alüminyum, demir, bakır malzemelerinden yapılan çubuklar balmumu ile sarılarak konular. Sonra aynı kaba kaynar su atılır (Şekil 6.), bu çubuklardan balmumun erimesi ilkinden sonuna kadar sıralayalım bakır, alüminyum, demir, cam, plastik ve odun.

Demek ki farklı malzemelerden ısı farklı iletilir.



Şekil 6. Isı yayma farklı malzemelerden

Sıcaklık miktarın iletimi bir yerden diğerine Furie kanunu geçerlidir:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = -\kappa \Delta S \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1)$$

ΔS zaman t biriminde ısı iletimi x eksenine yönünde yapılan cismin yüzeyi, $\Delta T/\Delta x$ sıcaklık gradyanı, k orantı sabitesi ve malzemenin doğasına bağlıdır.

Isı iletimi kabiliyetini gösteren büyüklüğe *ısı iletimi sabitesi* denir.

SI sisteminde ısı iletimi sabitesinin birimi $W m^{-1} K^{-1}$.

Isı iletimi yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklık yönünde yapıldığı için ısı iletimi kanununda eksi işareti vardır.

Tablo 2. Bazı malzemelerin ısı iletimi sabitelerinin değerleri

Malzeme	Isı iletimi sabitesi ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)
Hava	0,025
Odun	0,04-0,40
Lastik	0,16
Su	0,6
Cam	1,1
Toprak	1,5
Çimento, taş	1,7
Çelik	12,1-45,0
Aluminyum	23 (120-180)
Altın	318
Bakır	401
Elmas	900-2320

Isı yayma

Suyla dolu bir kab ısıtıcı üzerine konulur, o kab için kağıt parçacıkları, kül ve pirinç atılır. Bu parçacıklar kab içinde aşağı yukarı hareket ederek dönerler. Kabın dib kısmından başlayan katmanlar daha sıcaktır ve yukarıya giderken sıcaklık daha düşüktür. Sıcak katmanlarda moleküller arası mesafe artar. Daha sıcak katmanlar az yoğun oldukları için yukarıya giderler, üstteki katmanlar daha soğuk ve daha yoğunluklu oldukları için aşağıya giderler. Böylece sıcaklık sıcak katmanlardan soğuk katmanlara taşınır ve bu olaya ısı yayma denir.

Her günkü yaşamda odaların ısıtılması için kaloriferler ve ısıtıcılar kullanılır. Bazılarında fanlar bulunur, fanlar havayı ısıtıcı ile ısıtılan havayı hareket ettirirler, buna *zorunlu taşınma* denir.

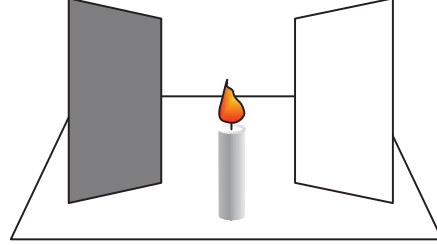
Isının taşınması doğada önemli bir olayı oluşturur, atmosferde havayı karıştırır ve hava şartlarına etkisi vardır.

Radyasyon

Hergünkü yaşamda evlerde infrakırmızı ısıtıcıları kullanılır. Onlar önünde bulunduğumuz zaman ısı dokunmadan ısıtıcıyı hissederiz. Bunların fanları, yoktur ısı havayı karıştırırlar. Bu ısıtıcılar sıcaklığı, ısıtıcı aktarma mekanizmasının üçüncü aşamasıyla en fazla aktarabilirler. Bu süreç önceki iki süreçten çok farklıdır. Isı iletkenlik elde edilmek için iki cisim arasında ilişki olmalıdır. Bu ısıtıcılar ısıyı ışınım ile iletirler ve bu süreç önceki süreçlerden farklıdır. Diğer süreçlerde ısı iletimi temas ile gerçekleşirdi bu süreçte öyle bir şey yoktur. Güneş ile Yerküre arasında bir temas yoktur, ısı iletimi ise yapılır.

Bir deney yapın. Üç bardak alınır biri alüminyum kağıdı ile sarılır, biri siyah renk ile boyanır biri de olduğı gibi kalır. Bardaklara ısıtılmış su koyduğumuzda ve bardakların patlamamaları için ilkönce soğuk reşoya ekleyin ve fırının ısıtılmasıyla başlayın. Ondan sonra her üç bardağı aynı miktar su ekleyin ve fırını ısıtmaya başlayın. Dediğimiz gibi her üç bardağı aynı ısıtılmış su dökülür ve onlardan her biri 2 cm yakınlığında termometreler konulur, bir zaman sonra termometreler ısınır ve temperetr gösterirler.

Termometreler bardaklarla temasta değılken ısıyı göstermelerinin sebebi ısının ışınma ile iletilmesinden kaynaklanır. Sıcaklığın artması her bardakta eşit midir? Olayı analiz edin ve aranızda tartışıın.



Şekil 7. İki farklı yüzeyin absorpsiyon becerikliğini araştırma

İşınma ile ısının iletimi ısıtılmış cismin yüzeyine bağılıdır. Daha bir deney yapalım. Şekilleri aynı olan iki alüminyum plakı alınırsa biri siyah renkli olsun diğer normal renkli olsun onlardan 10 cm uzaklıkta yanan mum bulunursa siyah renkli alüminyum plak ısıyı daha çabuk absorbe eder, deneyi kendiniz de deneyebilirsiniz. Plaklara birer cisim balmumu ile yapıştırmakla deneyin.

Bu deneyi bardaklarla yaptığımız deneyle karşılaştırın. Her iki dene için sonuç getirin.

10.3. ISI MİKTARI. ÖZEL ISI KAPASİTESİ

İki benzer kab alınsın ve aynı ısıtıcı üzerine yerleştirilsinler.

Birinci kab yarısına kadar suyla doldurulsun, diğeri ise tamamı suyla doldurulsun. Aynı zamanda aynı ısı miktarı alırlar. Suyu daha az olan kab kaynama sıcaklığına geldiği zaman diğerkab tamamı suyla dolu olduğu için zamanın iki katı kadar aynı sıcaklığa gelir. Demek ki su miktarı fazla olan kab ısı miktarı da fazla alması gerekir. Buna göre sıcaklık miktarı ile cisim kütlesi doğru orantılı bulunurlar, $\Delta Q \sim m$.

Isı kavramı için konuştuğumuz zaman onun ısı farkı ne kadar büyükse onun ısı da daha büyüktür, $\Delta Q \sim \Delta t$. Her iki sonuçtan elde ederiz:

$$\Delta Q \sim m \cdot \Delta t \quad (1)$$

Eğer iki benzer bardak alırsak birine su diğeri zeytin yağı dolduralım ve aynı ısıtıcı üzerine ısıtalım aynı zaman biriminde aynı ısı miktarı her ikisine verilmiştir. Bu şartlarda aynı zamanda su ve zeytin yağı farklı temperetürlerde ısınmışlardır. Burada orantı sabitesi alınsın c:

$$\Delta Q = c \cdot m \cdot \Delta t \quad (2)$$

ve bundan:

$$c = \frac{\Delta Q}{m \cdot \Delta t} \quad (3)$$

Eğer ısı miktarı ΔQ ve kütleler m aynı ise, o zaman orantı sabitesi bardaklar için farklıdır. Bu sabiteye *özel ısı kapasitesi* denir.

Özel ısı kapasitesi birimi:

$$[c] = \frac{[\Delta Q]}{[m] \cdot [\Delta t]} = \frac{J}{kg \cdot K}$$

Kütlesi m olan cisim için söz konusu olursa cismin *ısılık kapasitesi* C :

$$C = c \cdot m = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

Isılık kapasitesi J/K ile ölçülür.

10.4. ISI DENGESİ

Isılık iletimi için ısılığı yüksek olan cisimden ısılığı düşük olan cisme iletildiğini tanımladık. Fakat bu süreç ne kadar sürer. Deneyimlerden öğrendiğimiz şudur temasta bulunan cisimlerin sıcaklığı eşit olduğuna kadar bu süreç sürer. Isı cisim ısını verir soğuk cisim ısıyı kabul eder.

Kütlesi m_1 olan cismin ısı t_1 dir ve kütlesi m_2 olan cismin ısılığı t_2 dir, eğer $t_1 > t_2$ yada $t_1 > t_s > t_2$, cisimlerin ısılıkları eşit olduğu zaman t_s . Sıcak cisim vereceği sıcaklık miktarı:

$$\Delta Q_1 = c_1 \cdot m_1 \cdot (t_1 - t_s) \quad (4)$$

Sıcaklık miktarını kabul eden cisim:

$$\Delta Q_2 = c_2 \cdot m_2 \cdot (t_s - t_2) \quad (5)$$

Verilen ısı miktarı o kadar ısı miktarı absorbe edilecektir $\Delta Q_1 = \Delta Q_2$. Bu denge şartı olarak alınsın:

$$c_1 \cdot m_1 \cdot (t_1 - t_s) = c_2 \cdot m_2 \cdot (t_s - t_2)$$

bu denklemden denge sıcaklıktan hesaplınsın:

$$t_s = \frac{c_1 m_1 t_1 + c_2 m_2 t_2}{c_1 m_1 + c_2 m_2} \quad (6)$$

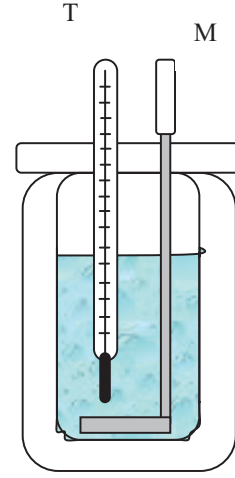
Pratikte bir cismin özel ısı kapasitesi bilinirse diğeri bilinmezse denge sıcaklıktan diğerin özel ısı kapasitesi bulunur:

$$\frac{c_2}{c_1} = \frac{m_1 (t_s - t_1)}{m_2 (t_2 + t_s)} \quad (7)$$

Kalorimetre

Suda erimeyen katı cismin özel sıcaklık kapasitesini belirlemek için kalorimetre ve su kullanılır. Kalorimetre sıcaklığı kapalı olan kabı oluşturur, bu amaç için Duarey kabı kullanılır, ortamda *termus* adı ile bilinir, (Şekil 8). Kabın iyi malzemeden yapılan kapağı da vardır ve (T) termometre ve (M) kaşık konulmuştur.

Kalorimetrede kütlesi m_1 ve sıcaklığı t_1 olan su konulur, buna aynı miktarda su 20-30° C sıcaklığında ısıtılarak t_2 temperatürde konulur.



Şekil 8. Kalorimetre

$$\Delta Q_1 = c_1 \cdot m_1 \cdot (t_1 - t_s) \quad (8)$$

Kalorimetre absorbe ettiği sıcaklık:

$$\Delta Q_2 = C \cdot (t_s - t_1) \quad (9)$$

Kalorimetrenin sıcaklık kapasitesi. Çünkü $\Delta Q_1 = \Delta Q_2$:

$$c_1 \cdot m_1 \cdot (t_1 - t_s) = C \cdot (t_s - t_1) \quad (10)$$

Buradan kalorimetrenin sıcaklık kapasitesi:

$$C = \frac{c_1 \cdot m_1 \cdot (t_1 - t_s)}{(t_s - t_1)} \quad (11)$$

Aynı deneyde kalorimetrede kütlesi m_2 olan su konulur

Suyun ve kalorimetrenin sıcaklığı t_3 olduğuna göre özel sıcaklık kapasitesi belirlenecek cismin kütlesi m_3 tür. Isıtılır ve sıcaklığı t_4 tür, kalorimetreye konular ve karıştırılır. Denge sıcaklığı okunur t_{ST} . Isıtılan cisim verdiği ısı:

$$\Delta Q_{11} = c_x \cdot m_2 (t_4 - t_{ST}) \quad (12)$$

Kalorimetre aldığı ettiği sıcaklık miktarı:

$$\Delta Q_K = C \cdot (t_{ST} - t_3) \quad (13)$$

suyun ondan aldığı sıcaklık miktarı:

$$\Delta Q_V = c_1 \cdot m_2 \cdot (t_{ST} - t_3) \quad (14)$$

Isıtılan cisim verdiği sıcaklık miktarı şöyle dağılmıştır suya ve kalorimetreye:

$$\Delta Q_{11} = \Delta Q_K + \Delta Q_V \quad (15)$$

Eğer denklem (12), (13) ve (14) denklem (15)'te değiştirilirse:

$$\begin{aligned} c_x \cdot m_2 (t_4 - t_{ST}) &= \\ &= C \cdot (t_{ST} - t_3) + c_1 \cdot m_2 \cdot (t_{ST} - t_3) \end{aligned} \quad (16)$$

Denklem (16)'da tüm büyüklükler bilinir, bilinmeyen cismin özel sıcaklık kapasitesi c_x şöyledir:

$$c_x = \frac{C \cdot (t_{ST} - t_3) + c_1 \cdot m_2 \cdot (t_{ST} - t_3)}{m_2 (t_4 - t_{ST})} \quad (17)$$

Bu şekilde katı cismin özel sıcaklık kapasitesi belirlenir.

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Tablo 2'de verilen farklı malzemelerin ısı iletim sabitelerini bakınız. Örneğimizde kullandığımız malzemelerin değerleri ne kadar farklıdır? Termo cam ve normal cam ne ile farklıdır bulunsun. Nedeni açıklansın.

2. Büyük göller yakınlığında iklim sakindir, kışlarda hafiftir yazlarda çok sıcak değildir. Böyle olmasının nedeni nedir açıklansın (Özel sıcaklık

kapasiteleri suyun, kumun ve toprağın Tablo 3'te bakınız).

3. Her günkü yaşamda başka yerde ısı taşınması nerde rastlanır.

4. "Evde bulunan malzemelerden termusu yapma" adlı projesini yapınız. Tasarlayın termusu yapınız, neden öyle yaptınız ve o malzemeleri aldınız açıklayın. Termustaki kayıpları araştırın.

5. Sıcaklık denge noktası bakışına göre, soğuk termometre ve sıcaklığı ölçülecek sıcak cisim temas gelirseler olay açıklansın.

Tablo 3. Bazı malzemelerin özel sıcaklık kapasiteleri	
Malzemeler	Özel sıcaklık kapasitesi (J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹)
Aluminyum	920
Su (25° C)	4181
Hava	1012
Odun	1200-2300
Demir	460
Bakır	385
Buz	2090
Kum, çimento	840
Toprak	800-1480

Aşağıdaki temel kavramların önemi açıklansın

- iç enerji
- özel sıcaklık kapasitesi
- ısılık miktarı
- sıcaklık kapasitesi
- sıcaklık
- kalorimetre
- termometre
- çizgisel genişleme
- çizgisel genişleme
- Selzius derecesi
- hacimsal genişleme
- Kelvin
- ısı iletimi
- ısı yayma,
- sıcaklık dengesi
- Radyasyon

10.5 ISI RADYASYON KANUNLARI

Cisimler belli t derecede ısıtıldıkları zaman elektromanyetik ışınma saçarlar, buna **sıcaklık ışınması** denir ve dalga uzunluğu cismin temeperatürüne bağlıdır.

Her cismin temperaturü mutlak sıfırdan yukarı olan sıcaklık dalgaları farklı dalga uzunluklarında saçarlar, bu dalga uzunlukları 760 nm ile 10^5 nm aralıkta uzanır.

Her cisim, sıcaklık ışınması yapan aynı anda dıştan gelen ışınmayı absorbe etme becerisine de sahiptir. Buna göre sıcaklık ışınmasının ters sürecine **sıcaklı absorpsiyonu** denir. Cismin temperaturü ortamdaki temperaturden büyükse sıcaklığını etrafa saçar ve kendisi soğur, enerjisi azalır.

Ortamdaki temperaturden kendisinin temperaturü daha küçük olunca sıcaklık absorbe edecek ve temperaturü yükselir taa ki ortamın temperaturü ile kendi temperaturü eşitleşsin. Her cisim belli temperaturde T kendi **yayma yeteneği** W_T ile karakterize edilir. Cisim enerjisinden zaman biriminde yüzey birimine normal gelen saçtığı toplam enerjii oluşturur:

$$W_T = \frac{E}{tS} = \frac{P}{S},$$

denklemde t yayma zamanıdır, S cismin sıcaklık yaydığı yüzeyi oluşturur.

Yayma yeteneği birimi SI sisteme göre $W \cdot m^{-2}$ dir.

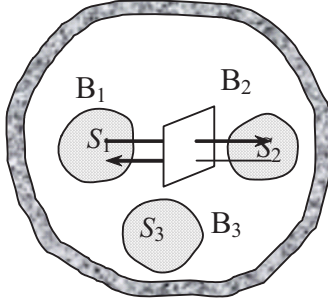
Cismin ışınması karakterize edildiği fiziksel büyüklüğüne *spektrum (tayf) yayma yeteneği* $W(\lambda, T)$ yada $W(f, T)$ denir, temperaturden mada dalga uzunluğuna yada frekansına bağlıdır.

Spektrum yayma yeteneği cismin belli temperaturünde zaman biriminde yüzey biriminden yaydığı enerji miktarı spektrumun frekans birimi aralığı ile verilmiştir.

Cisme düşen toplam enerjiden bir kısmı absorbe edilir diğer kısmı ise yansır. **Spektrum absorbe yeteneğini** $A(\lambda, T)$ zaman biriminde T temperaturde absorbe edilen enerji oranıdır. Deneyler spektrum yayma yeteneği $W(\lambda, T)$ ile spektrum absorbe yeteneği $A(\lambda, T)$ arasında belli bağ olduğunu gösterirler.

Birkaç cisim B_1, B_2, B_3 (Şekil 1.) ortamı ile termik dengede dirler, sabit şiddeti I olan ışınma altında bulunurlar, Δt zaman aralığı, S_1 birinci cismin yüzeyi ve spektrum yayma yeteneği $W_1(f, T)$:

$$W_1(f, T) S_1 dt \quad (2)$$



Şekil 1:

Aynı cisim absorbe edeceği enerji aynı zaman aralığında:

$$A_{1(fT)} S_1 I dt. \quad (3)$$

Her cisim termodinamik dengede yüzey biriminden yaydığı enerji absorbe ettiği kadardır:

$$W_{1(fT)} S_1 dt = A_{1(fT)} S_1 I dt, \quad (4)$$

termodinamik denge olayı için geçerlidir:

$$W_{2(fT)} S_2 dt = A_{2(fT)} S_2 I dt. \quad (5)$$

Cismin spektrum yayma yeteneği daha büyükse zaman biriminde yüzey biriminden enerji kaybı yapar.

Spektrum yayma yeteneği ile absorbe yeteneği arasında bağ şöyledir:

$$\frac{W_{1(fT)}}{A_{1(fT)}} = \frac{W_{2(fT)}}{A_{2(fT)}} = \dots = \frac{W_{(fT)}}{A_{(fT)}}. \quad (5)$$

Spektrum yayma yeteneği ile absorbe yeteneği oranı belli sıcaklıkta sabittir ve cismin doğasına ve geometrik boyutuna bağlı değildir.

Işınma enerjisinin tamamını absorbe eden cisime **mutlak siyah cisim** denir.

Mutlak siyah cismin spektrum absorbe yeteneği $A_{(fT)}=1$ dir, Reel cisimlerin ise birden küçüktür. Yayma yeteneği mutlak siyah cismin eşde edilir:

$$\frac{W_{(fT)}}{A_{(fT)}} = \frac{W_{(fT)}}{1} = E_{(fT)}. \quad (6)$$

Denklem (6) ile sıcaklık ışınması için Kirhov kanununu ifade edilir. *Belli sıcaklıkta spektrum yayma ve absorbe yeteneklerinin oranı her cisim için aynıdır.*

Kirhov kanunundan şu sonuçlara varılır:

1. *Aynı sıcaklıkta tüm cisimlerden mutlak siyah cismin en büyük yayma yeteneği vardır.*

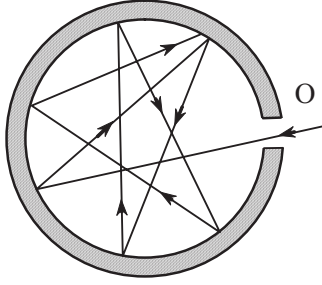
2. belli sıcaklıkta yayma yeteneği herhangi bir cismin spektrum absorbe yeteneğinin ve mutlak siyah cismin yayma yeteneğinin çarpımına eşittir.

$$W_{(fT)} = A_{(fT)} E_{(fT)} \quad (7)$$

3. her cisim yaydığı dalga uzunlukları en fazla absorbe eder.

Doğada mutlak siyah cisim bulunmaz, bazıları sınırlı dalga boyu aralıklarında kendi özellikleri ile mutlak siyah cisme benzerler.

Örnek, görünen ışığın dalga aralığında kurum katmanı ile örtülen cisim $a_{(f_T)}=0,98$ veya siyah platin katmanı ile örtülen cisim $a_{(f_T)}=0,95$ spektrum absorbe yeteneklerine sahiptirler.

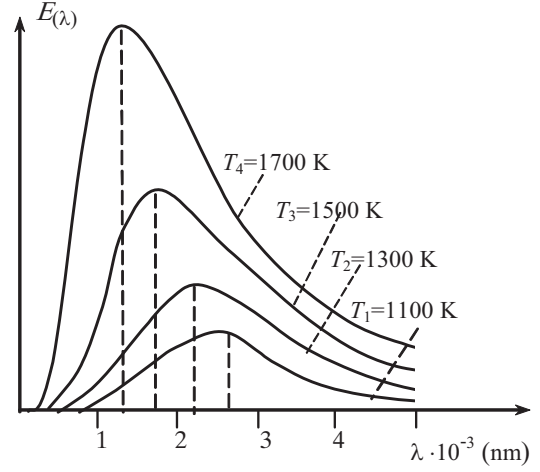


Şekil 2. Mutlak siyah cisim modeli

İyi mutlak siyah cisim modeli (Şekil 2) verilmiştir iç duvarları siyah renklidir ve O boşluğu vardır.

Boşluktan çok kez yansıyor çıkan ışınma mutlak siyah cismin yayabileceği şekilde ve boyuttadır. Boşluk O yüzeyi ne kadar daha küçük olursa her dalga uzunluğu için spektrum absorbe yeteneği bire yakın olacaktır. Aynı zamanda bize kadar kürenin boşluğu ve açıklık siyah görünür. Aynı sebeplerden dolayı mağaraların dar açıkları ya da evlerin açık pencereleri veya binaların açık kapıları uzaktan siyah gözükür.

Deneyssel olarak elde edilen bağıllık spektrum yayma yeteneğinin mutlak siyah cismin dalga uzunluğundan Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Farklı sıcaklıklarda siyah cismin yayma yeteneği eğrilerinin dağılımı dalga uzunluğu bağıllığına göre

Eğriler Lumer ve Pringshaym Alman bilim adamları tarafından elde edilmiştir. Eğrilerin şekillerinden şu sonuçlara varılır:

- sıcaklığın yükselmesiyle siyah cismin spektrum yayma yeteneği çabuk yükselir;
- her eğrinin birer maksimumu vardır, o anda mutlak siyah cisim enbüyük enerji ışıma yapar, λ_{max} .

Maksimum, enbüyük sıcaklıkta kısa dalga boylarına kayar;

- eğrilerin öyle olması cisimlerin ışıması iyi bilinen olayları açıklar, cisimlerin parlaklığı da çabuk artar

Düşük sıcaklıkta spektrum yayma yeteneğinin maksimum noktası dalga uzunlukları büyük olan bölgede yatar.

10.6. TERMOGRAFI VE ONUN UYGULANMASI

Her cisim mutlak sıfırdan büyük sıcaklık ışınları yayarak, elektromanyetik dalgalar sürekli spektrum aralığında birkaç nm ile 40000 nm arası.

Her cisim sıcaklık ışınları yayma yeteneğine sahipse aynı anda enerji absorbe yeteneğine de sahiptir.

Sıcaklık ışınları yada sıcaklığın ışınları ile iletilmesi elektromanyetik süreci temsil eder. Sıcaklık ışınları spektrumu dala uzunluğu 760 nm olan kırmızı ışıkla başlıyor daha büyük dalga uzunluklarına gözle görünmeyen kısımda infrakırmızı ışığı yer alır. İnfrakırmızı ışınları bölgesi 760 nm ile 14000 nm'ye uzanır.

Belli sıcaklıkta ışınları yapan her cisim yayma yeteneği W ile karakterize edilir. Yayma yeteneğinin ölçü birimi SI sistemde $W \cdot m^{-2}$ dir.

Cismi karakterize eden ikinci büyüklük absorpsiyon yeteneği dir. Her cisim herhangi bir sıcaklıkta ona düşen tüm elektromanyetik dalgalarının enerjisini absorbe etmesine **mutlak siyah cisim** denir.

Stefan-Bolçman kanununa göre mutlak siyah cismin toplam yayma yeteneği W_0 onun mutlak sıcaklığının dördüncü kökü ile doğru orantılıdır.

$$W_0 = \sigma T^4 \quad (1)$$

Denklemden orantı sabitesine σ Stefan-Bolçman sabitesi denir

$$\sigma = 5,670 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4} \quad (2)$$

Herhangi bir cismin yayma yeteneği mutlak siyah cismin yayma yeteneğinden küçüktür. Reel cismin yayma yeteneği:

$$W = eW_0 = \sigma T^4 \quad (3)$$

Yayma yeteneğinin boyutsuz sabitesi e dir. Mutlak siyah cisim için $e=1$ dir. Reel cisimlerin değeri ise $e<1$ tür.

Cisim ile ortam arasında sıcaklık farkına bakmadan cisim ortama sıcaklık saçarak. Ortamın sıcaklığı cisimle aynı olduğu zaman absorbe ettiği kadar sıcaklık saçarak. Cismin sıcaklığı T ortamın sıcaklığından T_s daha büyük olduğu zaman cisim daha fazla sıcaklık saçarak nitekim absorbe eder. Cisim zaman biriminde yüzey biriminden saçtığı enerjinin pozitif bilançosu:

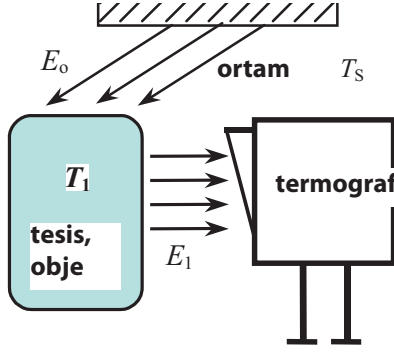
$$P_{tot} = S\sigma eT^4 - S\sigma eT_s^4 = S\sigma e(T^4 - T_s^4) \quad (4)$$

Sıcaklığı yakalamak için Stefan-Bolçman kanunu kullanarak infrakırmızı ışınların yakalanmasına **termografi** denir. Termografi yardımı ile sıcaklık da yakalanabilir.

İnfrakırmızı ışınları bu tür ışınların bulunması ve sıcaklığın ölçülmesi için kullanılır. 1959 yılında R. N. Lavson termogram yardımı ile sıcaklığı yükselmiş memedeki tümörü bulmuştur. Deri ışınları yakalanmasının gelişmesine askeri organizasyonları yardımcı olur, bu organizasyonlar askeri amaçlı bazı cisimleri infrakırmızı ışınları yardımı ile yerleştirirler.

Derideki temperatur değişimleri, birkaç dereceyi bile geçebilen kan dolaşımında ve deri altı dokularda farkları gösterir.

Tomografiden mada çok sayıda hastalıkların teşhisi için kullanılır.



Şekil 1. Termograf elde etmek için enstrümanların şematik gösterilmesi

Termogram yapılacak cisim normal şartları altında bulunur ve elde edilen temperatur dağılımı % 1 tamamlığı ile yapılır.

Tüm temperaturün görünen bir alanda taşınması *fotograf-termograf* ile kayıtlanır yada monitörde izlenir *termovizyon*. Şekil 2'de sigara için birinin elleri termogramda gösterilmiştir.

İnfrakırmızı ışımaya detektörleri gibi termistörler, yarıiletkenler, fotodiodler, termoelementler kullanılır. Fotodiyot gibi HgCdTe (Cıva-Kadmium-Tellür) kullanılır.

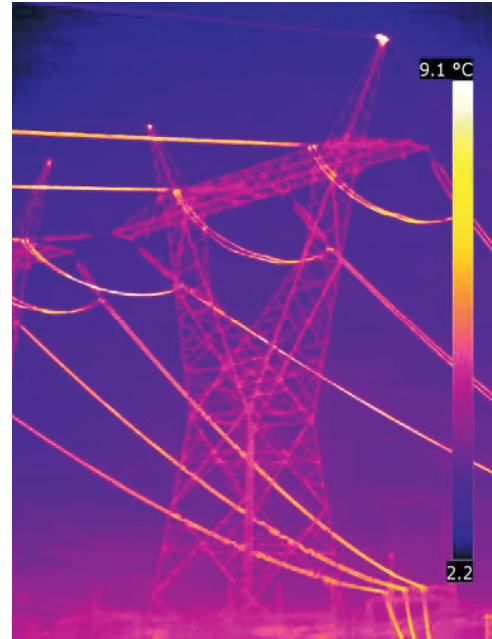
ÖRNEK 1. Denklem (4) kullanılarak insandan zaman biriminde ışımaya ile serbestlenen sıcaklık belirlenebilir. Eğer deri sıcaklığı 33° C= 306 K ve ortam sıcaklığı 20° C=293 K.

Çözüm: Işıma ile zaman biriminde serbestlenen sıcaklık:

$$P_{tot} = S W_T$$

$$P_{tot} = 1,73 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (306^4 - 293^4) = 137 \text{ W},$$

burada $e \approx 1$ dir, olgun kişilerde vücut yüzeyi $S=1,73 \text{ m}^2$ alınır. Çıplak vücudun sıcaklığı 20° C (293 K) olan metabolik süreçlerinde serbestlenen sıcaklıktan daha fazla sıcaklık saçar. Vücut temperaturünü normal tutmak için insan fiziksel etkinliklerini artırması gerekir.



Şekil 3. İletim hattının termogramı

Sorular ve ödevler

1. Mutlak siyah cisim nedir?
2. Termografi hangi kanunlarda çalışır?
3. Termografide hangi detektörler kullanılır?

10.7. ORAGNİZMANIN FİZİKSEL TERMOREGÜLASYONU

Tüm sıcakkanlı organizmaların ortak özelliklerinden biri iç sıcaklığının olmasıdır. Termoregülasyonun sabit durmasının temeli ve sıcaklığın sabit kalması organizmanın sıcaklığı dış ortamla değiştirmesinden kaynaklanır.

Canlı organizmalarda iç organların kaslarındaki egzoterm biokimyasal reaksiyonları esnasında büyük miktarda enerji serbeslenir. Yemeğin % 20'si işe dönüşür, % 80'i ise sıcaklığa dönüşür. Oturuken bile sıcaklık serbezlenmezse sıcaklık her saat 3° C yükselir.

İnsanda sıcaklığın sabit kalması ısı iletimi, taşınma, ışınma ve buharlaşma ile yapılır.

Sabit durumda sıcaklık flüksi ne zaman organizmada sıcaklık gradyanı zaman birimine bağlı sabittir, zaman biriminde oluşan sıcaklık miktarı, zaman biriminde verilen sıcaklık miktarına eşittir.

Genelde sıcak kanlı organizmaların iç sıcaklığı ortamın sıcaklığından büyüktür, bundan dolayı organizmada sıcaklık gradyanı içten dışa yönlüdür. Bundan dolayı organizmadan serbestlenen sıcaklık sürekli onun yüzeyine iletir. Bu ısı iletimi ve taşınma ile yapılır.

Diğer taraftan damarlarda sürekli hareket yapan kan iç kısımdan dış kısma önemli miktarda sıcaklık taşınma yoluyla iletirir.

Canlı organizmalarda sıcaklığın sabit kalması için sıcaklık iletimi ışınma ve buharlaşma ile yapılır. Kan sıcaklık kaynaklarından ve beyinin hisli kısımlarından (hipotalamus) geçer, organizmanın sıcaklığını ayarlar.

Suluk vermekle akciğerlerden ve terleyerek buharlaşma ile organizma sıcaklık miktarından kaybeder, bu esnada kaybedilen sıcaklık % 30 değerine kadar çıkabilir.

Fazla miktarda soğumadan korunmak için kan damarları toplanır ve o esnada taşınma ile sıcaklık iletimi azalır ve organizmanın dış kısımları ile ortam arasındaki sıcaklık farkı azalır.

Organizmanın iç kısmındaki sıcaklığın korunması için en büyük payı dış katmanın deriye yakın olanındır. İnsanda temel sıcaklık korunması elbiseleri arasında bulunan hava tarafından yapılır.

Zaman biriminde yüzey biriminden normal yönde verilen sıcaklık miktarına *sıcaklık flüksi* denir. Eğer T_{or} organizma sıcaklığı ise, T_k deri sıcaklığı o zaman organizmadan yüzeye iletilen sıcaklık miktarı:

$$Q_1 = C_1(T_{or} - T_k) , \quad (1)$$

C_1 ısı iletimi sabitesi.

Deri yüzeyinden dış ortama verilen sıcaklık flüksi Q_2 , deri sıcaklığına T_k ve ortam sıcaklığına bağlıdır T_{sr} :

$$Q_2 = C_2(T_k - T_{sr}) \quad (2)$$

denklemden C_2 ısı iletimi sabitesidir.

Normal şartlarda organizma sabit durumdadır, sıcaklık flüksleri iç organizmadan deriye ve deriden dış ortama eşittir:

$$C_1(T_{or} - T_k) = C_2(T_k - T_{sr}) \quad (3)$$

Buradan şu elde edilir:

$$\frac{C_1}{C_2} = r = \frac{T_k - T_{sr}}{T_{or} - T_k} \quad (4)$$

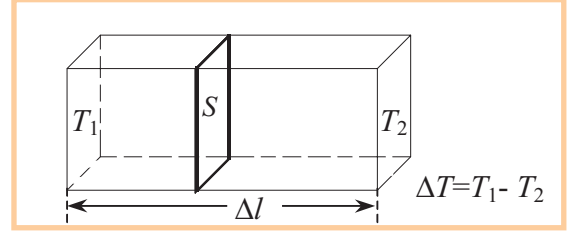
$r=C_1/C_2$ **buna kan akımı sıcaklık sabitesi denir yada sıcaklık akım endeksi** denir. Bunun değeri iç kısımdan dış yüzeye kan akışı ile belirlenir. r sabitesinin değeri bilinirse anestezi araçlarının etkisi araştırılırken yardımcı olur.

Sıcaklığın taşınma hızı ısı iletiminde Furie kanunu ile belirlenir:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = C S \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (5)$$

denklemden S zaman biriminde sıcaklık iletilen yüzeydir, Δx iki yüzey arasındaki mesafe ve tempratürleri T_1 ve T_2 dir, C ısı iletimi sabitesi, $\Delta T/\Delta x$ sıcaklık gradyanı (Şekil 1.).

Organizmadaki sıvıların (kan, kan plazması) ısı iletim sabitesi değer olarak suyun ısı iletim sabitesine benzerdir. Yağ dokuların, kemiklerin ve deri üst katmanının ısı iletim sabitesi düşüktür. Bundan dolayı der altı doku sıcaklık yalıtkanı gibi davranır.



Şekil 1.

Normal şartlarda ısı iletimi 15-20 % değere ulaşabilir organizmanın toplam serbeslenen sıcaklığından.

Tablo 1. Isı iletimi sabitesi

Malzeme	Isı iletim sabitesi
Gümüş	414
Demir	67
Hava	24
Deri	yaklaşık 0,3
Yağlı doku	yaklaşık 0,2
Kaslar, kan ve su	yaklaşık 0,6

Taşınma çok sayıda molekülerin büyük enerji miktarı ile sıcaklığın iletileceği mesafe akımını oluşturur. Bundan dolayı zorunlu ve serbest taşınma ikiye ayrılır.

Taşınma ile ısının iletim çok faktörlere bağlıdır, sıcaklık iletim hızı değer engeller yoksa şu denklemler verilir:

$$\frac{\Delta Q_T}{\Delta t} = k S \Delta T \quad (6)$$

burada S ve ΔT büyüklüklerin aynı anlamı vardır, k **taşınma sabitesi**.

İşınma, sıcaklığın iletimi işınma ile yapılır- sa maddesel ortama ihtiyaç duyulmaz. Dünyadaki yaşam için Güneş'ten enerjinin iletimi bu şekilde yapılır:

$$\frac{\Delta Q_T}{\Delta t} = e\sigma S T^4 \quad (7)$$

Stefan-Bolçman kanunu oluşturur ve σ Stefan-Bolçman sabitesi, S yüzey dir.

Cisimler kendi ortamlarında ışımayı yayarlar birde absorbe ederler denklem (7)'de olduğu kanun üzere. Sıcaklığın kabul etme ve verme bilançosu zaman biriminde:

$$\frac{\Delta Q_T}{\Delta t} = e\sigma S (T_{telo}^4 - T_{ok}^4) \quad (8)$$

denklemde T_{ok} ortam sıcaklığı, T_{telo} cisim sıcaklığı.

İnsan vücudu sıcaklığı ışıması ile en fazla sıcaklık kaybı yapar % 60 değerine kadar. İnsan vücudunun ışımasının dalga uzunluğu infrakırmızı kısmına düşer. Diğer taraftan onun derisine düşen ışımayı absorbe eder.

İnsanın sıcaklık ışıması deri sıcaklığına bağlıdır, çünkü kan dolaşımı ile iç organlardan deri yüzeyine sıcaklık iletimi yapılır.

Bu sürecin ayarlanması beyindeki hipotalamusta bulunan iki sinir merkezi ile yapılır. Biri kan sıcaklığının azalmasına hislidir, diğeri ise yükselmesine hislidir. Bu merkezlerden her biri sıcaklığın sabit kaması için bir değişiklik olduğu zaman sinir impuls olayı oluşturur ve özel mekanizma ile deride kan akımı olur ve ortamla sıcaklık değişimi yapılır.

Sorular ve ödevler

1. Normal termoregülasyon ve sıcaklığın sabit kalması için organizma dış ortamla sıcaklık değişimi yapar. Bu nasıl oluşur?

2. Kan akımı sıcaklık sabitesine r göre sıcaklık iletimi deri yüzeyinden dış ortama yapılırsa denklemi verilsin, eğer organizma sıcaklığı T_{or} ve ortam sıcaklığı T_{sr} bilinirse.

$$(Cevap. Q = C_2 \frac{r}{1+r} (T_{or} - T_{sr}))$$

3. Denklem (8)'i kullanarak deriden dış ortama sıcaklık ışıması yapılırsa hesaplınsın, eğer ortam sıcaklığı $T_{ok}=20^\circ C$, deri yüzeyi $S=1,7 m^2$ ve vücut sıcaklığı $T_{telo}=34^\circ C$, vücut için $e=0,9$; $\sigma=5,670 \cdot 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$ değerleri verilmişse. (Cevap. Deriden zaman biriminde fazla enerji saçılır nitekim metabolik süreci esnasında serbestlenen enerji.)

4. Sürtünme için Nefton kanunu, difüzyon için Fik kanunu ve ısı iletimi için Furiye kanunu karşılaştırma yapılabilir mi?

11.1. MÖLEKÜLER FİZİĞİN TEMEL KAVRAMLARI

Fiziğin bir parçası olarak molekül fiziği büyük sayıda atom ve molekülleri bağlı olan cisimlerde makroskopsik süreçleri araştırmaktadır. Çok sayıda moleküllerin özellikleri her molekülün özellikleri farklıdır ve istatistik kanunlarına dayanırlar. İstatistik fiziksel büyüklüklerin ortalama değerleri ile çalışır, her molekülün davranış ve özellikleri ile karakterize edilir. Orada belli kantitatif ve kalitatif bağ tüm moleküllerin özellikleri ve bazı büyüklüklerin ortalama değerleri kim ki her molekülün ayrı davranışını ve özelliklerini karakterize ederler. Örneğin, bir gazın sıcaklığı moleküllerinin ortalama kinetik enerji ile ilgilidir.

Gaz, sıvı ve katı cisimler sürekli haotik harekette bulunan atomlardan ve moleküllerden oluşmuşlardır. Bu haotik harekete Brown hareketi denir ve moleküller arası haotik çarpışmalar sonucu olarak oluşur.

XIX y.y. sonunda Jül, Klauziyus, Maxwell ve Boltzmann tarafından atomların ve moleküllerin sıcaklık olayları haotik hareketi ile açıklanmıştır. XX y.y. başında moleküllerin kütle büyüklüğü ve hareket hızları belirlenmiştir ve bununla moleküller-kinetik teorisi tamamlanmıştır.

Fizik bölümüne çok sayıda parçacıkların hareketlerini araştırmasına moleküller-kinetik teorisi denir.

Bu teorinin temel ayarları şunlardır:

1. moleküllerden oluşan her süpstant, aralarında moleküller alanı var;
2. moleküller sürekli haotik (düzensiz) hareket halindedir;
3. moleküler arası çekici ve itici kuvvetler etki eder, moleküller arası kuvvetler olarak bilinirler.

Ağırlık ve moleküllerin boyutu. Avogado sayısı

Herhangi bir makroskopik sistemin genel bir özelliği çok atom ve moleküllerden oluşmasıdır. Örneğin, 1m³ süpstant 10²⁶ molekül sayısı içermektedir. Atom ve moleküllerin boyutları çok küçüktür. Örneğin, su molekülünün çizgisel boyutu ~ 3·10⁻¹⁰ m.

Atomların mutlak ya da gerçek kütlesi çok küçüktür. Bu birleşik atomik kütle birimi u adlı özel bir birim ile ifade edilir. Bu karbon atomun ¹²C mutlak kütlesinin 1/ 12 olarak tanımlanır

$$u = \frac{m_C}{12} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg.} \quad (1)$$

Pratik hesaplamalarda mutlak kütleleri yerine rölatif molekül ve atom kütleleri kullanılır M_r ve A_r

$$M_r(A_r) = \frac{m_x}{u} = \frac{12m_x}{m_C}, \quad (2)$$

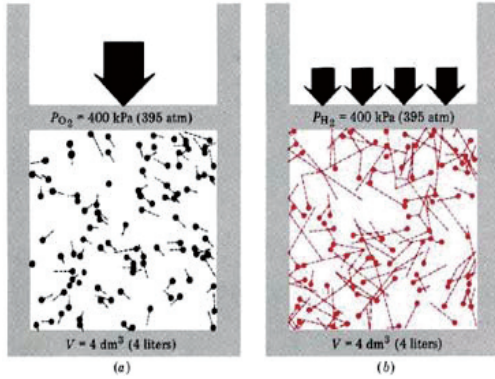
m_x molekülün kütlesi dir veya atom kilogram olarak ifade edilmiştir. *Bir atomun kütlesi Karbon 12 atomun kütlesinin 1/12 'den kaç kez büyük olduğu gösteren sayıya rölatif molekül (atom) kütlesi denir.* Bu boyutsuz fiziksel büyüklüktür. Örneğin, oksijenin rölatif molekül kütlesi 32 ve rölatif atom kütlesi 16'dır.

Ama, ağırlık madde miktarının bir ölçüsü değildir. Madde miktarının ölçü birimi SI sisteminde mol (mol) dur ve işareti n yada ν dir. Mol madde miktarı kapsadığı yapısal elemanlar karbon izotopu ¹²C de 0,012 kg'da atom eşit sayısı kadarı oluşturur. Herhangi bir maddenin yapısal elemanların sayısı aynıdır mol sayısı gibi tanımlanır değeri deneysel olarak belirlenir ve Avogado sayısı denir.

$$N_A = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} = 6,023 \cdot 10^{26} \text{ kmol}^{-1}. \quad (3)$$

Avogadro kanunu şöyledir: **İdeal gazların eşit hacimlerinde aynı sıcaklık ve basınçta molekülleri eşit sayıda (atom) 'dır.**

Örneğin, 1 mol oksijende N_A oksijen molekülleri vardır, 1 mol hidrojende N_A hidrojen molekülleri vardır (Şekil 1).



Şekil. 1 Avogadro kanunu. a) O_2 ve b) H_2 eşit sayıda molekülleri aynı basınç altında ayrı kablarda görüntülenir.

Avogadro kanununa göre, bir mol (1 mol) herhangi bir gaz, eşit koşullarda, aynı hacim kaplar. Madenin 1 mol kütlelerine mol kütlesi M veya μ denir, SI sisteminde birimi kilogram mol (kg / mol) 'dur. Mol kütlesi mol başına gram (g / mol) olarak ifade edilmiştir. 1 mol maddede N_A moleküller vardır ve bir molekülün mutlak kütlesi m_x olduğuna göre mol kütlesi M eşittir

$$M = N_A m_x \quad (4)$$

Yani, eşit miktarlarda maddelerin farklı kütleleri var. Hidrojen, oksijen ve azot'un mol kütleleri, sırasıyla 2 g/mol, 32 g/mol ve 28 g/mol.

Moleküller arası kuvvetler

Moleküller arasındaki çekim kuvvetleri elektrik doğası vardır, gravitasyon kuvvetleri elektrik kuvvetlere göre önemsiz küçük dürler. Moleküller arası mesafeye bağlıdır: küçük mesafelerde sadece önemlidirler, moleküller aralarındaki mesafe büyüdükçe ihmal edilebilirler. Katılarda, atomlar kristal kafeste düzenlenirler ve serbestçe öteleme hareketi yapamazlar, sadece denge durumları etrafında titreyebilirler. Gazlarda atomlar (veya moleküller) birbiriyle buldukları kabda haotik hareketi yüzünden bağlı değildir. Hareketin yönünü değiştirirler, çünkü aralarında karşılıklı çatışmalar ve buldukları kabın duvarları ile çatışmaları yüzünden çıkar. Gaz parçacıkları arasında çatışmalar elastik, ve iki çatışma arasındaki hareket yolu (Şekil 2) doğru dur.

Şekil 2. elastik çatışmalar

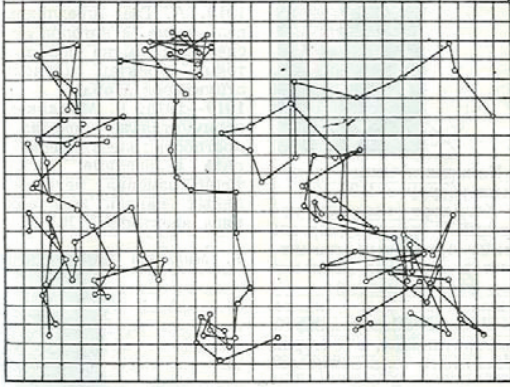
Şekil 2.

Moleküller arası hareket. Brown hareketi

Moleküllerin haotik hareketi Brown tarafından onaylanır. O mikroskop yardımı ile maddenin çok küçük parçacıkları bitkilerin hücrelerinde sürekli ve haotik hareket etdiklerini fark etmiştir. Aynı şekilde kil maddesinin çok küçük parçacıkları hareket ederler yada herhangi bir maddenin parçacıkları sıvıda ve gazda hareketleri, örneğin toz parçacıkları güneş ışınları demetinde. Parçacıklar daha küçükseler daha hızlı hareket ediyorsa. Bu olay XIX y.y ikinci yarısında açıklanmıştır. Parçacıkların böyle hareketi yer aldıkları sıvı veya gaz molekülleri arasındaki çatışmalar sonucundan kaynaklanır. Sıvı ve gaz moleküllerinin böyle sürekli ve haotik hareketine Brown hareketi denir.

11. Moleküller fiziği

Moleküllerin hareket yörüngesi zig-zag kırık çizgili Şekil 3'te verilmiştir. Brown hareketi ilk olarak 1872 yılında polen tozunun suda davranışı İskoçlu botanikçi Robert Brown tarafından gözlemlenmiştir.



Şekil 3

Sıvı veya gazın sıcaklığı daha büyükse, moleküllerin hareketi daha yoğundur.

Moleküler-kinetik teorisi yardımı ile birçok olaylar ve termik büyüklükleri açıklanabilir, örneğin, gaz basıncı, maddenin hal durumunun değişimi, sıcaklık enerji iletimi, cisimlerin ısı değişimi ve benzeri.

Sorular, ödevler, faaliyetler

1. Moleküler-kinetik teorisi temel ayarları kimlerdir?
2. Birleşik atom kütle birimi nedir? Molekül ağırlığı nedir ve neden boyutsuz bir büyüklüktür?
3. Bazı elementlerin atom kütleleri ve bazı bileşiklerin moleküller kütleleri için örnekler gösterin.
4. Madde miktarı nedir? Mol birimini tanımlayın? Avogadro sayısı nedir?
5. Moleküllerin sürekli kaotik hareketini açıklayın?

6. Moleküller arası kuvvetler nasıldır? Hangi cisimlerde en güçlüdürler, hangilerinde ise en zayıf dır?
7. Azot ve oksijenin atom kütlelerini bilerek, NO_2 moleküler ağırlığı hesaplan. Nektar NO_2 molekülü 1 gram NO_2 'de vardır. Nektar NO_2 molekülü 1 cm^3 NO_2 'de normal şartlarda vardır.

Aşağıdaki temel kavramların önemi açıklansın (gerekli olduğu yerde örnekler belirtiniz):

- moleküler-kinetik teorisi
- birleşik atom kütle birimi
- rölatif molekül (atom) kütleleri
- madde miktarı
- Avogadro sayısı
- mol hacmi
- mol kütleleri
- mol
- Moleküller arası kuvvetler
- Brown hareketi

11.2. SICAKLIK. SICAKLIĞIN ÖLÇÜNMESİ

Termal olayların kantitatif açıklanması için sıcaklık, ısı ve iç enerji kavramları dikkatlice bir tanımla gerektirir. Termal olayları ile ilgili işimiz olduğunda, cisimlerin yapısı önemli bir faktör gibi ortaya çıkmaktadır. Örneğin, sıvı ve katı cisimleri ısıtıldıkları zaman önemsiz ölçüde genişlerler, aksine gazlar ısıtıldığında önemli ölçüde genişlerler. Eğer gaz genişlemek için serbest değilse, ısıtıldığı zaman basıncı yükselir. Bazı maddeler eriyebilir, kaynayabilir, yanabilir veya patlayabilir, onların bileşiklerine ve yapısına bağlı olarak. Demek ki, maddenin termik davranışı yapısı ile ilgilidir.

Sıcaklık kavramını cismi dokunduğunuzda bize sıcak veya soğuk hissi vermekle ilişkilendiririz.

11. Moleküller fiziği

Böylece, duyularımız sıcaklık için niteliksel bir gösterge oluşturur. Ancak, duyu güvenilir ve genellikle yanıltıcı olabilir. Eğer derin dondurucuda metal tepsi ve bir karton kutu ile dondurulmuş sebzelelerin yerini değiştirdiğimiz zaman, bizim elimize metal tepsi, karton kutudan daha soğuk hissi verir, olsun ki onalar aynı temperatüre sahiptirler. Her iki cismi farklı hissederiz çünkü metal kartondan ısıyı daha iyi iletir. Bilim adamları sıcaklığın kantitatif ölçülmesi için farklı termometreler geliştirmişler.

Bildiğimiz gibi iki farklı cisim temasa koydukları zaman ortalama sıcaklık ulaşırlar. Örneğin, bir parça et buz üzerine yerleştirildiği zaman 0°C sıcaklığa ulaşır. Benzeri, sıcak kahve fincanında buzu koyduğumuz zaman, eriyecek, kahve sıcaklığı azalacaktır.

İki cisim A ve B termik temasta olmadıkları halde düşünelim, üçüncü bir cisim C, bizim termometremizdir. Görevimiz A ve B termik dengede olup olmadığını belirlemektir. Termometre (cisim C) ilk cisim A ile temasta termik denge kurulana kadar bulunur. Bu noktadan itibaren, termometre bir sabit gösterir. Sonra termometre cisim B ile termal temasa getirilir ve termal denge sonrası, o da bir sabiti gösterir. Eğer gösterilen sabitler eşitse, o zaman A ve B cisimleri birbiriyle denge içindedir. Bu ifade kolayca deneysel olarak belirlenir ve sıcaklığı tanımlamak için kullanılır ve çok önemli olabilir. Sıcaklık bir özellik gibi algılanır ve bir cisim diğer cisimlerle termal dengede olup olmadığını belirlenir. *İki cismin aynı sıcaklık temperatürü varsa termal denge içindedir.*

Tersi, iki cismin farklı sıcaklıkları varsa onlar termal dengede değildir.

Herhangi türde bir termometre tasarlanırsa, termometre cismi ve sıcaklığına bağlı bir parametre seçilmelidir. Termometre cismi bir gaz (örneğin hidrojen) ve sıvı (cıva veya alkol) ola-

bilir. Sıcaklığına bağlı olarak alınan gazın hacimi sıcaklık parametresi hemen hemen çizgiseldir. Sıcaklık parametresi gibi elektriksel direnç veya bazı iletken veya yarıiletkenlerin termo elektromotor kuvveti, yada kızgın halde olan cisimlerin ışınma şiddeti, fakat onun monoton ve bazı sürekli yasalara göre değişmesi gerekir.

Pratikte en sık kullanılan temperatür ölçeklerinden - Selzius ölçeği kullanılır. Bu sıcaklık cismi gibi sıvı hacimının çizgisel sıcaklık bağımlılığına göre belirlenir. Ölçeğin birimleri, termal dengede olduğunda nispeten sıfır (0°C) işaretli ölçek, termometre tüpte cıva seviyesi teğet olduğu seviyede, normal atmosfer basıncında eriyen buzla cıva termal dengede bulunur, ve yüz (100°C) işaretli ölçek, termometre tüpte cıva seviyesi teğet olduğu seviyede, normal atmosfer basıncında 101.325 Pa kaynayan su buharı ile termal dengede bulunur. Bu noktalara kriter noktaları denir.

Cıvalı ve alkollü ve elektrik termometreler (termoelementli ve dirençli) kullanılır.

Selzius'ten mada daha iki temperatür ölçeği kararlaştırılmıştır: ampirik mutlak sıcaklık ölçeği Şarl kanununa dayanan ve termodinamik mutlak sıcaklık ölçeği termodinamiğin ikinci kanununa dayanır.

Aşağıdaki temel kavramlara anlam verin (gerektiği yerde örnekler veriniz):

- sıcaklık
- sıcaklık ölçekleri
- termal denge
- termometre

11.3. TEMEL GAZ KANUNLARI

Madde (cisim) gaz halinde olduğunda ve molekülleri arası yeterince büyük mesafeler olduğunda, o zaman böyle bir maddeye ideal gaz denir. İdeal gaz her gaz olabilir öyle ki molekülleri arasında ortalama mesafesi kendi molekülleri boyutlarından daha büyükse onlar arasındaki karşılıklı etki önemsiz sayılır.

Gaz durumu kendi **sıcaklık, hacim ve basınç** ile karakterize edilir. Bu üç değişken gazın makroskopik durumun temel parametreleridir. Bu parametreler birbirine bağımlıdır ve aralarında bir bağlantı yoktur. Genel olarak, üç parametreden, iki tanesi verilebilir, üçüncüsü diğer iki fonksiyonu ile belirlenir. Üç parametre arasında fonksiyonel bağımlılığı ifade edilen denkleme gazın durum denklemi denir.

İdeal gazın durum değişimi parametrelerden biri sabit tutulursa izlenebilir. Bu tür süreçlere **izoproses** denir.

İdeal gazın verilmiş kütlesi ($m = const$), sabit sıcaklıkta ($t = const$) basınç ve hacim arasındaki bağımlılığı *Boyl-Maryot kanunu* ile verilmiştir

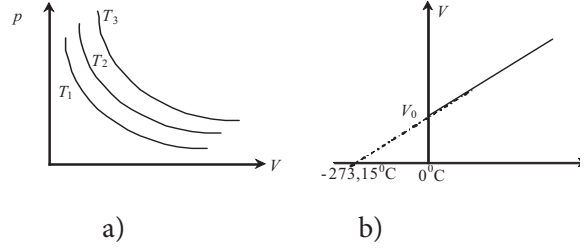
$$pV = const \quad (1)$$

Boyl-Maryot kanunu, p - V diyagramında grafiksel gösterilmiştir, bir hiperbolu oluşturur ve ona izoterm denir ve çeşitli sıcaklıklara uygundur. Sabit sıcaklıkta oluşan sürece izoterm süreci denir.

Sabit basınç ($p=const$) altında hacim sıcaklık bağımlılığı *Gey-Lisak kanunu* ile verilmiştir

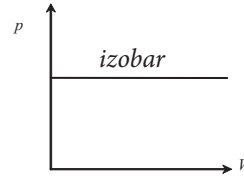
$$V = V_0(1 + \alpha_v t) \quad (2)$$

denklemde V_0 gazın hacımı sıcaklık $t = 0^\circ \text{C}$ dir, α_v ise *gazın hacimsal genişleme sıcaklık katsayısı* dir. Sürece izobar süreci denir sabit basınç altında gerçekleşir ve sıcaklığı t hacim V bağımlılığı veren eğriler Şekil 1b'de gösterilmiştir.



Şekil 1.

p - V diyagramında izobar süreci grafiksel hacminin ve basınç bağımlılığı görüntülendiğinde, doğru izobar gibi bilinen (Şekil 2) elde edilir.



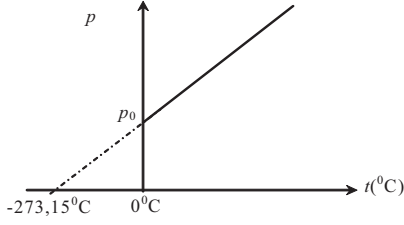
Şekil 2.

Sabit hacim ($V = const$) altında basınç ve sıcaklık arasındaki bağımlılık *Şarl yasası* ile verilir

$$p = p_0(1 + \alpha_p t) \quad (3)$$

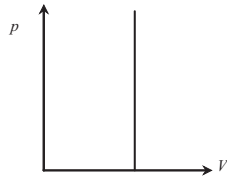
p_0 gazın basıncı $t = 0^\circ \text{C}$ sıcaklığında, α_p ise *basınç sıcaklık sabitesi* dir. Sürece izohorent süreci denir, sabit hacimde gerçekleşir ve basıncın p sıcaklıkta t bağımlılığını gösteren eğriler Şekil 3' gösterilmiştir.

11. Moleküller fiziği



Şekil 3.

Eğer izohor sürecinde p - V diyagramında grafiksel basıncın hacimden bağımlılığı gösterilirse doğru izohor gibi bilinen (Şekil 4) elde edilir.



Şekil 4.

Boyl-Maryot yasasından ideal gazlar için geçerli olduğunu

$$pV = p_0V_0(1 + \alpha_p t_1)(1 + \alpha_v t_1)$$

$$(1 + \alpha_p t_1)(1 + \alpha_v t_1) = 1$$

yani deneysel değeri $\alpha_v = \alpha_p = \alpha$, tüm ideal gazlar için

$$\alpha = \left(\frac{1}{273,15} \right) \frac{1}{^\circ\text{C}} \quad (4)$$

Sabit hacimde gaz basıncının sıcaklıktan bağımlılığı, (p - T) diyagramda görüldüğü gibi çizgisel dir. Basınç sıfır ($p = 0$) olana kadar düşük sıcaklıkta doğru hareket ettirilir, yeni sıcaklık ölçeği tasarlanabilir ve deneysel sıcaklık ölçeği denir.

Gaz basıncı sıfıra eşit olduğu sıcaklık, bu ölçekte mutlak sıfır olarak alınır. Mutlak sıfır deneysel sıcaklık ölçeğinde $t = -273,15$ °C sıcaklığa

Selzius ölçekte karşılık gelir. Mutlak ve Selzius sıcaklığı arasındaki ilişki şu denklemlerle verilir

$$T = 273,15 + t \quad (5)$$

Normal basınçta buzun erime sıcaklığı ($p_0 = 1,013 \cdot 10^5$ Pa) dır ve uygun gelen sıcaklık $T_0 = 273,15$ K ($t_0 = 0$ °C) ve kaynama su sıcaklığı normal basınçta uygun gelen sıcaklık $T = 373,15$ K ($t = 100$ °C).

Mutlak sıcaklığı alınırken, Gey-Lisak ve Şarl kanunları şu şekilde yazılır

$$V = V_0 \left(1 + \frac{T - 273,15}{273,15} \right) = V_0 \frac{T}{273,15}$$

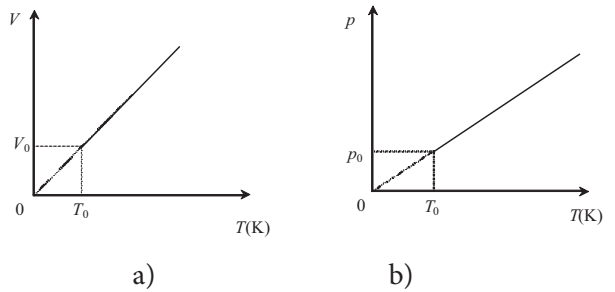
$$p = p_0 \left(1 + \frac{T - 273,15}{273,15} \right) = p_0 \frac{T}{273,15}$$

veya

$$V = V_0 \frac{T}{T_0}, \quad \frac{V}{T} = \text{const} \quad (6)$$

$$p = p_0 \frac{T}{T_0}, \quad \frac{p}{T} = \text{const} \quad (7)$$

Sabit basınç altında sıcaklık T hacim V bağımlılığı, Şekil 5a'da (V - T) diyagramında verilmiştir ve çizgisel olduğu gösterilir. Sabit hacim altında sıcaklık T basıncı p bağımlılığı Şekil 5b (p - T) diyagramda verilmiştir.



Şekil 5.

11. Moleküller fiziği

Şekil 5a'da mutlak sıfır ($T = 0$ K) sıcaklıkta gaz hacimi sifira eşit olduğunu gösterir. Hacim yok olursa maddenin yokolmasında karşılık gelir, bu da doğanın temel yasasına aykırı gelir: **maddenin yok olmama kanunu**. Bu nedenle, gaz yasaların uygulanabilirliği sadece ideal gazlar için doğru dur veya uygun şartlarda gaz ideal gaz özelliklere sahip olur.

Çağdaş fizikte sıcaklık büyüklüğü önemli yer alır ve termodinamik sıcaklık birimi Kelvin (K) şöyle tanımlanır: Kelvin termodinamik sıcaklığının $1 / 273,16$ eşittir. Suyun üçlü noktasının denge sıcaklığı: buz, su ve buhardır. Suyun üçlü noktası üç aşamadan sabit sıcaklıktır. Termodinamik Kelvin ölçekli suyun üçlü noktasının sıcaklığı $273,16$ K. Eski dönemden mutlak yerine termodinamik sıcaklık kullanılır.

Dalton kanunu

Pratikte gazlar karışımları ensık karşılaşılır (örneğin, hava azot ve oksijen ve diğer gaz karışımıdır, iç yakıtlı motorların çalışma cismi mazot ve hava karışımıdır). Eğer gaz karışımı n bileşenden oluşmuşsa onların eşit miktarda payı vardır $V_1 = V_2 = \dots = V_n = V$ ve sıcaklık denge durumunda sıcaklıkları karışım sıcaklığına eşittir $T_1 = T_2 = \dots = T_n = T$.

Her bileşenin basıncı karışımın basıncından daha düşüktür ve buna kısmi basıncı p_i denir. Bileşenin madde miktarı karışımında ne kadar büyükse o kadar da onun kısmi basıncı büyüktür. Diğer bileşenlerin kısmi basınçları alınan bileşenin basıncına etki edemezler.

Dalton kanununa göre, ideal gazların karışım basıncı bileşenlerin kısmi basınçları toplamına eşittir

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n, \quad (8)$$

denkleminde $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$ kısmi basınçlarıdır.

Sorular, ödevler, faaliyetler

1. İdeal gazın temel özellikleri kimlerdir.
2. Hangi parametrelerle ideal gazın durumu belirlenir.
3. p - V diyagramında izoterm, izobar ve izohor çiziniz. Hangi kanunlar uygun süreçlere geçerlidir. Matematik denklemleri kanunlara veriniz.
4. İzobar ve izohor süreçlerini V - T ve p - T diyagramlarında temsil edin. Bu diyagramlardan ne sonuca varılır.
5. Gaz haciminin genişle sabitesi nedir ve değeri nekadardır?
6. Basınç sıcaklık sabitesi nedir ve değeri nekadardır?
7. Kelvin birimini tanımlayın.
8. Dalton kanunu ne ile ilgilidir. Bu kanunun matematiksel denklemini yazınız.

Temel kavramların anlamını verin (gerekli olduğunda örnekler verin):

- ideal gaz
- izoproses
- izoterm
- izobar
- Basınç sıcaklık sabitesi
- izohor
- deneysel sıcaklık ölçeği
- mutlak sıfır
- maddenin yok olmama kanunu
- kısmi basınç

11.4. İDEAL GAZIN TEMEL DURUMU DENKLEMİ

Gaz miktarı durumu üç parametre tarafından belirlenir: basıncı p , hacim V ve sıcaklık T . Bu parametreler bunlardan biri değişirse kalan iki parametrenin değişmesine yol açar, böylece birbirleriyle belli kurala göre ilişkidir. Aralarındaki ilişki analitik şekilde fonksiyon gibi verilebilir

$$f(p, V, T) \quad (1)$$

Belirli bir gaz parametreleri arasındaki ilişkiyi belirleyen denkleme gazın durum denklemi denir. Bu denklemi elde etmek için bir durumdan başka bir duruma ideal gazın belirli miktarda geçişi dik-kate alacaktır. İdeal gazın kütlesi m ($m = const$) başlangıç durumdaki parametreleri p_0 , V_0 ve T_0 ile karakterize edilir ve normal koşullara uygundur (normal şartlarda $p_0 = 1,01 \cdot 10^5$ Pa ve sıcaklık $T_0 = 273, 15$ K). Son durumu parametreleri p , V ve T ile tarif edilir.

Gaz geçişi başlangıç durumdan son duruma kadar iki aşamalı olarak bakabiliriz:

$$\begin{array}{ccc} p_0, V_0, T_0 & \xrightarrow{T=Const} & p, V', T_0 \\ pV', T_0 & \xrightarrow{p=Const} & p, V, T \end{array}$$

İlk aşamada sabit bir sıcaklıkta ($T_0 = const$) gerçekleşir ki, basınç ve hacim arasındaki bağımlılık Boyle-Maryot kanunu ile verilmiştir

$$p_0V_0 = pV' \quad (2)$$

buradan

$$V' = \frac{p_0V_0}{p} \quad (3)$$

İkinci aşama sabit basınç ($p = const$) altında gerçekleşir, bir izobar süreci oluşturur. Sabit ba-

sınc altında hacim ve sıcaklık arasındaki bağımlılık Gey-Lisak kanunu ile verilir

$$V = V' \frac{T}{T_0} \quad (4)$$

yukarıdaki denklemde V' yerine denklem (3) alınrsa, elde edilir

$$V \frac{T_0}{T} = \frac{p_0V_0}{p}, \quad \frac{pV}{T} = \frac{p_0V_0}{T_0} = const \quad (5)$$

Önceki denklem ideal gaz durum denklemidir.

Denklem (5) 1 mol gaz miktarı için yazılınsın

$$\frac{pV_m}{T} = \frac{p_0V_{0m}}{T_0} = const \quad (6)$$

Normal şartlar altında, yani $T_0 = 273,15$ K ve $p_0 = 1,01 \cdot 10^5$ Pa, her gazın molar hacmi $V_{0m} = 22,4 \cdot 10^{-3}$ m³/mol eşittir.

Eğer p_0 , V_{0m} ve T_0 için gelen değerler yerine değiştirilirse, denklem (6)' sabit değer elde edilir

$$\begin{aligned} R &= \frac{p_0V_{0m}}{T_0} = \frac{1,01 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol}}{273,15 \text{ K}} \\ &= 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \end{aligned} \quad (7)$$

Bu sabite evrensel gaz sabiti olarak bilinir. Sabit R alınarak, 1 mol ideal gaz durum denklemi

$$pV_m = RT \quad (8)$$

Denklem (7)'den 1 mol gaz için, kolayca herhangi bir gaz kütlesi m için, eşit basınç ve sıcaklık altında, n mol kadar gaz n katı kadar daha büyük hacim gösterir: $V = nV_m$.

$$pV = \frac{m}{M} RT = nRT \quad (9)$$

11. Moleküller fiziği

Denklem (9) ideal gazın durumu için Klapeyron denklemi olarak bilinir. Bu denklem farklı bir biçimde yazılabilir. Sabite alınarak

$$k = \frac{R}{N_A} \quad (10)$$

ifade (9) dönüşür

$$pV = \frac{m}{M} k N_A T = n N_A k T \quad (11)$$

Büyüklik k Bolçman sabitesidir ve evrensel gaz sabitesinden R daha derin bir fiziksel anlam vardır. Evrensel gaz sabitesinin R ve Avogadro sayısı N_A değerlerini değiştirmekle, Bolçman sabitesi elde edilir

$$k = \frac{8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol K}}}{6,023 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}} \quad (12)$$

$n N_A$ çarpımı gazın m kütleindeki moleküller sayısına N eşittir. Denklem (11)'de $N = n N_A$ değiştirilmeyle, elde edilir

$$pV = NkT \quad (13)$$

Yukarıda ifade gaz V hacımı ile bölünürse ve N/V moleküller sayısı hacim biriminde n , elde edilir

$$p = nkT \quad (14)$$

Denklem (9), (13) (14) **ideal gaz durumu için Klapeyron denklemin** farklı biçimleridir.

Gazların ideal bir karışım için Klapeyronovata denklem biçiminde yazılır

$$pV = \sum_i \frac{m_i}{M_i} RT = \frac{m}{\langle M \rangle} RT \quad (15)$$

burada m gaz karışımının kütlesi ve $\langle M \rangle$ karışımın ortalama mol kütlesi ve şöyle verilir

$$\langle M \rangle = \frac{m_1 + m_2 + \dots + m_i}{n_1 + n_2 + \dots + n_i}$$

Burada $n_i = m_i / M_i$ i-inci bileşenin mol sayısı, p Dalton kanunuyla belirlenen karışımın basıncıdır. Örneğin, hava azot-oksijen-diğer gazlar karışımıdır, ortalama mol kütlesi var $\langle M \rangle \equiv M_v = 29 \text{ kg/mol}$.

Denklem durumu, ve temel gaz kanunları ideal gaz ile ilgilidir. Praktikte bu kanunların çoğu reel gazlar için geçerlidir, reel gazların düşük sıcaklığında veya yüksek basınç durumlarda uygulanmaz. Reel gazların öyle şartlarda ideal gaz özellikleri yoktur. Bu şartlarda moleküllerin boyutları göz önüne alınır ve aralarındaki mesafe ise önemsizdir. Böyle reel şartları için Klapeyron denkleminde değişiklik yapılır ve başka bir denklem elde edilmektedir.

Örnek ödevler. İdeal gaz kanunu ile ilgili tüm ödevler Klapeyron denklemi uygulanarak çözülebilir. Burada bu hususta üç ödev işlenebilecek.

Örnek 1. Silindir kesit yüzeyi $S = 100 \text{ cm}^2$ olduğuna göre $t_1 = 12 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta bulunur. Atmosfer basıncı $p_1 = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Silindirin $h_1 = 60 \text{ cm}$ yüksekliğinde piston bulunur ve üzerinde kütlesi $m = 100 \text{ kg}$ ağırlık konulur, silindirdeki hava $t_2 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklığa ısıtılır. Piston ve silindir arasındaki sürtünme önemsizdir.

Verilenler:

Aranılan:

$$S = 100 \text{ cm}^2$$

$$\Delta h = ?$$

$$t_1 = 12 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$p_1 = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$h_1 = 60 \text{ cm}$$

$$m = 100 \text{ kg}$$

$$t_2 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$$

11. Moleküller fiziği

Çözüm.

Klapeyron denklemi her iki koşul için yazılır

$$p_1 V_1 = nRT_1 \quad (1)$$

$$p_2 V_2 = nRT_2 \quad (2)$$

Basınç p_2 atmosfer basıncı ile dengelenmiştir artı piston basıncı

$$p_2 = p_1 + G/S \quad (3)$$

Denklem (1) ve (2)'yi bölerek

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad (4)$$

Çünkü

$$\frac{V_1}{V_2} \equiv \frac{Sh_1}{Sh_2} = \frac{p_2 T_1}{p_1 T_2} \quad (5)$$

elde edilir

$$\frac{h_1 - h_2}{h_1} = \frac{p_2 T_1 - p_1 T_2}{p_2 T_1} \quad (6)$$

bundan da şu elde edilir

$$\Delta h = h_1 - h_2 = h_1 \left(1 - \frac{p_1 T_2}{p_2 T_1} \right) = 27 \text{ cm.} \quad (7)$$

Örnek 2. Cam balonun kütlesi üç kez ölçülmüş-tür: tahliye edilmiş, hava ile doldurulmuş

atmosfer basıncında $p_0 = 10^5$ Pa ve bilinmeyen bir gaz basıncı altında $p = 1,5 \cdot 10^5$ Pa. Elde edilen kütleler: $m_1 = 200$ g, $m_2 = 204$ g, ve $m_3 = 210$ g. Bilinmeyen gazın mol kütlesi belirlensin eğer havanın mol kütlesi $M_V = 29$ kg / mol.

Verilenler:

$$p_0 = 10^5 \text{ Pa}$$

$$p = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$m_1 = 200 \text{ g}$$

Aranılır:

$$M_G = ?$$

$$m_2 = 204 \text{ g}$$

$$m_3 = 210 \text{ g}$$

$$M_V = 29 \text{ kg/mol}$$

Çözüm.

Balon hava ile dolu olduğunda:

$$p_0 V = \frac{m_V}{M_V} T \quad (1)$$

bilinmeyen gaz ile dolu olduğunda

$$pV = \frac{m_G}{M_G} T \quad (2)$$

Denklem (1) ve (2)'yi, bölerek

$$\frac{p_0}{p} = \frac{m_V M_G}{m_G M_V} \quad (3)$$

elde edilir

$$M_G = \frac{m_G M_V}{m_V} \frac{p_0}{p} \quad (4)$$

Ödevin şartından elde edilir

$$m_G = m_3 - m_1, \quad m_V = m_2 - m_1 \quad (5)$$

bilinmeyen gaz kütlesi için elde edilir

$$M_G = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \frac{p_0}{p} M_V = 48 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}. \quad (6)$$

Örnek 3. İki kab hava ile doludurlar birbirleri arasında boru ile bağlıdır ve boruda vana bulunur. Birinci kab sıcaklığı $t_1 = 100$ °C diğer bir kab içinde bulunur, diğer ise temperaturü $t_2 = -20$ °C olan soğutucu karışımında bulunur. Başlangıçta vana kapalı olduğunda, birinci kabın basıncı $p_1 = 4 \cdot 10^4$ Pa ve ikinci kabın basıncı $p_2 = 15 \cdot 10^3$ Pa. Hava basıncı vananın açılması ile nekadardır eğer birinci kabın hacımı $V_1 = 250$ cm³ ve $V_2 = 400$ cm³?

11. Moleküller fiziği

Verilen: Aranılan:

$$t_1 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_2 = -20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$p_1 = 4 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

$$p_2 = 15 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

$$V_1 = 250 \text{ cm}^3$$

$$V_2 = 400 \text{ cm}^3$$

$$p = ?$$

Çözüm.

$$p_1 V_1 = n_1 R T_1, \quad p_2 V_2 = n_2 R T_2 \quad (1)$$

$$p_1 V_1 = n_1' R T_1, \quad p_2 V_2 = n_2' R T_2 \quad (2)$$

denklemlerden (1) ve (2) elde edilir

$$n_1 = \frac{p_1 V_1}{R T_1}, \quad n_2 = \frac{p_2 V_2}{R T_2} \quad (3)$$

$$n_1' = \frac{p_1 V_1}{R T_1}, \quad n_2' = \frac{p_2 V_2}{R T_2} \quad (4)$$

Madde miktarı değişmez durumda kalır

1

$$n_1 + n_2 = n_1' + n_2' \quad (5)$$

denklemler (3), (4) ve (5) yardımıyla, elde edilir

$$p = \frac{p_1 V_1 T_2 + p_2 V_2 T_1}{V_1 T_2 + V_2 T_1} = 22,5 \cdot 10^3 \text{ Pa.} \quad (6)$$

Sorular, ödevler, faaliyetler

1. İdeal gaz durum denklemini yazın. Geçerli olmadığı zaman?
2. Evrensel gaz sabiti nedir ve değeri nekadardır?
3. Bolçman sabitesi nasıl belirlenir ve değeri nekadardır?

4. İdeal gaz karışımının Klapeyron denklemini yazın. Karışımın ortalama mol ağırlığı nasıl belirlenir?

5. Bir ucu kapalı dar bir silindirde hava bulunur ve cıva sütunun yüksekliği $h = 15 \text{ cm}$ olan dış ortamdan ayırır. Silindir yatay şekilde bulunduğu zaman $V_1 = 240 \text{ mm}^3$ tür, dikey şekilde konulduğu zaman $V_2 = 200 \text{ mm}^3$ hacim kapsar. Atmosfer basıncı po deney esnasında hesaplanınsın.

6. Kütlesi $m = 10 \text{ g}$ oksijen $t = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta ve $p = 3,04 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ basınçta bulunur. Sabit basınçta ıstıldıktan sonra $V_2 = 10 \text{ L}$ bir hacimi kaplar. Gazın hacmi ve yoğunluğu genişlemeden önce ve genişlemeden sonra sıcaklığı ve yoğunluğu yoğunluğu bulunsun.

Temel kavramları anlamları verilsin (gerekirse örnekler veriniz):

- durum denklemleri
- evrensel gaz sabitesi
- bolçman sabitesi
- gaz karışımının ortalama mol kütlesi

11.5. MOLEKÜLSEL-KİNETİK TEORİNİN TEMEL DENKLEMİ

Sıcaklık ve basınç

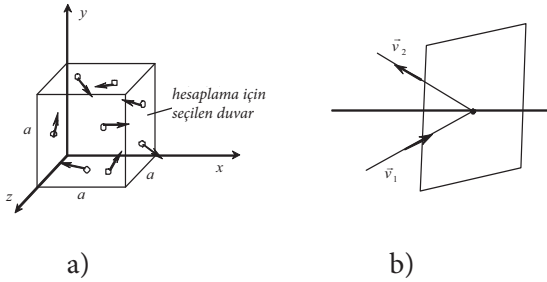
Bir gaz sisteminin sıcaklık hakkında bir şeyler öğrenmek istiyorsak, gaz bileşimine giren moleküllerin hareketini analiz etmek gerekir. Gaz moleküllerinin hareketi sadece sıcaklıktan mada basınç ile de bağlıdır. Sıcaklık ve basınç arasındaki ilişkiyi veren denkleme moleküler kinetik terosini temel denklemleri denir.

11. Moleküller fiziği

Temel denklem bu ifadelere göre elde edilmiştir: ❶ gaz idealdır; ❷ moleküllerin hıza göre dağılımı rastgele dir; ❸ moleküllerin dağılması elastiktir.

Gaz moleküllerinin boyutları aralarındaki mesafeden daha çok küçükse. Birbirleri arasındaki etki kuvvetleri göz ününe alınmaz. Bazı gazlar hava, azot, oksijen normal şartlarda bile ideal gazlara yakın özellikleri vardır. Özellikle özellikleri ile ideal gazlara yakın helyum ve hidrojen dirler.

Basınç ve temperatur arasındaki ilişkiyi veren denklemi elde etmek için, şu olay incelenir: ideal gaz belirli miktarda küp şeklinde kenarı a olan bir kabda bulunur. Gaz bulunduğu kabda molekülleri sürekli kabın duvarlarına vurular. Basıncını belirlemek için, moleküllerin küpün tek tarafına vurdukları ortalama kuvvet hesaplanması gerekir, örneğin, eksene x normal gelen kenar (Şekil 1a.).



Şekil 1.

Bir molekül ayrılсын (i -inci) kütlesi m ve çarpışmadan önce hızı \vec{v}_{1i} . Çarpışma elastik olduğu için, çarpışmadan sonra hızı \vec{v}_{2i} dir ve büyüklük olarak değişmez, yön olarak değişir (Şekil 1b). \vec{v}_1 hızının v_{xi} , v_{yi} ve v_{zi} ve x eksenine dik kenarı seçmişsek, molekülün v_{xi} pozitif bileşeni çarpışmadan önce ve v_{xi} negatif bileşeni çarpışmadan sonra çarpışma olacaktır. Hızın kalan bileşenleri değişmezler. Böylece çarpışmadan önce molekülün impulsu

$$\vec{p}_{1i} = m(\vec{i}v_{ix} + \vec{j}v_{iy} + \vec{k}v_{iz}) \quad (1)$$

çarpışmadan sonrası

$$\vec{p}_{2i} = m(-\vec{i}v_{ix} + \vec{j}v_{iy} + \vec{k}v_{iz}) \quad (2)$$

Newton'un ikinci kanununa göre, moleküle etki eden kuvvet eşittir

$$\vec{F}_i = \frac{\Delta\vec{p}_i}{\Delta t} \quad (3)$$

$\Delta\vec{p}_i$ molekülün impuls değişimi, Δt zaman aralığı. Üçüncü Newton kanununa göre bu kuvvet büyük- lük olarak eşittir, yön olarak terstir bununla molekül duvara etki eder. Molekülünün impuls değişimi değişimi eşittir

$$\Delta\vec{p}_i = \vec{p}_{2i} - \vec{p}_{1i} = -2mv_{ix}\vec{i} \quad (4)$$

Kuvvet i -inci molekül ile duvara etki eder

$$\vec{F}_i = \frac{2mv_{ix}\vec{i}}{\Delta t} \quad (5)$$

Gaz seyrek olduğu varsayılсын molekülün geçtiği mesafe $2a$ çok kez geçer. Birbirini takip eden iki çarpışma molekül ve duvar arasındaki zaman

$$\Delta t = \frac{2a}{v_{ix}}$$

Eğer bu denklemi denklem (5)'te değiştirmiş olursak, kuvvet için elde ederiz

11. Moleküller fiziği

$$F_i = \frac{mv_{ix}^2}{a} \quad (6)$$

Kabda toplam N sayıda moleküller varsa, her birinin kendi uygun hızı ve impuls değişimi vardır. Eğer kabdaki tüm moleküller için toplanırsa, kabın duvarına etki eden tüm moleküller kuvveti elde edilir

$$F = \sum_{i=1}^N \frac{mv_{ix}^2}{a} = \frac{1}{a} \sum_{i=1}^N mv_{ix}^2 \quad (7)$$

Gaz denge durumunda ise, o zaman x , y ve z yönleri eşit olasılıklı dırlar, şöyle yazabiliriz

$$\sum_{i=1}^N mv_{ix}^2 = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^N (mv_{ix}^2 + mv_{iy}^2 + mv_{iz}^2) = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^N mv_i^2$$

nerede ki

$$v_i^2 = v_{ix}^2 + v_{iy}^2 + v_{iz}^2$$

i -inci molekülün hız karesi.

$$\frac{1}{3} \sum_{i=1}^N mv_i^2 \text{ üyesini şu şekilde yazabiliriz}$$

$$\frac{1}{3} \sum_{i=1}^N mv_i^2 = \frac{2}{3} \sum_{i=1}^N \frac{1}{2} mv_i^2 = \frac{2}{3} E_k \quad (8)$$

nerede E_k tüm moleküllerin toplam kinetik enerjisi dir. Eğer bunu denklem (7)'de değiştirirsek toplam kuvvet F moleküllerin duvara etki ettikleri, elde ederiz

$$F = \frac{2}{3} \frac{E_k}{a} \quad (9)$$

Basınç p normal kuvvet F ve küp kenarının yüzey alanı ($S = a^2$) oranı gibi tanımlanır

$$p = \frac{F}{S} = \frac{2}{3} \frac{E_k}{a^3} = \frac{2}{3} \frac{E_k}{V} \quad (10)$$

nerde ki $V = a^3$ küp hacmini oluşturur. Elde edilen denkleme göre, ideal gaz kab duvarlarına yaptığı basınç moleküllerin sıcaklık hareketi nedeniyle sahip oldukları enerji yoğunluğunun $2/3$ değerine eşittir. Toplam kinetik enerjisini E_k bir molekülün ortalama kinetik enerjisini $\langle E_k \rangle$ molekül sayısı ile N çarparak, denklem (10) şu şekli alır

$$p = \frac{2}{3} \frac{N \langle E_k \rangle}{V} \quad (11)$$

Denklem (11) makroskopik büyüklüğü - basınç ve mikroskopik büyüklüğü - molekülün ortalama kinetik enerjisi ilişkisini verir. Moleküllerin ortalama kinetik enerjisi çoğalırca kab duvarlarına basınç artar.

Temperatür ve enerji

Moleküller sahip oldukları kinetik enerjisi onların sıcaklık hareketi yüzünden, basınçla bağlılığını şu denklemde görebiliriz

$$p = \frac{2}{3} \frac{N \langle E_k \rangle}{V}$$

Bu bağlılıktan molekülün ortalama kinetik enerjisi $\langle E_k \rangle$ elde edilir

$$\langle E_k \rangle = \frac{3}{2} \frac{pV}{N} \quad (12)$$

Öte yandan, ideal gazın durum denklemi şeklinde yazılır

$$pV = NkT$$

bu denklemi denklem (12)'de değiştirmekle, elde edilir

$$\langle E_k \rangle = \frac{3}{2} kT \quad (13)$$

11. Moleküller fiziği

Denklem (13) gaz molekülünün ortalama kinetik enerji gazın mutlak sıcaklığı ile doğru orantılı olduğunu göstermektedir. Sıcaklığın değişimi her zaman gaz atomların ve moleküllerin haotik (sıcaklık) hareketinin kinetik enerji değişimi göstergesidir.

Denklem (13) yapısının bir atomlu moleküllerden gazlar için geçerlidir, örneğin, helyum ve argon. Molekülün serbestlik derecesi (molekül durumunu belirleyen bağımsız değişken sayısı) bir atomlu moleküllerde $i = 3$ değeri var. Molekülün öteleme hareketinde (x , y ve z) dirler. Her serbestlik derecesi aynı enerji getiriyor

$$\langle E_k \rangle = \frac{1}{2} kT \quad (14)$$

molekülünün ortalama kinetik enerjisi denklemle belirlenir

$$\langle E_k \rangle = \frac{i}{2} kT \quad (15)$$

i ile öteleme, dönüşlü ve titreşimli serbestlik dereceleri toplamı işaret edilir

$$i = i_{tr} + i_{rot} + i_{osc} \quad (16)$$

İdeal gaz molekülleri birbirine etki etmezler, böylece gazın iç enerji moleküllerin sıcaklık hareketi toplam kinetik enerjisine eşittir

$$U = N \langle E_k \rangle = N \frac{i}{2} kT = N \frac{i}{2} \frac{R}{N_A} T = n \frac{i}{2} RT \quad (17)$$

burada n mol sayısıdır.

Moleküllerin hızı

İdeal gaz ve mutlak sıcaklık moleküllerin ortalama kinetik enerji arasındaki ilişkiyi veren denklem (13) moleküllerin ortalama kare hızı hesaplamasını sağlar

$$\langle E_k \rangle = \frac{m v^2}{2} = \frac{3}{2} kT \quad (18)$$

buradan elde edilir

$$v^2 = \frac{3kT}{m} \quad (19)$$

Denklem (19) farklı bir biçimde yazılabilir. Bu denklemin sağ tarafı Avogadro sayısı N_A çarpılır ve bölünürse sayı ve $M = m N_A$ mol gaz kütlesi dir, moleküllerin ortalama karesel hızı

$$v = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \quad (20)$$

Oksijen moleküllerinin ortalama kare hızı hesaplanırsa 0°C , onun yaklaşık 460 m/s olduğu elde edilir. XIX y.y. ikinci yarısında moleküller kinetik teorisinin doğru olduğuna şüphe yaratılır çünkü moleküllerin hareket hızı için büyük değerler elde edilir. Bugün bu iyice detaylı açıklandı. Moleküllerin yörüngesi kesik çizgili Brown türüdür. Verilen bir gazın molekülleri geçecekleri yol daha büyüktür, örneğin, gaz bulunduğu kabın bir kenarından diğer kenarına. Aslında, denklem (20) ile hesaplanan hız doğru çizgi bölümleri boyunca moleküllerin ortalama kare hızı göre hesaplanır. Aslında, moleküller zamanın her anında farklı farklı hızlarda hareket eder. İlk defa, moleküller hızını deneysel olarak 1920 yılında Alman fizikçi Stern ölçmüştür. Moleküller farklı hızlarla hareket ettiklerini göstermiştir, moleküllerin ortalama hızın büyüklüğü denklem (20) ile elde edilen hıza uygundur.

Bununla deneysel olarak molekülsel-kinetik teorisini denkleme denklemleri tasdiklandı.

Sorular, ödevler, faaliyetler

1. Molekülsel-kinetik teorisinde basınç denklemini yazın. Hangi ifadeler göre elde edildi ve onun anlamı nedir?
2. Ortalama kinetik enerjisi ideal gaz moleküllerinin ve sıcaklığı arasındaki ilişki nedir?
3. Gaz moleküllerinin ortalama kinetik enerjisi 0°C sıcaklıkta nekadardır?
4. Molekülsel-kinetik teorisinde moleküller hareketinde ortalama kare hızı neden alınması gerekir?
5. Moleküller hareketinde ortalama kare hızın tamamı nekadardır tasdiklanmıştır?
6. Oksijen moleküllerinin ortalama kare hızı hesaplanırsın 0°C sıcaklıkta.

Temel kavramların anlamları verilsin (gerekirse örnekler belirtiniz):

- ortalama kinetik enerjisi
- orta kare hızı
- serbestlik derecesi

11.6. YÜZEY GERİLİMİ

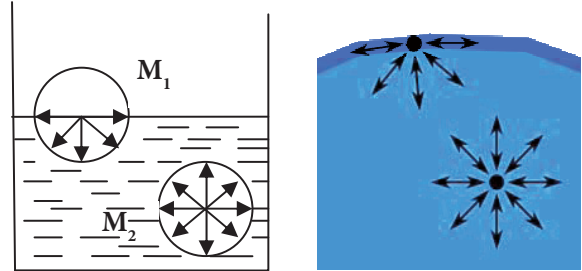
Yüzey gerilimi kuvveti. Yüzey gerilimi sabitesi

Sıvılarda, moleküller birbirlerine nispeten yakındır bu demektir ki birbirine bağımlıdır katı cisimlerde ve sıvılarda serbest değildirler. Moleküller arası çekici kuvvetleri güçlüdürler belli mesafeye kadar ve moleküller arası etki yarıçapı (10^{-9} m büyüklüğünde) denir, sonra aniden sıfıra düşer. Varsayalım ki her molekül küre yarıçapı

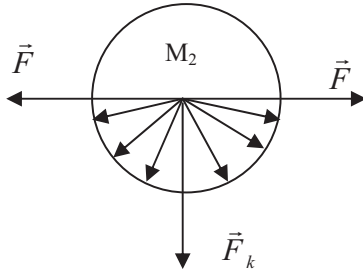
içinde bulunan diğer moleküllere moleküller arası etki ettiği gibi aynı etki eder. Bu kürenin yarıçapı sıvılarda moleküller arasındaki mesafeden on kat daha fazladır.

Moleküller arası kuvvetler aynı tür moleküller arasında etki etmelerine kohezyon (uyum) kuvvetleri denir, ve farklı türlü moleküller arası etki eden kuvvetlere adezyon kuvvetleri denir.

Yüzey gerilimi oluşmasını moleküller arası kuvvetlerin yukarıda anıldığı özellikleri ile açıklanabilir. Sıvıların serbest yüzeyi olması karakteristikdir ve bu özelliği ile içteki moleküllerinin özelliklerinden farklıdır. Çok sayıda sıvılarda serbest yüzeyleri membran gibi davranırlar ve üzerindeki cisimlerin batmasına engel olurlar. Kendi ağırlığı, su kaydıracağı gibi küçük böcekler su yüzeyinde hareket ederler ağırlıkları küçük olduğundan dolayı serbest yüzeyi geçemezler. Sıvı serbest yüzeyinin gerilmiş halde olmasının sebebi serbest yüzeydeki enerji seviyesi sıvının iç kısmında daha büyüktür. Genel olarak, yüzeyler toplam enerjiye olumlu bir katkıda bulunmaktadırlar. İki molekülü ele alalım, M_1 molekülü sıvı yüzeyinde bulunsun ve M_2 sıvının iç kısmında bulunsun (Şekil 1).



Şekil 1.

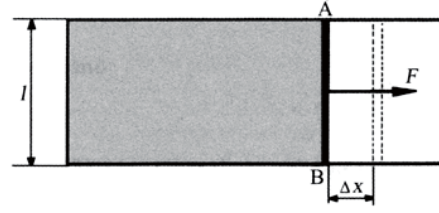


Şekil 2.

Molekül M_2 aynı tür moleküller ile sarılı bulunur ve birbiriyle kuvvetli ilişkide dirler, fakat kuvvetleri simetrik olduğu için bileşke kuvveti sıfır dır. M_1 molekül sadece alt tarafında aynı türden moleküller ile çevrilidir ve üst kısmında gaz yada bir gazın sıvı fazındaki molekülleri ile çevrili dir zayıf ilişkide dirler. Her birbirine etki eden kuvvet iki bileşene ayrılır: normal olan yön sıvı yüzeyine dik ve serbest yüzeyde yatan tanjan (teğet). Normal bileşenleri moleküllerin basınç kuvvetlerini \vec{F}_k (adhezyon veya uyum kuvvet) verirler ve tanjan (teğet) bileşenleri yüzey gerilimi kuvveti \vec{F} verirler,(Şekil 2).

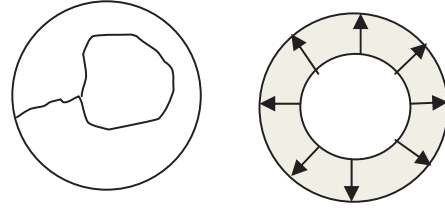
Moleküllerin basınç kuvveti \vec{F}_k her zaman serbest yüzeyine dik yönlüdür ve sıvı moleküllerini monomolekül katmanından içine çekme ca-basındadır.

Yüzey gerilim kuvveti \vec{F} monomolekül katmanında yüzeyinde yatar. Yüzey gerilim kuvvetleri sıvı yüzeyini gergin halde korurlar. Serbest yüzeyin herhangi bir temel segmentinde yüzey gerilim kuvveti kenara normal etki eder. Örneğin, dikdörtgen şeklinde bir cismin sabunlu membranı (Şekil 3) dengede olması için F kuvveti ile etki etmek gerekir, onun kenarına l normal olarak, modul olarak yüzey gerilimi kuvvetine eşittir.



Şekil 3.

Yüzey gerilimi kuvveti her zaman cisme temel segment ile sınırlanan normal etki eder, şu deneyde görebiliriz: bir metal yüzüğün her iki tarafında sabun membranı oluşturursak, üzerin ince iplikten yapılan bez parçacığı konulursa ve kızgın iğne ile delirsek membran yuvarlak şekli alır (Şekil 4).



Şekil 4.

Çizgisel kontur yuvarlak dır, yüzey gerilim kuvvetleri dairesel etki eder yada her temel segmente normal etki eder. Dairenin alanı büyüktür kalan kısım membran dır ve minimum enerjisi vardır.

Sıvıların yüzeysel özelliklerini karakterize etmek için büyüklük tanımlanmıştır σ buna yüzey gerilimi sabitesi denir. Uzunluk birimine etki eden yüzey gerilim kuvveti gibi belirlenir

$$\sigma = \frac{F}{l} \quad (1)$$

SI sisteminde yüzey gerilim sabitesi birimi (N/m) dir.

11. Moleküller fiziği

Yüzey gerilimi birimi metre karede Jül (J/m²), veya *yüzey gerilim sabitesi bir birimlik serbest yüzeyin büyümesi için yapılan iş ile tanımlanır*

$$\sigma = \frac{\Delta A}{\Delta S} \quad (2)$$

Sıvı serbest yüzeyin yüzey enerjisi azaltma hesabına iş ΔA yapılır

$$\Delta A = \Delta E$$

Sıvı yüzey tabakasındaki moleküllerin daha fazla potansiyel enerjileri içindeki moleküllerinden vardır. Bu ek enerjiye yüzeysel enerji denir ve katman yüzeyi ΔS ile doğru orantılıdır

$$\Delta E = \sigma \Delta S \quad (3)$$

Sıvı serbest yüzeyinin yüzeysel enerjisi sıvının iç molekülleri yaptıkları işe borçludur, kinetik enerjileri hesabına onların sıcaklık hareketi moleküller arası kuvvetlere karşı gelip serbest yüzeye ulaşılır.

Yüzey gerilimi sabitesi en basit olarak bir tarafı hareketli olan dikdörtgen yardım ile yapılır (Şekil 3). Sabunlu membranı Δx mesafesine taşımak için, kuvvet F ile etki etmek gerekir uzunluk l de. Çünkü membran iki katmanlıdır, yüzey gerilim kuvveti (1) eşittir

$$F = 2\sigma l \quad (4)$$

Yüzey gerilimi sabitesi temperatüre ve sıvının monomolekül tabakasının doğasına bağlıdır. Temperaturün artması yüzey gerilimi azalır. Tabloda yüzey gerilimi sabiteleri verilmiştir.

Sıvı	t (°C)	σ (N/m)
Su	0	$76 \cdot 10^{-3}$
	20	$73 \cdot 10^{-3}$
	100	$59 \cdot 10^{-3}$
Etil alkol	20	$22 \cdot 10^{-3}$
Benzen	20	$29 \cdot 10^{-3}$
Kan	37	$58 \cdot 10^{-3}$
Cıva	25	$473 \cdot 10^{-3}$
Gliserin	20	$63 \cdot 10^{-3}$
Su sabunu	20	$26 \cdot 10^{-3}$

Yüzey gerilim sabitesinin deneysel belirlenmesi yüzüğü ayırma yöntemi ile (Şekil 5).



Şekil. 5. Yüzüğü ayırma yöntemi ile yüzey gerilimi sabitesini ölçmek için deney düzeneği

Teorik kısmı. Sıvı yüzeyinden bir cismi ayırmak için, o kendisi beraberinde sıvı miktarını da çeker ve onunla serbest yüzeyini artırır. Yüzey gerilimi kuvveti sıvının artan yüzeyine karşı tepki yapar. Cisme etki ettiğimiz kuvvet ile yüzey gerilimi kuvveti aynı oldukları zaman cisim sıvıdan ayrılır.

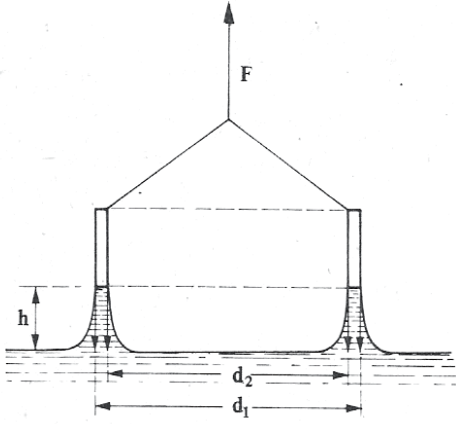
11. Moleküller fiziği

Eğer yüzük şeklinde bir cisim için söz konusu olursa, yüzey gerilim kuvvetleri yüzüğün dış ve iç kenarı boyunca düzgün etki eder, onların bileşke kuvveti dış kuvvete F eşit olacak.

Sıvının serbest yüzeyi şu kadar artacaktır

$$\Delta S = d_1\pi h + d_2\pi h \quad (5)$$

denklemde d_1 ve d_2 yüzüğün iç ve dış çaplarıdır, h sıvı yüksekliği yüzüğün ayrılması öncesi (Şekil 6).



Şekil 6.

Ifade (5) ifade (3)'te değiştirilerek, elde edilir

$$A = \sigma (d_1 + d_2)\pi h \quad (6)$$

Aynı iş, kuvvetle verilirse,

$$A = Fh \quad (7)$$

Denklem (6) ve denklem (7) eşitleştirmekle elde edilir

$$F = \sigma (d_1 + d_2)\pi \quad (8)$$

Yüzük çok ince ise, o zaman ortalama değeri çap (diyametre) için

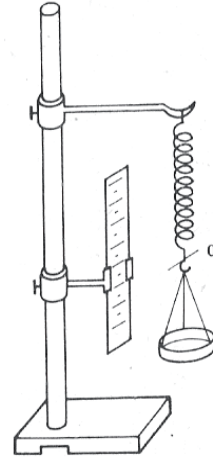
$$d_{sr} = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (9)$$

O zaman yüzey gerilimi sabitesi için elde edilir

$$\sigma = \frac{F}{2\pi d_{sr}} \quad (10)$$

Yüzey gerilimi sabitesi denklem (10) ile yüzüğün ayrılması anında etki eden kuvvetin F ölçülmesi ile belirlenir.

Deneyisel kısım. Gerekli ekipmanlar: suyla dolu cam kabı, tel, metal yüzük, dikey cetvel, laboratuvar tripod, milimetre grafik kağıdı ve mikrometrelili vint (Şekil 7).



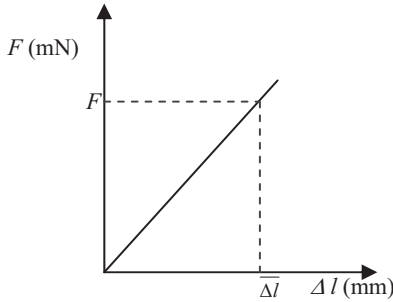
Şekil 7.

Yüzük spiral telin alt ucunda bağlıdır. Yüzük altında suyla dolu cam kabı konulur böylece yüzük su yüzeye dokunur. Sonra kab yavaş yavaş indirilir tel uzamaya başlar. Uzama nedeniyle telin elastik kuvveti yüzey gerilimi kuvveti ile eşit olduğunda, yüzük su yüzeyinden ayrılacaktır. Telin gerilmesi ile oluşan elastik kuvvet uzama büyüklüğü Δl ile doğru orantılıdır.

$$F = k\Delta l \quad (11)$$

Burada k telin elastik kuvvetinin doğru orantılı sabitesi dir.

Kuvvetin F değeri belirlenmek için ilk önce telin kalibrasyonu yapılması gerekir. Tel ve yüzük farklı ağırlıklı ağırlıklarla yüklenir. Elde edilen sonuçlara göre elastik kuvvetin F ve telin gerilmesi Δl bağımlılığı grafiksel gösterilir, (Şekil 8).



Şekil 8.

Grafikten telin gerilme değeri bilinirse kuvvet belirlenebilir. Yani, yüzey gerilimi kuvveti değeri denklem (10)'da grafikten yüzüğün yüzeyden ayrılma gerilmesi değeri için belirlenir.

Ölçüm yöntemi. Telin kalibrasyon yüzükle yapılır. Telin gerilmesini belirlerken ilk önce tam olarak tele yüzük asılı denge durumu belirlemek gerekir. Bu amaç için, ve telin gerilmesini ölçmek için dikey cetvel kullanılır. Tel farklı ağırlıklar ile yüklenir ve her ağırlık için telin gerilmesi ayarlanır. Elde edilen sonuçlar milimetre grafik kağıdında telin kalibrasyonu için grafik gösterilir, Şekil 8.

Mikrometreli vint yardımı ile yüzüğün dış ve iç çapları d_1 ve d_2 ölçülür.

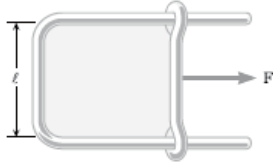
Daha sonra, yüzük su ile bir geniş kabın içinde batırılır. Kab yavaşça indirilir ve derilme takip edilir. Bir anda yüzük su yüzeyinde kalkacak, Şekil 6. O zaman tekrar kab çok az indirilmesi gerekir yüzüğün su yüzeyinden kopması için. Yüzüğün sudan kopma anında telin gerilmesi okunur.

dsr ve F elde edilen değerlerden suyun yüzey gerilimi sabitesi denklem (10) ile hesaplanır.

Yüzey gerilimi azalır yüzey aktif maddeleri denen bazı maddeleri ilave etmekle. Yani su açısından yüzey aktif maddeler şunlardır: sabun, yağ asitleri ve deterjan. Örneğin, sabun yüzey gerilimini değerini $7,5 \cdot 10^{-2}$ den $4,5 \cdot 10^{-2}$ N/m düşürür.

Sorular, ödevler, faaliyetler

1. Sıvı yüzey katmanı nedir?
2. Kohezyon (uygun) ve adezyon kuvvetleri kimlerdir?
3. Yüzey gerilimi olayını nasıl açıklayabiliriz?
4. Moleküler basınç nedir?
5. Yüzey gerilimi sabitesi nasıl belirlenir? Yüzey gerilim sabitesi birimi kimdir?
6. Hangi maddelere yüzey aktif maddeleri denir?
7. Kayan telin uzunluğu $l = 3,5$ cm dir ve sıvı filmi Şekil 9'da olduğu gibi çekiyor. Çekim kuvvet $F = 4,4 \cdot 10^{-3}$ N dir. Yüzey gerilimi sabitesi için tablo değerlerinden söz konusu hangi tür sıvı filmi için olmuştur belirtiniz.



Şekil 9.

Temel kavramları için anlam verin (gerekirse örnekler belirtiniz):

- moleküller arası etki küresi
- molekül sel basınç kuvveti
- yüzey gerilim kuvveti
- yüzey gerilim sabitesi

11.7. KILCAL OLAYLAR. ISLATMA VE ISLATMAMA

Katı cisim ve sıvı sınırındaki olaylar (örneğin, sıvı ve sıvının bulunduğu kabın duvarları) inceleyelim. Sıvı molekülleri ve kab duvarlarının yapıldığı malzemenin molekülleri arasında moleküller arası kuvvetler etki eder, sıvının davranışı duvarlara yakın kohezyon F_K ve adezyon F_A kuvvetlerine bağlıdır. Kohezyon kuvvetleri aynı moleküller arasında oluşur ve sıvının ortamda serbest yayılmasına izin vermezler (gazlarla olduğu gibi). Kohezyon fluide etki eder ve duvarın fluidi çekmesine izin vermez. Adezyon farklı moleküller arasında oluşan kuvvet tir. Bileşke kuvveti eğik yüzeye normal dir, dikey duvarla $\theta+90^\circ$ açığı oluşturur. Sıvı yüzeyi tüm moleküller arası kuvvetler bileşkesine normal gelir.

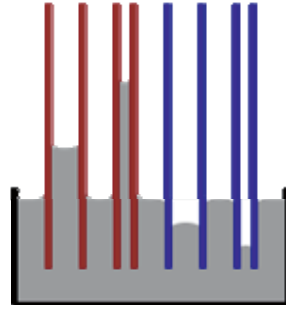
Adezyon kuvvetleri kohezyon kuvvetlerinden büyükse, örneğin, su-cam sınırında, sıvı yüzeyi derinlik (çukur) şeklini alır ve sıvı kab duvarlarını ıslatır denir.

Eğer, kohezyon kuvveti adezyon kuvvetinden büyükse, örneğin, cıva-cam sınırında, sıvı

yüzeyi tümsek şeklini alır ve sıvı kab duvarlarını ıslatmaz denir.

Sıvı yüzeyinin eğilmiş kısımlarına menisküsler denir.

Kab duvarı ile sıvı yüzeyinin tanjansı (teğet) oluşturdukları açıya temas açısı denir. Eğer $\theta < 90^\circ$, sıvı kabın duvarlarını ıslatır, eğer $90^\circ < \theta < 180^\circ$ ise, sıvı kab duvarlarını ıslatmaz

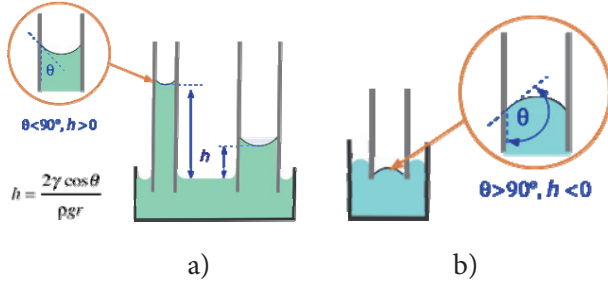


Şekil. 1. Kılcal yükselme. Kırmızı-temas açısı 90° küçktür, mavi-temas açısı 90° büyüktür.

Temiz bir yüzey (metal veya cam plaka) üzerinde sıvı damlası düşerse, damla şekli yüzey gerilim sabitesi katı-sıvı, sıvı-gaz ve katı-gaz sınırı için, temas açısına bağlıdır. Örneğin, bir cıva damlası küresel olacak ve petrol yüzeyee dağılarak damlayı oluşturmaz.

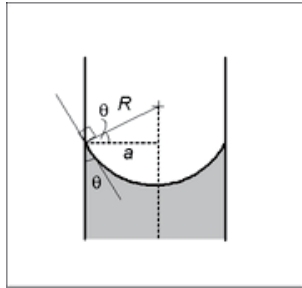
Eğer dar boru (kılcal) kab içinde batırırsak su boru içinde h yüksekliğe tırmanacak (tüp ve sıvı türü yarıçapa bağlıdır) ve su menisküsü kılcal boruda derinlik (çukur) şekilde dir. Aynısı diğer sıvılar için geçerlidir buldukları kab duvarlarını ıslatırlar. Bu olaya kılcal yüksekliği denir (Şekil 2a).

Cam kılcal borusunda cıva yüksekliği, cıvanın bir kabda bulunması cıva yüksekliğinden daha küçüktür, ve cıva menisküsü tümsektir. Bu olaya kılcal depresyon denir (Şekil 2b.).



Şekil 2.

Sıvının serbest yüzeyi gerilmiş membran gibi davrandığı için kılcal yükseklik ve depresyon oluşması nedenidir. Kılcalda sıvı yüksekliğini kılcal yüksekliği olayında belirleyelim. Aynıısını kılcal depresyon için inceleyelim ve aynı sonuca varırız (Şekil 3)



Şekil 3.

Sıvının çukur menisküsünden dolayı kılcalda, menisküs altında basınç atmosfer basıncından küçüktür. Kılcalda sıvı tırmanır taa ki basınçlar arasındaki fark Δp hidrostatik basıncı ile eşit olsun ve kılcaldaki sıvı katmanın ağırlığı yüzünden oluşur

$$\Delta p = \rho gh \quad (1)$$

Çünkü $\Delta p = 2\sigma/R$ (R menisküs yarıçapıdır), $a = R \cos \theta$ (a kılcal yarıçapıdır)

$$\Delta p = 2\sigma \cos \theta / a \quad (2)$$

Denklem (1) ve (2) den elde edilir

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{\rho ga} \quad (3)$$

Küçük temas açıları için θ , $\cos \theta \sim 1$, elde edilir

$$h = \frac{2\sigma}{\rho ga} \quad (4)$$

Aynı sonuç elde edilecek eğer yüzey gerilim kuvvetin dikey bileşeni kılcalda sıvıyı tırmandırır, kılcaldaki sıvı sütununun ağırlığı ile eşitleştirirsek.

Sorular, ödevler, faaliyetler

1. Kılcal olaylar nedir. Neden oluşurlar?
2. Ne zaman sıvı ıslatır, ne zaman ıslatmaz buldukları kab duvarlarını?
3. Kılcal yükseklik nedir, kılcal depresyon ise nedir? Bunları çizim yardımı gösterin. Bunların oluşma sebebi nedir?
4. Kötü izolasyonlu binaların duvarları neden ıslanır?
5. Kılcal boruda yükselen sıvının yükseklik denklemini yazın. Kime bağlıdır?

Temel kavramları için anlam verin (gerekirse örnekler belirtiniz):

- ıslatma
- ıslatmama
- menisküs
- temas açısı
- kılcal yükseklik
- kılcal depresyon

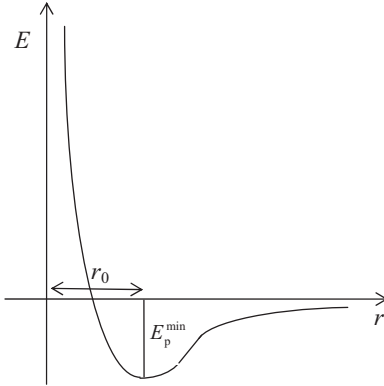
12.1. HAL DURUMLARI. HAL DURUMLARIN DEĞİŞİMİ

Giriş

Süpstansların iç hal durumlarına (katı, sıvı ve gaz) fizikte fazlar denir.

Belirli koşullar altında aynı maddenin farklı fazları birbirleriyle dengede bulunabilir. Bu nedenle, madde belirli basınç ve sıcaklık altında sıvı ve gaz fazında, yada sıvı ve katı fazda veya katı ve gaz fazında bulunabilir. Bu şartlar altında faz geçişleri oluşur. Bir fazdan diğerine geçiş yapılması için, belirli miktarda sıcaklık miktarı almak veya vermekle yapılır.

Moleküsel-kinetik teorisinin bakış açısından, bir cisim sıvı, katı veya gaz halinde bulunması için molekülleri arasındaki enerjileri oranına bağlıdır.



Şekil 1.

Bilindiği gibi moleküllerin kinetik enerjileri vardır, haotik sıcaklık hareket sonucundan, ve potansiyel enerjisinden, aralarında çekici ve itici güçlerin varlığı şartına bağlıdır. Moleküller arasındaki mesafe potansiyel enerjisine bağlıdır Şekil 1'deki eğri ile verilmiştir.

$r=r_0$ durumunda potansiyel enerjisi minimumdur, E_p^{\min} ile işaret edilmiştir (Şekil 1.). Grafikten görülüşü gibi mesafe büyük olduğu zaman, potansiyel enerji çok küçüktür. E_p^{\min} büyüklüğünü yapılacak iş ile belirler, moleküller arası kuvvetler molekülleri denge durumundan ayırmak için ($r=r_0$).

Eğer süpstans gaz durumunda ise, sıcaklık hareketi çok yüksektir, moleküllerin daha fazla kinetik enerji potansiyel enerjisinden var ($\bar{E}_k \gg E_p^{\min}$), o zaman molekül $r=r_0$ mesafesinde bulunması için olasılık çok küçüktür. Eğer süpstans katı durumda ise moleküllerin çok büyük potansiyel enerjisi var, $\bar{E}_k \approx E_p^{\min}$. O zaman moleküller arası kuvvetler güçlüdürler moleküller buldukları belli sırada ve titreşimler denge durumları etrafında yaparlar. Sıvı cisimlerde moleküllerin ortalama kinetik enerjileri potansiyelin büyüklüğü ile aynı sırada bulunur: $E_k \sim E_p^{\min}$. Sıvı molekülleri sıcaklık hareketi sonucu olarak bir yerden diğer bir yere taşınırlar böylece onların yer durumu değişir, aralarındaki mesafe ise değişmez.

Böylece, sıcaklığa bağlı olan herhangi bir madde gaz, sıvı ve katı halde olabilir, bir durumdan diğer duruma geçiş esnasındaki sıcaklık E_p^{\min} büyüklüğüne bağlı değildir. Örneğin, asal gazlarda E_p^{\min} küçüktür, metallerde büyüktür. Normal şartlarda asal gazlar gaz halinde diler metallere ise katı halde diler.

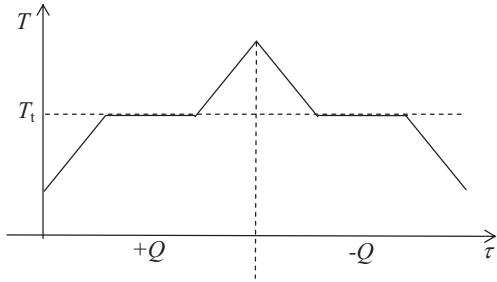
Erime ve sertleşme (kristalleşme)

Süpstans katıdan sıvı durumuna geçiş yapmasına erime denir, sıvıdan katı durumuna geçiş yapmasına sertleşme yada kristalleşme denir.

Katı cisim alınsın ve ısıtılsın aynı zaman aralıklarında aynı miktarda sıcaklık verilerek.

12. Faz geçişleri

Isıtılma süreci düzgündür diyoruz.



Şekil 2.

Eğer cismin sıcaklığını (t) ölçersek ve sonuçları zamana bağlı (τ) olarak gösterirsek grafik elde edilir (Şekil 2.). Başlangıçta cismin sıcaklığı çizgisel büyür sıcaklığın artması ile. Ancak cisim erimeye başladığı zaman, hala ısıtılırken, sıcaklığı sabittir. *Cismin erimeye başladığı sıcaklığına (T_i) erime sıcaklığı denir.* Erime sürdüğü kadar, cisme hala sıcaklık verilirken, sıcaklığı sabittir. Cisim tamamen eridiği zaman ileride sıvıyı ısıtmakla ısınır, sıcaklık çizgisel büyür.

Moleküler-kinetik teorisi bakışına göre açıklanması basittir. Erime esnasında enerji gerekir moleküllerin ortalama kinetik enerjisi büyümek için, onların kristal kafes düğümlerinden ayrılmaları için. Erime esnasında kristal kafesi yok olur. Bu demektir ki sıvı fazda bir süpstanın kütle biriminin iç enerjisi katı fazda kütle biriminden büyüktür, aynı sıcaklıkta olsalar bile. Aynı süpstanın katı ve sıvı fazda denge durumu isteğimize kadar sürebilir, eğer erime sıcaklığı sürekli tutulursa.

Şekil 2'deki deney ters yönde, tekrarlanır. Maddeden eşit zaman aralıklarında eşit miktarda sıcaklık alınır. Sıvı soğumaya başlar, ancak soğuma süreci $T=T_i$ sıcaklıkta duracak sıvının

kristalleşmesi başlayacaktır. Kristalleşme sürdüğü kadar maddenin aynı sıcaklığı vardır, sürekli ısı alınmasına rağmen. Cisim tamamen sertleştirildiğinde, ısı hala alınmasına rağmen, kendisi soğur.

Kristalleşmede kristal kafeste moleküller birbirine yaklaşır ve uygun düzen alır, onların kinetik enerjisi azalır. Sıvının kristalleşmesi çevreye dış cisimlere ısınıp vermekle sadece oluşabilir.

Erime süreçleri, yada kristalleşme Şekil 2'de görüldüğü gibi aynı sıcaklıkta oluşurlar.

Bu süreçler esnasında, verilen sıcaklık miktarı (Q_T), veya kristalleşme esnasında alınan sıcaklık miktarı ($-Q_T$) maddenin iç enerji değişimine eşittir. Bu değişim maddenin kütlesi ile orantılıdır, çünkü sıcaklık miktarı (Q_T), verilen yada alınan maddenin kütlesi ile orantılıdır:

$$Q_T = \lambda m \quad (1)$$

Q_T sıcaklığına, verilen cismin erime sıcaklığı denir ve cismin kütlesine, maddenin doğasına ve dış koşullara bağlıdır. Orantılılık sabitesi λ denklem (1)'de maddenin iç enerjisi değişimini erime (sertleşme) esnasında karakterize etmektedir. Bu büyüklüğe özel erime sıcaklığı denir (sertleşme (λ), ölçü birimi (J/kg)). Bazen bu büyüklüğe özel gizli erime sıcaklığı denir. Bu sabit deneysel olarak belirlenir. Tablo 1'de normal basınçta bazı maddeler için bu sabit değerleri verilmiştir.

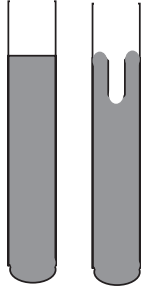
Erime sırasında, sözü edildiği gibi, katı cisim parçacıkları düzenli durumdan düzensiz duruma geçiş yapar.

12. Faz geçişleri

Erime ve kristalleşmede cismin hacminde değişiklik beklenmelidir.

Süpstans	λ [J/kg]
Buz	$3,3 \cdot 10^5$
Cıva	$11,5 \cdot 10^3$
Bizmut	$54,5 \cdot 10^3$

Örneğin, Erimiş naftalinde kristalleşmeden sonra boşluk oluşur (Şekil 3) ve hacminin azalmasına bir işarettir.



Şekil 3.

Çoğu maddeler için, erime maddenin hacmi artar ve kristalleşmede azalır. Ancak bazı maddelerin onlar arasında su dahil olmak üzere (*suyun anomali* bilinen olaydır) özel kristal yapısından dolayı cismin hacmini erimeye azalır.

Erime sıcaklığı cismin maruz kaldığı dış basınca bağlı olduğu deneyler gösterir.

Erime esnasında hacmi büyüyen maddeler için, dış basıncın büyümesi erimeye zorluk yapar. Bu nedenle, bu maddelerde dış basıncı artarsa ve erime sıcaklığı da artırarak. Maddenin erime hacmi azalır, daha büyük dış basıncı erimeye yardımcı olur ve bunlarda erime sıcaklığı azalır. Bu ağır süreç kolaylıkla erime kış mevsiminde görülür, buzun erimesi esnasında ağır araçların lastikleri altında. Erime sıcaklığının azalması çok azdır. Örneğin, 1 K erime sıcaklığını düşürmek için buz, basınç 13 MPa için yükselmelidir.

Normal basınçta cismin erime sıcaklığına (sertleşmesine) erime noktası denir.

Tablo 2'de bazı maddelerin erime noktaları verilmiştir.

Tablo 2

Süpstans	t [°C]	Süpstans	t [°C]	Süpstans	t [°C]
Bakır	1080	Platin	1771	CO ₂	-58
Demir	1530	Volfram	3365	H ₂	-258
Kurşun	325	Hava yaklaşık	-215	O ₂	-218
Cıva	-39	Amonyak	-75		

Özel erime sıcaklığı (kristalleşme) basınca bağlıdır. Genişleme sürecinde yüksek dış basınçta dış kuvvetlere karşı iş yapılması gerekir. Bu nedenle, erime ile hacmi giderek artan cisimlerde basıncın yükselmesi ile λ çoğalır, suda, bizmutta ve diğer cisimlerde azalır.

Kristalleşme ile ilgili daha bir şey söylemek gerekir. Kristaller formu için, kristal üreten, yavaş yavaş büyüyen merkezler gerekir. Kristaller genellikle kab duvarları etrafında veya çeşitli tozucukların etrafında, diğer bir sıvı damlası veya gaz kabarcıklarının çevresinde ortaya çıkar. Sıvı dikkatlice kristalleşme merkezlerinden temizlenirse, o zaman dikkatlice soğutulmuş sertleşme sıcaklığı düşürebilir ve sıvı düşük sıcaklıklarda sıvı durumunda kalabilir. Bu sıvıya *önsoğutulmuş sıvı* denir. Bu durumda sıvı istikrarsızdır ve en küçük kristalleşme kristal-merkezi alınarak sıvının sertleşmesi için yeterlidir.

Erime süreci sadece kristal cisimleri içindir. Eğer Şekil 2'deki deney, amorf cisimler için kullanılırsa, kademeli ısıtmakla katı halden sıvı haline geçer. İki hal arasında kesin bir sınır yoktur. Bu amorf cisimlere *önsoğutulmuş sıvı* denilmesi için neden dir.

Aşağıdaki kavramların anlamı açıklansın (gerekli olursa örnekler verin):

- erime
- sertleştirme (kristalleşme)
- özel kristalleşme sıcaklığı
- erime sıcaklığı
- özel erime sıcaklığı
- kristalleşme sıcaklığı
- kristalleşme
- erime noktası

Sorunlar, ödevler, faaliyetler

1. Molekül-kinetik teorisi açısından erime sürecini açıkla.
2. Özel erime sıcaklığı nedir ve neye bağlıdır?
3. Kristalleşmede sıvı hacmine ne olur? Sıvı hacminin değişmesi ve kristalleşme sıcaklığında nasıl bir ilişki vardır?
4. Genelde bu gibi deney yapılır. Büyük buz parçası odundan bir dengeye tuturulur, tel yardımı ile 2kg ağırlığı ile yüklenir (Şekil 4.). Bir zaman sonra tel buz geçmez, buz parçası ise bütün olarak kalır.

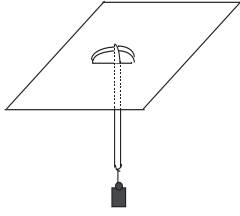


Fig. 4

Bu deneyi yapmayı deneyin ve açıklama yapın. Yaşamda böyle raslanan bir örneği veriniz.

Açıklama: Basınç altında buzun erime sıcaklığı azalır. Sıcaklık $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ daha düşük olduğu zaman, su tel üzerinden tekrar donuyor.

12.2. BUHARLAŞMA VE YOĞUNLAŞMA

Sıvı ve gaz halinde ve tersi, faz geçişleri açıklayalım.

Bu gaz molekülleri arasında mesafeler çok büyük olduğu bilinmektedir, bu nedenden dolayı birbirine etki etmezler. Ayrıca yoğun kaotik hareketi halinde sürekli oldukları için büyük bir kinetik enerjiye sahiptirler. Bu nedenlerden dolayı gazların özellikleri doğalarına bağlı değildir. Hatırlatmak için deneysel gaz kanunları eşit olarak bütün gazlarda geçerlidir.

Düşük sıcaklıklarda, gazın sıcaklığına yakın sıvılaştığı zaman, bu tür gazlara buhar deriz.

Süpstantın sıvıdan gaz (buhar) durumuna geçmesine buharlaşma denir, süpstantın gazdan sıvı durumuna geçmesine yoğunlaşma denir. Aynı zamanda sıvının gaz durumuna geçmesi kaynama süreci ile yapılabilir.

Gaz moleküllerinin önemli ölçüde daha yüksek ortalama kinetik enerjisi sıvı moleküllerinden vardır, çünkü sıvının buharlaşma süreci buharlaşacak süpstantın iç enerjisini yükseltmesi ile sıkıca bağlıdır, yoğunlaşmada süpstantın iç enerjisini azaltır. Buna göre, bu süreçler, birde erime ve kristalleşme süreçleri sadece çevre ile enerji alışverişini yaptıkları zaman oluşabilir.

İlk buharlaşma sürecini analiz edelim. Sıvı molekülleri moleküller arası kuvvetlerden sıkıştırılmıştır, sıvı yüzeyinden serbeslenmek için molekül bu kuvvetleri yenmesi gerekir.

Sıvı yüzey tabakasının molekülleri arasında, kinetik enerjisi yeterince büyük olan molekül bulunur moleküller arası etkilerin üstesinden gelebilir ve sıvı yüzeyi bırakabilir. Bildiğim kadarıyla sıvı sıcaklığı ne kadar büyükse bunun olasılığı da büyüktü.

Sıvıdan ortalama kinetik enerjisi büyük olan moleküller ayrılır, bundan dolayı kalan moleküllerin *ortalama kinetik enerjisi azaltılmış*. Buharlaşma esnasında sıvı soğur. Böyle çoğu olayları açıklarız: terleme esnasında soğuma, yağmurun buharlaşması esnasında toprağın soğuması, eterde konulan elin soğuması ve sayı.

Buharlaşma sürecine paralel olarak ters süreç mümkündür, buhar katmanından moleküller sıvı yüzeyine yakın olanlar moleküller arası kuvvetleri çekilir ve bu nedenle sıvıya geçerler. Bu yoğunlaşma sürecidir, çünkü sıvıya ortalama kinetik enerji büyük olan moleküller geçerler, genel ortalama kinetik enerjisi sıvı moleküllerinin büyüktür. Sıvı ısıtılır.

12. Faz geçişleri

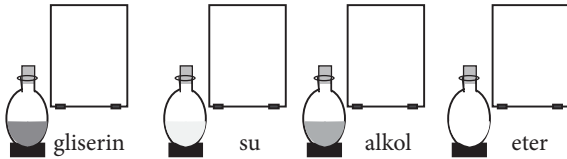
Sıvı yüzeyinde aynı anda yukarıda açıklanan iki süreç oluşur. Sıvılardan hangi hakimse ona bağlı, sıvının soğuması yada onun ısınması olur. Doğal koşullarda sıvı havuzlarında genellikle buharlaşma hakimdir. Yani sıvı yüzeyi üzerinde düşük yoğunluklu buhar olduğunda buharlaşma artmaktadır. Bu nedenle sıvı yüzeyini üflemeyle daha hızlı buharlaşma olur ve bununla sıvı daha çabuk soğur.

Öte yandan, basıncın yükselmesi sıvı yüzeyi üzerinde yükselen buharlaşma sürecini yavaşlatır.

Buharlaşma hızı moleküler arası kuvvetlere bağlıdır, bunlar ise sıvının doğasına bağlıdır. Eğer aynı anda eter, alkol ve suyun buharlaşması gözletlenirse, eterin en hızlı buharlaştığını, sonra alkol ve sonra suyun buharlaştığını görebiliriz.

Deney.

Çok sayıda mat camları ile farklı sıvıların farklı buharlaştıkları gösterilir. 4 mat camı dikey konular Şekil 1. Pamuk yardımı ile birinci gliserin ile sıvanır, ikincisi su ile, üçüncüsü alkol ile ve dördüncüsü eter ile. Camların sıvı sıvanmaları söylendiği gibi yapılır ve sıralanır. En çabuk eter buharlaşır son alkol, biraz daha geç su, gliserin ise çok uzun kalacak.



Şekil 1.

Deneylerden alınan sonuç buharlaşma sıvı serbes yüzeyinin büyüklüğüne bağlıdır. Sıvının aynı miktarı sığ bir kabda derin kabdakinden daha çabuk buharlaşacak.

Eğer süpstanın buharlaşma sürecinde sıvı temperaturü ve buharın eşitseler, sıvı kütle biriminin daha az iç enerjisi buhar kütle biriminden vardır.

Buharlaşma esnasında gaz halinde madde yoğunluğu azalır hacmin yükselmesinden ötürü. Buharlaşma esnasında dış basınç kuvvetlerine ters olarak iş yapılır. Bu nedenle, sıvıya verilecek sıcaklık miktarı buhar dönüşmesi için, sabit temperaturde, katıdan sıvıya geçişinden bile çok büyüktür. *Verilen enerji kısmen süpstanın iç enerjisini çoğaltmak için harcanır, diğer kısmı da genişleme sürecinde dış kuvvetlere karşı yapacağı iş için harcanır.* Sabit temperaturde sıvıyı buhar haline dönüştürmek sıvıya sıcaklık miktarı Q_i verilir. Bu sıcaklığa buharlaşma sıcaklığı denir. Ters dönüşümde aynı buhar miktarını sıvı haline aynı miktarda sıcaklığın Q_i alınması gerekir. Bu sıcaklığa yoğunlaşma sıcaklığı deriz.

Deney buharlaşma sıcaklığı (yoğunlaşma) süpstanın kütlesi ile orantılı olduğunu gösterir:

$$Q_i = rm \quad (1)$$

Burada, orantılılık sabitesi r süpstanın doğasına ve dış koşullara bağlıdır. Bu büyüklüğe özel buharlaşma (yoğunlaşma) sıcaklığı denir ve birimi (J/kg) dır, bazan buna süpstanın özel buharlaşma gizli sıcaklığı denir. Tablo 1'de bazı maddelerin özel buharlaşma sıcaklıkları verilmiştir.

Bu değerler kaynama noktası ve normal atmosfer basıncı içindir

Tablo 1.

Süpstans	r [J/kg]	Süpstans	r [J/kg]
Su	2260	Eter	360
Etil alkol	860	Cıva	290
Azot asiti	480	Kerozin	210

Sıvı buharlaşması herhangi bir sıcaklıkta gerçekleşir. Bazen bu sürece *sıcaklığın yellenmesi* denir. Daha yüksek sıcaklıklarda buharlaşma daha hızlıdır. Buharlaşmanın özel sıcaklığı sıcaklığa bağlıdır; sıcaklığına yükselmesi ile o azalır. Sıvının ısıtılması ile parçacıklar arasındaki mesafe artar ve birbirleri aralarındaki etki azalır. Ayrıca, sıcaklığın yükselmesi ile çok sayıda moleküllerin sıvıdan ayrılmak için yeterli enerjileri vardır.

Aşağıdaki kavramların anlamları açıklansın (gerekirse örnekler verin):

- buharlaşma
- yoğunluk sıcaklığı
- yoğunlaşma (sertleşme)
- özel yoğunluk sıcaklığı
- buharlaşma sıcaklığı
- özel buharlaşma sıcaklığı

Sorular, ödevler, faaliyetler

1. Buharlaşma ile cisimlerin soğuması örnekleri gösterin.
2. Özel buharlaşma sıcaklığı nedir ve kime bağlıdır?
3. Belirli süpstanların özel buharlaşma sıcaklığını biliyorsanız, Şekil 1'deki deneyde onların davranışını açıklayabilir misiniz? Cevabınızı açıklayın.

12.3. DOYMAMIŞ VE DOYMUŞ BUHAR. ENDRÜ DENEYLERİ. KRİTİK TEMPERATÜR

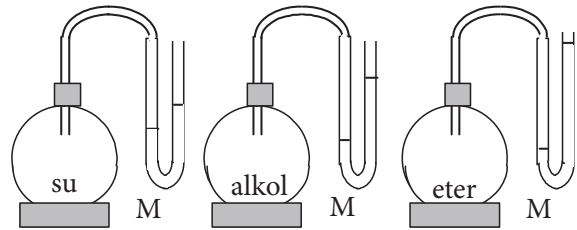
Deneyimlere dayanarak biliyoruz ki sıvı kütle- si (örneğin su) açık kabda zamanla azalır. Bunun

nedeni kab üzerindeki hava akışıdır ve sürekli sıvı yüzeyi üzerinde buhar yoğunluğu azalıyor, buharlaşma yoğunlaşmaya hakim olur.

Sıvı kabda iyice kapatılırsa, sıcaklık dengesi koşullarında sıvı seviyesi kabda sabittir. O zaman, buharlaşma yoğunlaşma ile karşılanmaktadır. Diyorum ki buhar ve sıvı arasında bir dinamik denge sağlanmıştır. Bu koşullarda moleküllerinin sayısı sıvı yüzeyinden ayrılanlar ile girenler birbirine eşittir.

Kendi sıvısı ile dinamik denge bulunan buhara, **doymuş buhar** denir. Sıvı yüzeyi üzerinde buharlaşma yoğunlaşmaya hakim olduğunda bulunan buhara **doymamış buhar** denir. Her süpstanın belli sıcaklıkta maksimum yoğunluğu ve maksimum buhar basıncı doymuş koşullarda vardır.

Belirli sıcaklıkta doymuş buhar basıncı maddenin doğasına bağlıdır. Doymuş buharların en büyük basıncı en hızlı buharlaşan sıvıların vardır, örneğin, alkolün doymuş buharlarından eterin daha büyük basıncı vardır, alkolün ise sudan daha büyüktür. Bunları deney olarak Şekil 1'de gösterilen deneyden görebiliriz. Üç aynı kab manometrelerle bağlıdır. Kablarda aynı miktarda su, alkol ve eter konulmuştur. Eterin en büyük basıncı olduğu gösterilecektir.



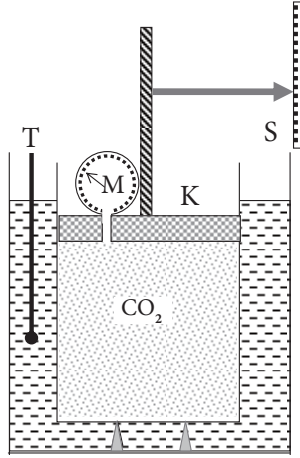
Şekil. 1 Enbüyük basıncı doymuş buharların eterin vardır

Doymuş ve doymamış buharların davranışlarını daha iyi anlamak için Endrü (**Thomas Andrews**, 1813-1885) deneylerini açıklayalım.

12. Faz geçişleri

CO₂ ile deney yapmıştır, bu gazın basıncını sabit sıcaklıkta hacim azalınca ölçmüştür. Gazı saydam boruda manometre M ile bağlı olan koymuştur (Şekil 2.). Gazın hacmini K pistonu ile değiştirmiştir ve ölçek S ile bağlıdır, oradan hacmi okumuştur. Bu deney çok kez tekrarlanmıştır boru ise belli sıcaklığı olan suyla dolu olan geniş bir kabda konulmuştur (termometre ile ölçülerek T).

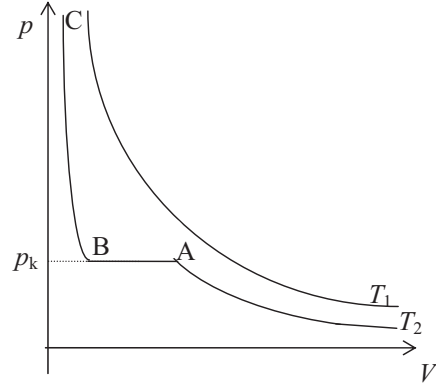
Yeterince yüksek sıcaklıkta CO₂ ideal gaz gibi davranır. Boyle-Maryot kanununa (Şekil 3. sıcaklık T_1 izoterme uygundur) göre gaz basıncı yükselir, sıcaklık azaltılırsa. Ancak, deneme 31 °C sıcaklıktan daha düşük sıcaklıkta yapılırsa, gaz çok farklı davranır.



Şekil. 2

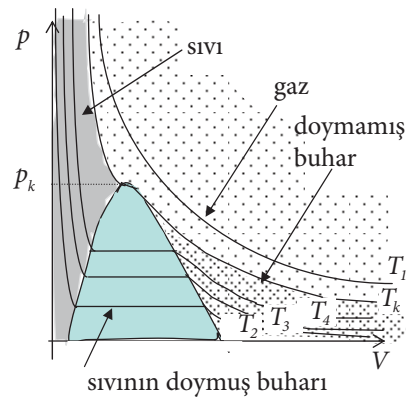
Onun basıncı yükselir hacmini azaltarak, durum A kadar izotermde T_2 sıcaklığı uygundur (Şekil 3.). Devamında hacim hala azaltılırsa basınç sabit kalır. O zaman boruda gaz halinde CO₂ dan madda CO₂ sıvı halinde de bulunur. Basınç p_A doymuş buharların CO₂ sıcaklık T_2 'ki basınç dır. BC kısmı CO₂ sıvısının hacmi azaltarak basıncın yükselmesine uygundur.

Gaz 31°C sıcaklıktan daha düşük sıcaklıkta ideal gaz gibi değil, reel gaz gibi davranır.



Şekil. 3.

Silindir bulunduğu kab içinde, kabın suyu ısıtılır, Endrü fazla sayıda ölçümler yapmıştır ve fazla sayıda izoterm elde etmiştir (Şekil 4). Kritik sıcaklıktan daha yüksek olan sıcaklıklar (CO₂ için 31°C dir) izotermeleri Boyle-Maryot kanununa uygundur. İzoterm süreçleri, kritik sıcaklıktan düşük sıcaklıklar için bir kısımda ideal gaz kanunları gibi davranır, diğer bir kısımda ise CO₂ o kanunlara uygun değildir.



Şekil. 3.

Şekil 4'te T_2, T_3, T_4 izotermelerdir. Eğer bu izotermeler analiz edilirse aşağıdaki sonuçlara varılır:

- gaz (buhar) daha büyük hacimlerde ideal gaz gibi davranır;
- daha küçük hacimlerde gazın yoğunlaşması olur, o zaman basınç sabittir.

12. Faz geçişleri

O izotermin çizgisel kısmıdır ve izotermin o kısmında gaz ve sıvı denge durumundadırlar;

- sıcaklığın artması ile izoterm azalır. Yoğunlaşma gazın daha büyük yoğunluğunda oluşur, daha küçük yoğunluğunda sona erir. Başka bir deyişle, gaz ve sıvı yoğunluğu birbirine daha yakın hale geliyor;

- Yeterince yüksek sıcaklıkta (CO_2 için 31°C dir) çizgisel kısmı izotermin kaybolur. İzotermin öyle sıcaklığına **kritik sıcaklık** denir. Her süpstantın kritik sıcaklığı var (T_k);

- Gaz kritik sıcaklıktan daha büyük sıcaklıkta bulunursa. Sürekli ideal gaz gibi davranır.

K noktası izotermatermin kritik sıcaklığında gazın kritik durumunu belirler. Bu duruma uygun olan basınç kritik basınç (p_k) denir. Kritik durumda gaz ve sıvı arasında fark yoktur. Eğriden görüldüğü gibi, sıvının maksimum hacmi var, doymuş buharın maksimum basıncı var. *Kritik durumda maddenin özel buharlaşma sıcaklığı sıfıra eşittir.*

Kritik sıcaklık bulunması bilim ve teknikte önemli bir rolü var. Gaz kritik sıcaklığın üstünde olduğu zaman, hiçbir basınç altında sıvı hale geçemez. Böyle gaz her zaman ideal gaz gibi davranır. Kritik sıcaklığın altında bulunan gaza doymamış buhar deriz çünkü yeterince küçük hacimde, basınç altında, doymuş durumda bulunabilir, daha küçük hacimde sıvı haline geçebilir. Tablo 2'de bazı maddeler için kritik sıcaklıkları verilmiştir.

Tablo 1.

Süpstant	t_k [$^\circ\text{C}$]	Süpstant	t_k [$^\circ\text{C}$]
Cıva	1460	Oksijen	-118
Eter	194	Azot	-147
CO_2	31	Hidrojen	-240
Klor	146	Helyum	-268

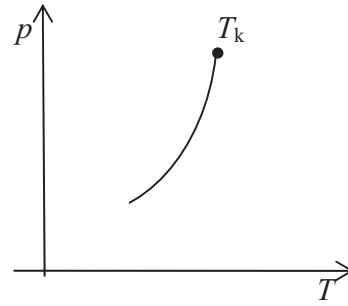
Ekteki tabloda bazı gazların sıcaklıkları çok düşük olduğunu göstermektedir. Bunlar düşük

sıcaklıklarda ideal gaz gibi davranır. Bu gazların diğerlerine göre daha geç sıvıya geçmeleri için bir neden miş.

Doymuş buhar özellikleri

Doymuş buhar doymamış buhar gibi davranmaz olsun ki gazın tüm özelliklerine sahiptir. Doymuş buhar, diğer gaz süreçlerinde de farklı davranır. Endrü deneyi alınsın silindir etrafındaki sıvı ısıtılsın. Hacim sabit ise, doymuş buhar basıncı artacak sıcaklık artınca. Doymuş buharların basınca bağımlılığı Şekil 5'te verilmiştir. Görüldüğü gibi, bu bağımlılık lineer değildir, Şarl kanununa göre.

Doymuş buharlarda sıcaklığın artması ile basıncın daha çok artması nasıl açıklanır?



Şekil. 5

Temel neden şudur. Sıcaklığın değişimi ile doymuş buhar kütlesi değişir. Sıcaklığın artışı ile, buharlaşma süreci çoğalır, doymuş buhar yoğunluğu da artar. Ayrıca, burada da ideal gazda da yüksek sıcaklık nedeniyle basınç artışı olur. Buna göre, doymuş buhar basıncı iki nedenden dolayı büyüyor: buharın yoğunluğunun artmasından ve sıcaklığı artmasından. Şekil 5'teki grafikte T_k noktası kritik sıcaklığa uygundur, o zaman doymuş buharın maksimum basıncı var p_k .

12. Faz geçişleri

Silindir içinde sıvı tamamen buharlaşınca, buhar gaz gibi davranacak. Basınç lineer artış yapacak temperatur artınca (Şarl kanununa göre).

Böylece ne Boly-Maryot ne de Şarl kanunları doymuş buhar için geçerli değildir. Bunun nedeni izohor ve izoterm süreçlerinde doymuş buhar kütlesi değişir.

Endrü deneyin analizi şunu gösterir, doymamış buhar doymuş olabilir izoterm sıkışması ile yada izohor soğuması ile; bunu tersi de doymuş buhar doymamış olabilir izoterm genişleme veya izohor ısıtılması ile.

Aşağıdaki kavramların anlamı açıklansın (gerekirse örnekler verilsin)

- doymuş buhar – kritik durum
- doymamış buhar – kritik basınç
- kritik temperatur

Sorular, ödevler, faaliyetler

1. Doymuş ve doymamış buhar farkları sayılsın ve açıklansın.
2. Kritik sıcaklık nedir?
3. Oksijen hangi durumda bulunur 140 K sıcaklıkta? 180 K sıcaklıkta? Neden?

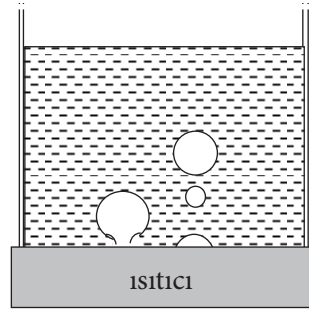
12.4. KAYNAMA

Sıvının gaz haline farklı bir yolla geçmesini kaynama sağlar. Kaynama nedir?

Sıvının gaza dönüşmesi sıvının tüm hacminin buharlaşma esnasına kaynama denir.

Sıvı katı cisimden yapılmış bir kabda bulunur. Her katı cisim gaz kabarcıklarını kendisi yüzeyinde tutma (absorbe) özelliği vardır. Ayrıca, her sıvıda absorbe edilmiş belli miktar gaz bulunur, sıvıda “erimiş” gaz.

Isıtıcıda yerleştirilen kab gözetlensin. Kabın yüzeyinde gaz kabarcığı var. Kab içinde sıvı ısıtılınca gaz kabarcığı genişliyor, onun basıncı artar ve böylece gaz basınç miktarı ve sıvının buharlaşan buharı etraftaki dış basınçla denge bulunurlar. Ancak, kabarcık yeterince büyük olunca ve onun basıncı hidrostatik basıncından daha büyük olduğunda, kabarcık sıvının üst katmanlara tırmanmaya başlar. Kabarcık kab duvarından ayrılınca ardından az miktarda gaz bırakıyor, Şekil 1’de olduğu gibi, ondan küçük bir gaz kabarcığı olur. Sıvının üst katmanlarında kabarcık tekrar azalır. Neden? Sıvının yüksek kesimleri yeterince ısıtılmış değildir, kabarcık buharları yoğunlaşırlar, onun hacmi azalır. Gaz kabarcıkların boyutlarındaki değişime ses eşlik ediyor. Kaynamadan önce sıvının gürülütü özelliğidir.



Şekil 1.

Sıvının tamamı ısıtıldığı zaman, kabarcıkların boyutlarında değişiklik olmaz, ancak bunlar bir hamle ile sıvı yüzeyine çıkarlar ve buharını serbes bırakırlar. Sıvı kaynamaya başlıyor.

Sıvının kaynaması için şu şartlar gerekir: 1) hava (gaz) kabarcıkları gerekir bunlar buharın jeneratör kabarcıklarıdır ve 2) sıvının ısıtılması doymuş buharın basıncı dış basınçla eşleşmesi sıcaklığına kadar yapılmalıdır.

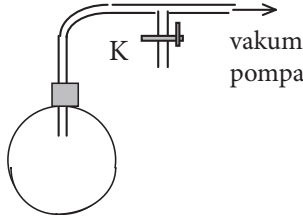
Kaynadıktan sonra hala sıcaklık miktarı verilirse, onun sıcaklığı değişmez, tüm verilen sıcaklık yeni kabarcıkların oluşmasına harcanır;

12. Faz geçişleri

temperatürün biraz artması ile kabarcıklarda basınç artar, kabarcıklar büyüyecek ve ayrılacaktır ve tekrar yeni kabarcıklar oluşur. Bununla *sıvının kaynama esnasında temperatürü sabit kalır açıklanıyor.*

Sıvı kaynadığı temperatürde kaynama temperatürü denir. *Sıvı yüzeyinde dış basınç ile doymuş buhar basıncı eşitlendiği temperatürdür.* Sıvının kaynama temperatürü dış basınca bağlıdır. Sıvı üzerindeki basınç daha yüksek ise, kaynama temperatürü de daha yüksektir ve tersi. Bu deney ile gösterilebilir.

Deney.



Şekil. 2

Balon için 50-60 °C sıcaklıkta su bulunur ve balon vakum pompası ile bağlıdır (Şekil 2.) Bir süre sonra su kaynamaya başlar, sıcak 100 °C altında olmasına rağmen yeterince düşük atmosfer basıncı altında su oda sıcaklığında kaynayabilir.

Sıvı üzerindeki buhar kazanındaki basınç 1,6 MPa olmasına rağmen, su 200 °C kaynar. Aynı efektler tıpta kullanılır.

Normal atmosfer basıncı altında sıvının kaynama temperatürüne kaynama noktası denir.

Aşağıdaki tabloda bazı maddelerin kaynama noktaları verilmiştir.

Tablo 1.

Süpstans	t [°C]	Süpstans	t [°C]
Aseton	56,2	Cıva	357
Mazot	150	Alkol	78
Benzol	80	Eter	35
Su	100		

Sıvı hava kabarcıklarından serbeslenirse, kaynama temperatüründen daha yüksek temperatürlere ısıtılabilir. Örneğin, sudan dikkatlice hava çıkarılırsa normal atmosfer basıncı altında 105 °C kada ısıtılabilir. Bazı özel yağlar yüzen büyük su damlaları 178 °C kaynarlar. Bu sıvıya kızgın sıvı denir. Sıvıya katı cisim koymakla yüzeyinde çok sayıda kava kabarcıkları oluşur kaynaması da çok daha hızlı gerçekleşir.

Aşağıdaki kavramların anlamı verşsin (gerekirse örnekler veriniz)

- kaynama
- kaynama noktası
- kaynama temperatürü

Sorular, ödevler, faaliyetler

1. Suyun kaynaması esnasında sabit temperatürü vardır, nedeni açıklansın?
 2. Su 100 °C'den daha büyük temperatürde sıvı halinde kalabilir mi? Nasıl? Açıklansın.
 3. 8000 m denizüstü yüksekliğünde etin kaynaması yapılamaz. Neden?
 4. İki kg suya 293 K temperatürde ne kadar sıcaklık miktarı verilmesi kaynaması için ve tamamen buhara dönüşmesi için gerekir? Suyun özel sıcaklık sabitesi 4200 J/(kg·°C), özel buharlaşma sıcaklığı 100 °C'de 2,26·10⁶ J/kg (normal basınçta) dır.
- Kılavuz:* Temperatür suyun ısınması için harcanır temperatür (Q_1)'de kaynar ve (Q_2)'de buharlaşır:

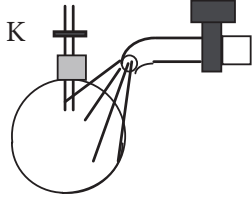
$$Q = Q_1 + Q_2 = cm(T_v - T) + rm$$

5. Bu deneyi gerçekleştirin ve açıklayın. Bu deney açıklanırken çok sayıda kanunlar ortaya çıkar (örneğin, belli gaz miktarının basıncı temperatürden bağımlılığı).

Balon yarısı su ile doldurulur bir süre (Şekil 3.) kaynamaya bırakın. Sonra balon ısıtıcıdan çekilir, vana K kapatılır. Dikkat edilirse kaynama kesilir.

12. Faz geçişleri

Balon musluğa getirilir ve soğuk suyla ıslatılır. Sıvı tekrar kaynamağa başlar.



Şekil 3.

Eğer kaynama soğutmadan sonra gelirse bu tuhaf gibidir?

6. Düdüklü tencereler nasıl çalışır düdüğünüz mü hiç?

8. Manca yemeği daha çabuk kaynar eğer, ısındıktan sonra, sobanın ateşi gürültülü yoksa sakın kaynama için ayarlansın? (Temperatür yemeğin hazırlanmasında en önemlidir).

12.5. GAZLARIN SIVILAŞMASI. SOĞUTMA MAKİNELERİ

Gaz sıvı haline geçer basıncı yükselirse ve temperatürü azalır.

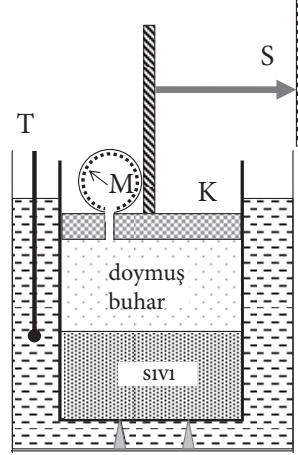
XIX y.y. Michael Faraday birçok maddeyi sıvılaştırmaya o zaman gaz gibi bilinenleri başarmıştır. Ancak, bazı gazları: hidrojen, oksijen, azot ve diğerleri. Faraday asla sıvılaştırmayı başaramamış. Bu maddelere “sıvı gazları” demiştir.

Açıklaması Endrü deneylerinden ve kritik temperatürün bulunmasından sonra yapılmıştır.

Kritik temperatürden üstün ısıtılan gazın sıvılaşmadığı açıklanması için Endrü kabına benzeyen iyice kaptılan kab alınır (Şekil 1.)

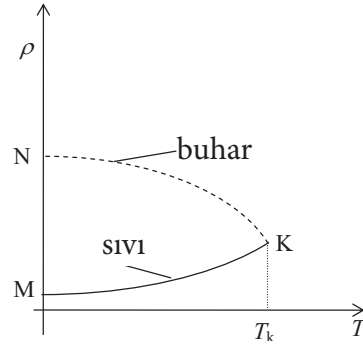
Eğer grafiksel buhar yoğunluğunun temperatürden bağımlılığı gösterilirse MK eğrisi (Şekil 2.) elde edilir. Aynıanda sıvı yoğunluğunun değişimi olur ve doymuş buharla dengede bulunur.

Sıvı ıstılmakla genişler, yoğunluğu azalır. Sıvı yoğunluğunun temperatüre bağımlılığı NK (kesikli çizgi) eğrisi ile verilmiştir. Kritik temperatürde T_k iki eğirinim ortak noktası vardır, doymuş buhar yoğunluğu, sıvı yoğunluğuna eşittir.



Şekil 1.

Gaz ve buhar arasında hiçbir fark yoktur.



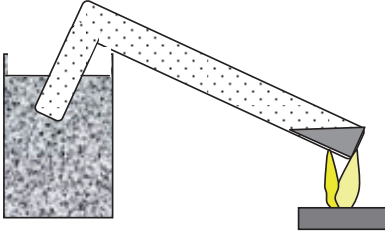
Şekil 2.

Böylece, her bir madde için bir temperatür bulunur onun üzeri madde gaz halinde bulunur. Gaz sıvılaşması için, ilk önce kritik temperatürü altında soğutulmalıdır ve sıkıştırılır.

Faraday deneyi klorun sıvılaşması için açıklanacak.

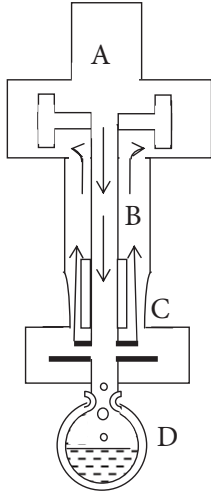
12. Faz geçişleri

Borunun bir ucu ısıtılır ve diğer ucunu ve bir karışımla soğutulur (Şekil 3.). Isıtılan boru ucunda kuru klor hidrati bulunur. Isıtılan boru ucunda kuru klor hidrati bulunur. Isıtılan klorhidrat, klor ondan ayrılır. Klor basınç çoğaltılır, tüpün soğuk ucunda yoğunlaşma olur, sıvı klor ayrılır.



Şekil 3.

Rus bilim adamı Kapica gazın sıvılaşması için daha iyi bir cihaz geliştirmiştir. Buna turbodetander (Şekil 4.) denir. Gaz özel cihazla A sıkıştırılır. Sıkıştırılmış gaz ısınır, özel cihaz soğutulur. Sıkıştırılmış gaz B silindindeki boruda temperaturü düşene kadar hareket eder. Sonra bu tüpü geçince, soğutulmuş gaz genişler ve bir türbin kanatlarına vurur.



Şekil 4.

Gaz iş yaptığı için, kendi iç enerjisi daha da azalır, bu nedenle sıcaklığı düşük kalır. Bu yüzden sıvılaşır ve özel Duray kabına D'de akar. Gazın bir kısmı C boru B'de döner ve yeni gaz miktarların soğumasına yardımcı olur, sonra özel cihaza döner sıkıştırılması için.

Deneyler yardımı ile düşük sıcaklıklarda birçok maddelerin özellikleri oda sıcaklığı

ğında aynı maddenin özelliklerinin farklı olması öğrenilmiştir. Örneğin, kurşun elastik olur, kauçuk katı olur. Süperdüşük sıcaklıkta metaller süperiletken olurlar, sıvı supersıvı olurlar.

Teknikte düşük sıcaklıklar için sıvılaşmış gazlar kullanılır, öncelikle sıvılaşmış hava. Metalurjide yaygın kullanılan sıvılaşmış oksijenin elde etmek için kullanılır. Özel cihazlar kullanılarak sıvılaşmış havadan, azot ve oksijenden mada az miktarda helyum, neon, argon ve ksenon ayrılır. Bu ve diğer sıvı gazlar bilim ve teknikte geniş çapta kullanılır.

Aşağıdaki kavramların anlamları verilsin (gerekirse örnekler veriniz)

- gazların sıvılaşması
- turbodetand
- Faradeev sıvılaştırma cihazı
- kritik sıcaklık yoğunluklu

Sorular, ödevler, faaliyetler

1. Faraday hidrojen, oksijen ve benzeri gazları neden sıvılaştırmayı başaramamış?
2. Kapica'nın turbodetandı çalışması prensipini açıklayın.

12.6. ULVİLEŞME. DURUM DİYAGRAMI. ÜÇLÜ NOKTA

Bazı fiziksel koşullarda cisim dolaysız katı halden gaz haline geçiş yapar, aynen gaz halinden katı halde geçiş yapar. Bu süreçlere *ulvileştirme* denir. Gazın katı hale geçmesi esnasında ondan alınacak sıcaklık miktarı toplam yoğunlaşma sıcaklık miktarına Q_k ve kristalleşme (sertleşme) sıcaklığı miktarına Q_{st} eşittir. Böylece, *ulvileştirme sıcaklık kavramı* Q_s alınır ve gaz halinden katı hale geçen cismin kütlesi ile orantılıdır, veya tersi:

$$Q_s = sm \quad (1)$$

Burada, orantılılık sabitesi s fiziksel büyüklük gibi maddenin doğasına ve dış koşullarına bağlıdır. Buna *özel ulvileştirme sabitesi* denir. *Özel ulvileştirme sabitesi kütle birimine verilecek (alınacak) o kütle birimi katı halden gaz haline veya tersi geçmesi için sıcaklık miktarı ile ölçülür.*

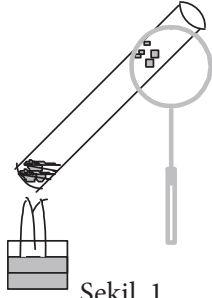
12. Faz geçişleri

Bu füzüksel büyüklüğün birimi (J/kg) dır, özel erime (katılaşıma) λ sıcaklığın ve özel buharlaşma (yoğunlaşma) r sıcaklığın toplamına eşittir aynı dış koşulları altında:

$$s = \lambda + r \quad (2)$$

Deneme

Eprüvette iki veya üç parça iyot konulur. Isıtılır, buharlaşır ve diğer daha soğuk ucunda dolaysız kristalleşir.



Şekil. 1.

İyot kristalleri açık gözle görülür, büyüteçle daha iyi görünür.

Çoğu kez özel erime (katılaşıma) λ sıcaklığına, özel buharlaşma (yoğunlaşma) r sıcaklığına ve özel ulvileştirme s sıcaklığına *gizli sıcaklıkları* denir.

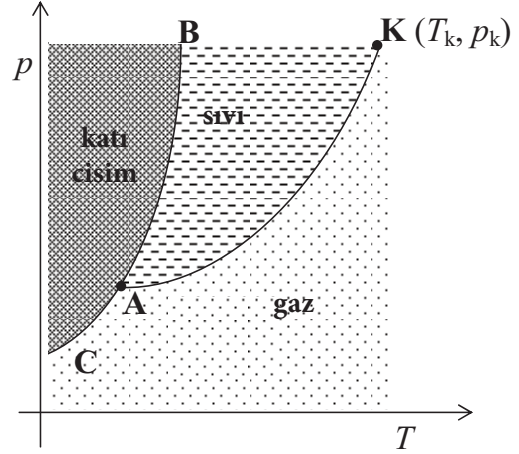
Durum diyagramı

Basınç ve sıcaklıktan maddenin geçiş durumlarının bağımlılığı *durum diyagramı* ile temsil edilebilir.

Bir (p - T) diyagramda maddenin dinamik durumlarının eğirileri çizilir: sıvı-gaz, sıvı-katı cisim ve katı cisim-gaz. Bu durumları bağlayan eğiriler Şekil 2'de verilmiştir. AK eğirisi buharlaşma eğirisidir, AB eğirisi erime eğirisidir, AC eğirisi ulvileştirme eğirisidir.

Grafiğin SAK eğrisi altında yatan basınç ve sıcaklık değerleri için, madde gaz halinde bulunur.

AB ve AK eğirileri arasındaki durumlarda, madde sıvı halinde dir.



Şekil. 2.

Diyagramda özel önemi olan iki nokta vardır: nokta K ve nokta A.

Nokta K, kritik sıcaklığı ve kritik basıncı belirler, maddenin *kritik durumunu* belirler. T_k sıcaklıktan daha yüksek sıcaklıklarda madde herhangi bir basınçta sıvılaştırılamaz. Bunun nedeni kritik sıcaklıkta öteleme hareketindeki moleküllerin ortalama kinetik enerjileri sıvı halde moleküllerinin potansiyel enerjileri bağlarına eşit olmasındandır. Sıcaklık kritik sıcaklıktan küçükse madde sıvılaştırılabilir, sonra katılaşabilir.

İkinci önemli nokta A. Sıvı, gaz ve katı halde aynı anda bulunan bir maddenin durumudur. Diyagramın bu noktasına *üçlü nokta* denir. Her maddenin üçlü nokta kesinlikle belirlenir. Termodinamik sıcaklığın birimini tanımlarken Kelvin, suyun üçlü noktasının sıcaklığı (273,16 K) referans noktası olarak alınmıştır.

Aşağıdaki kavramların anlamları açıklansın (gerekirse örnekler verilsin)

- ulvileştirme
- özel ulvileştirme sıcaklığı
- ulvileştirme sıcaklığı
- üçlü nokta
- durum diyagramı
- suyun üçlü noktası
- kritik durum

Sorular, ödevler, faaliyetler

1. Ulvileştirme nedir? Ulvileştirme örneği gösterin.
2. 1,5 kg buz 253 K sıcaklıkta ne kadar sıcaklık miktarı 373 K sıcaklıkta buhara dönüşmesi için verilmesi gerekir? Verilen özel sıcaklık kapasitesi buzun $c_{mr} = 2,1 \cdot 10^3 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$; $\lambda = 33,6 \cdot 10^4 \text{ J/kg}$; $r = 22,6 \cdot 10^5 \text{ J/kg}$ (100 °C sıcaklıkta)

Kurallar

Toplam sıcaklık miktarı oluşmuştur:

Q_1 – buzun ısınma sıcaklığı 253 K'den 273 K'e;

Q_2 – buzun erime sıcaklığı erime sıcaklığında

Q_3 – suyun ısınma sıcaklığı 373 K'e kadar

Q_4 - kaynama sıcaklığında suyun buhara dönüşme sıcaklığı.

Yani:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

12.7. HAVA NEMLİLİĞİ

Meteoroloji konusu

Yerküre atmosferi ile ilgilenen Yerküre-jeofizik fizik bölümü *meteoroloji* denir.

Hava durumları ile ilgili olan atmosferin fiziksel olaylarını Meteoroloji araştırır, bunlar: havanın hareket olayları için şartlar, onun ısınması ve soğuması, buharlaşma ve yoğunlaşma, rüzgar olayları, bulutların oluşması için şartlar ve atmosfer katmanlarının oluşması için şartlar. Meteoroloji kategori olarak hava durumunu bilmesi için sanayiye büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, her ülkede hidrometeoroloji enstitüleri var bunların görevleri atmosferde olaylarını araştırarak hava tahminleri üretirler.

Atmosferin durumunu her zaman anında açıklanması için çok sayıda meteoroloji parametreleri kullanılır: atmosfer basıncı, hız, rüzgar yönü ve doğrultusu, atmosfer katmanları ve sayıç

Meteorolojide ölçülen fiziksel büyüklükleri bize tanıdık. Hava nemi ve atmosfer katmanlarının oluşması için bilgi verilecektir.

Hava nemliliği. Mutlak ve relatif nem

Su havzaların sürekli buharlaşması nedeniyle ve tüm dünya yüzeyinin, atmosferde su buharı vardır.

Hava nemini havadaki su buharı miktarını ifade eder. Büyük su havzalarında, okyanuslarda, denizlerde, göllerde, ırmaklarda ve diğer yüzeylerde kesintisiz buharlaşma olur, fakat Dünya atmosferinde su buharı her zaman doymuş değildir. Hava kütlelerinin hareket etmesiyle, hava nemi yere göre değişir, aynı yerde bile zamanla hava nemi değişir. Yıllık Dünya atmosferinde çok miktarda su geçer yaklaşık $4,25 \cdot 10^{14}$ ton, bu aynı su Dünya'ya tekrar döner atmosfer katmanları gibi.

Hava nemi şu fiziksel büyüklüklerle karakterize edilir: mutlak nem, maksimum nem, relatif nem ve çiy noktası.

Mutlak nem (ρ_p) suda mevcut olan su buharının yoğunluğu tarafından belirlenir. *Bir metre küp havadaki su buharı kütlesidir.* Ölçü birimi (kg/m^3), bazan da (g/m^3) kullanılır.

Herhangi bir gaz veya buhar yoğunluğu kendi basıncıyla doğru orantılıdır. Bundan dolayı mutlak nem su buharı kısmi basıncı ile ölçülebilir (ρ_p). O zaman mutlak nem Pascal birimi ile ifade edilir yada dışsistem birimi bar (bar).

12. Faz geçişleri

Bu mutlak nem ifadesi meteorolojide kullanılır.

Maksimum nem (ρ_z) doymuş şartlarda su buharın yoğunluğudur. Mutlak nem aynı birimlerle ifade edilir. Maksimum nem su buharı kısmi basıncı ile ifade edildiğinde, aslında, maksimum kısmi basınç veya doymuş buhar basıncı (ρ_z) söz konusu olur. Tablo 1'de doymuş su buharı yoğunluğu ve doymuş su buharların kısmi basınçları (ρ_z) sıcaklık aralığı olan 0 °C – 30 °C verilmiştir.

Su buharı yoğunluğu (ρ_p) ve onun kısmi basıncı (p_p) Klaperyon denklemi ile ilişkilidir:

$$p_p V = \frac{m}{\mu} RT ; \quad \Rightarrow \quad p_p = \rho_p \frac{RT}{\mu} \quad (1)$$

Burada μ su mol kütlesi dir, T mutlak sıcaklığı, R evrensel gaz sabitesi.

Tablo 1.

T [0C]	ρ_3 [kg/m ³]	p_3 [Pa]	T [0C]	ρ_3 [kg/m ³]	p_3 [Pa]
0	0,0048	613,28	16	0,0136	1813,18
1	0,0052	653,28	17	0,0145	1933,17
2	0,0056	706,61	18	0,0154	2066,50
3	0,0060	759,54	19	0,0163	2199,82
4	0,0064	813,27	20	0,0173	2333,14
5	0,0068	879,92	21	0,0183	2493,13
6	0,0073	933,26	22	0,0194	2639,78
7	0,0078	999,91	23	0,0206	2813,10
8	0,0083	1066,57	24	0,0218	2986,42
9	0,0088	1146,57	25	0,0230	3173,07
10	0,0094	1226,56	26	0,0244	3359,82
11	0,0100	1306,56	27	0,0258	3559,71
12	0,0107	1398,88	28	0,0272	3786,36
13	0,0114	1493,21	29	0,0287	3999,67
14	0,0121	1599,87	30	0,0303	4106,28
15	0,0128	1706,53			

Mutlak nemden havadaki gerçek nem derecesi için bir anlam elde edilemez. Mutlak nem su buharının doymuşa yakın ne kadarı havada mevcut olduğunu ifade eder. Bu nedenle, nem relatif neme göre ifade edilir.

Havanın relatif nemi (r) aynı sıcaklıkta mutlak hava nemi ile maksimum nem oranını oluşturur. Relatif nem aynı sıcaklıkta su buharı yoğunluğuna (ρ_p) ve doymuş su buharı (ρ_z) oranına göre ölçülür.

Relatif nem aynı sıcaklıkta su buharın kısmi basıncı (p_p) ve su buharın maksimum kısmi basıncı (p_z) oranı gibi de verilebilir.

$$r = \frac{\rho_p}{\rho_z} \quad \text{veya} \quad r = \frac{p_p}{p_z} \quad (2)$$

Relatif nem genellikle yüzdelik olarak ifade edilir:

$$r = \frac{\rho_p}{\rho_z} \cdot 100\% \quad \text{veya} \quad r = \frac{p_p}{p_z} \cdot 100\% \quad (3)$$

Relatif nem doymuş hava yoğunluğuna bağlıdır, bu da hava sıcaklığına bağlıdır. Relatif nemin değerini hesaplamak için tablodaki değerlerden faydalanılır.

ÖRNEK: Hava sıcaklığı 22°C ve mutlak nemi 0,0083 kg/m³ olduğuna göre. Aynı sıcaklık için maksimum 0,0194 kg/m³. Relatif nem nekadardır?

Çözüm

Denklem (3) göre:

$$r = \frac{\rho_p}{\rho_z} \cdot 100\% = \frac{0,0083}{0,0194} \cdot 100 = 42,6 \%$$

Havadaki sıcaklık 8°C azalır, o zaman mevcut olan su buharı doymuş olması uygundur (Tablo 1'de 8°C için ρ_z değeri 0,0083 kg/m³, nem 100% olabilir.

Biliyoruz ki doymamış su buharı belli basınçta soğumağa başladığında, doymuş olabilir. Böyle bir şey atmosferde de oluyor. Bu nedenle, başka nem ölçüsü olarak fiziksel büyüklüğü – çiy noktası alınır.

Çiy noktası

Havada mevcut olan su buharın doymuş olacağı temperaturde (τ) çiy noktası denir. (Yukarıdaki örnekte 8°C çiy noktasıdır).

Çiy noktası biliniyorsa Tablo 1'e göre havanın mutlak nemi kolaylıkla belirlenir, ondan sonra relatif nem de.

Temiz hava çiy noktasından düşük sıcaklıkta bile soğuyabilir, onda bulunan su buğarı yoğunlaşmaz. Böyle buhara *beslenmiş* diyoruz. Bu olaya eğer havada “yoğunlaşma merkezleri” bulunmazsa gelinir. Bunlar farklı tozcuklar veya duman gibi birşeyler dirler. Özellikle yoğunlaşma merkezleri havada elektrikleşmiş parçacıklarıdır, örneğin iyonlar.

Hava nemin önemi Dünya üzerindeki tüm yaşam için çoktur. Bitkiler, hayvanlar ve insan buharlaşır hava nemine bağlı olarak. Bu şekilde onlar sıcaklığını düzerler.

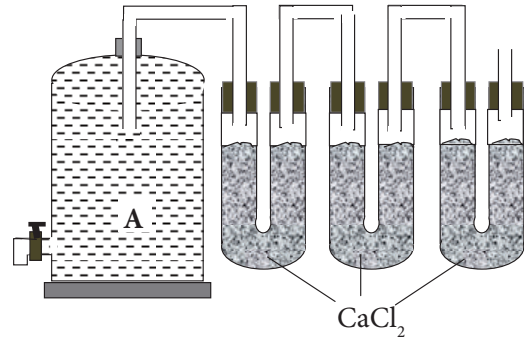
İnsan için en keyifli hava nemi oranı 60% - 70% dır. Ortamlarda bu nemlilik oranı Air Condition cihazı ile sağlanır.

Nemin ölçünmesi

Hava nemi higrometre (yunanca higo-nem karşılığına gelir) ve psihrometre (yunanca psihro-soğuk karşılığına gelir) ile ölçülür.

Mutlak higrometre ile mutlak nem ölçülür. Hogroskop denen su buharını emer süpstanlar kullanılır. Onlardan biri CaCl_2 . Şekil. 1'de bir higro-

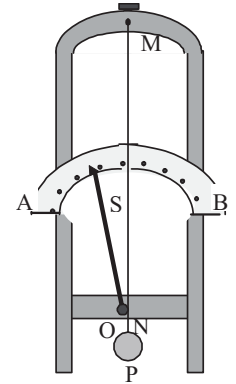
metre şeması verilmiştir. Üç U-tüpü içerir ve onlarda CaCl_2 konulmuştur. Bu borular su ile dolu büyük bir kabla bağlıdır. Bu kabdan su akınca, kabda U-tüpleri yardımı ile hava girer. Tüm su miktarı aktığı anda U-tüplerinden geçen hava hacim olarak kab A'nın hacmine eşittir. O anda U-tüplerinde havanın su buharı absorbe edilir higroskop CaCl_2 de. Önceden U-tüplerin kütlesi biliniyorsa, tekrar ölçünerek kütle farkından absorbe edilen havanın su buharı bulunur ve kab A hacmi ile eşittir.



Şekil 1.

Kıllı higrometre ile dolaysız relatif hava nemi belirlenir.

Bu cihazda (Şekil 2.) canlı organizma (insan) saçı (şekilde MN doğrusu ile gösterilen) özelliği kullanılır, hava nemi ile orantılı uzatılır. Pratik olarak sadece bir kıl ile değil kıllar demeti ile işlenir.

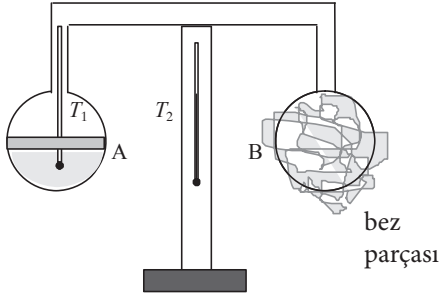


Şekil 2.

İpliğin bir kenarı nokta M'de bağlıdır, diğeri O eksenine bağlıdır ve P ağırlığı ile ağırlaştırılır. O eksenine S akrepi bağlıdır ve onun yardımı ile relatif ne AB ölçekten ölçülür yüzdelik olarak.

12. Faz geçişleri

Daniel higrometresi Şekil 3'te verilmiştir. İki kısımdan oluşan bir kapalı kab dır, A ve B. İç kısmında eter bulunur. A kabın ortası altın kaplama yüzeyle ötüldür çiy damlalarını görmek için. Eter ile B kabdaki bez parçası ıslatılır. A kabında çiy olduğu zaman, iç kısımdaki temperatur okunur T_1 . Bu çiy noktasıdır.

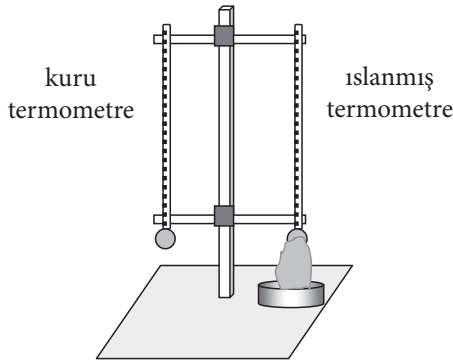


Şekil 3.

Sütunda bulununan termometreden de temperatur T_2 okunur. Bu sıcaklıklar belirlendikten sonra, relatif hava nemi belirlenir.

Tablodan doymuş hava buharının kısmi basıncı bu sıcaklıklar için aranır, p_{z1} ve p_{z2} , onların oranından havanın relatif nemin r değeri belirlenir:

$$r = \frac{p_{z1}}{p_{z2}}$$



Şekil 4.

Psikrometre iki termometreden oluşmuştur. Bir kurudur, diğeri ıslatılmıştır çünkü deposu bir kö-

şesi altaki kabda suda batırılmış bulunan kumaş ile sarılıdır (Şekil 4.).

Kumaş yardımı ile termometre sürekli buharlaşan suyla temasta bulunur. Bu nedenle o sürekli kuru termometreden daha düşük bir sıcaklığı gösterir.

Relatif nem ne kadar büyükse bu iki termometrenin gösterdikleri değer o kadar küçük tür, buharlaşma hızı o kadar büyüktür havanın relatif nemi ne kadar küçükse. % 100 su nem olduğu zaman buharlaşması yoktur ve her iki termometre aynı değeri gösterir, özel psikrometre tabloları yardımı ile havanın relatif nemi bulunur.

Aşağıdaki kavramların anlamları verilsin (gerekirse örnekler veriniz)

- | | |
|----------------------|---------------------------|
| - hava nemi | - higrometre |
| - mutlak nem | - higroskopik süpstantans |
| - relatif nem | - mutlak higrometre |
| - çiy noktası | - kılı higrometre |
| - yoğunlaşma merkezi | - Daniel higrometresi |
| - beslenmiş buhar | |

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Mutlak nem yoğunluk ve su buharı kısmi basıncı ile görüntülenebilir açıklayınız?
2. Relatif nem hangi birim ile ifade edilir?
3. Relatif nemin 20 °C sıcaklıkta % 58 değeri var. Hangi sıcaklıkta nem doymuş olabilir? (Cevap. $t=11$ °C)
4. Havanın 303 K sıcaklıkta 286 K çiy noktası vardır. Havanın mutlak ve relatif nemini belirleyin. (Cevap. $\rho_p=11,4 \cdot 10^{-3}$ kg/m³; $r=37,6$ %)
5. Oda hacmi 200 m³ olan havanın relatif nemi 20 °C sıcaklıkta % 70 dir. Odada su buharının kütlesi belirlensin. (Cevap. $m=2,4$ kg)

6. Hangi koşullarda hava mutlak nemin yükselmesi esnasında relatif nemin azalması olur?

12. Faz geçişleri

(Cevap: sıcaklığın yükselmesi esnasında, doymuş buharların basıncı daha hızlı doymamışların basıncından artar)

7. Bu dersle ilgili bilginizi genişletmek istiyorsanız verilen web adrese bakınız

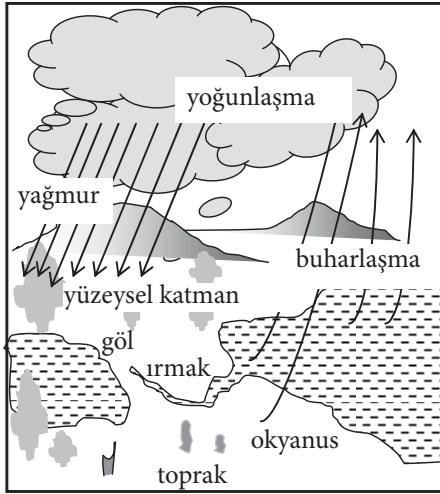
<http://en.wikipedia.org/wiki/Humidity>

12.8. BULUTLAR. ATMOSFER KATMANLARI

Dünyanın her tarafında su bulunur. Bilindiği gibi Dünya yüzeyinin % 71 sürekli buharlaşan su havuzları ile kaplıdır. Toprak ve orman alanları, aynı zamanda su ile dolu dururlar ve buharlaşırlar. Suyu canlı organizmalar solunum vermekle serbestleştirirler. Bazı yan etkileri katkıda bulunurlar su buharı sürekli yeryüzü üzerinde yükselir. Bunlar, örneğin, volkan faaliyetleri, bazı sanayi ve diğerleri için.

Su tek süpstant olarak atmosferde her üç halde bulunur: gaz (buhar şeklinde), sıvı (su damlacıkları) ve katı (buz).

Doğada suyun tüm halleri *suyun dairesel yoluyla* (Şekil 1) açıklanır.



Şekil 1.

Güneş ışınları üzerinde su olan Dünya yüzeyini ısıtırlar. Su buharlaşır ve yükseltilere taşınır,

ve orada yoğunlaşır. Hava soğursa veya genişlerse yoğunlaşma olur. Yoğunlaşan su buharı küçük damlacıkları dırar ve bulutları oluştururlar, belli fiziksel koşullarda su katmanları oluşur ve tekrar Dünya'ya gelirler.

Ortalama Dünya yüzeyine 100 cm su katmanları düşer. Tüm bu etaplarda suyun yolunda faz geçişleri ile yapılır.

Suyun faz geçişleri Dünya'nın farklı bölgelerinde farklı şiddetle oluşur, örneğin, atmosfer katmanlarının dağılımını bunu gösterir. Dünya yüzeyine ortalama 100 cm atmosfer katmanları düşerse, toprağa bu miktarın dörtte biri düşmüştür. Çöllerde bu miktar birkaç santimetre dir (Ölüm vadisinde, ABD ortalama 4,3 cm). Çöllerin bazı kısımlarında ölçülecek su katmanları miktarı tamamen yoktur. En yağmurlu yer Havai adasında 1600 cm su atmosfer katmanları gibi.

Meteorolojide atmosfer katmanlarının oluşması hakkında çeşitli teoriler vardır. Bu süreçleri açıklamak için çok sayıda zorunluklar vardır, şartların karmaşıklığından dolayı doğal şartları altında yoğunlaşma olur. Örneğin 0 °C su katı hale geçer sıkça düşünülür, fakat su -40 °C donabilir ve katı hale geçmeyebilir. Doğal şartları altında havada yoğunlaşma merkezleri olmadığı zaman bu gerçekleşir.

“Suyun dairesel yolu” sahnesinden biri bulutlar da sayılır. Bunlar su damlacıkları miktarından veya küçük kristallerden oluşan dev sistemlerdir. Bulutlar tüm coğrafi genişliklerde bulunurlar.

Bulutlar şu şekilde oluşur: ısıtılan yeryüzü yüzeyi havayı ısıtır çünkü onlar temas halinde dirler. Isıtılan hava daha büyük yüksekliklere çıkar ve orada adiyabatik genişleme ve soğuma olur. Eğer soğuma kesintisiz olursa ve su buharı yeterli kadar varsa, su buharı doymuş olur.

12. Faz geçişleri

Havada çok küçük damlacıklar su buharından oluşacak. Bunlar genellikle daha fazla yükseklerde oluşturlar. Daha alt katmanlar sıcaklık daha büyük olduğu için, küçük damlacıklar buharlaşır ve büyük yüksekliklere dönerler. Böylece, bulutta su buharı sürekli hareket eder. Bulutlarda su damlacıklarının boyutlarının büyüklüğü 3 - 40 mikrometre dir.

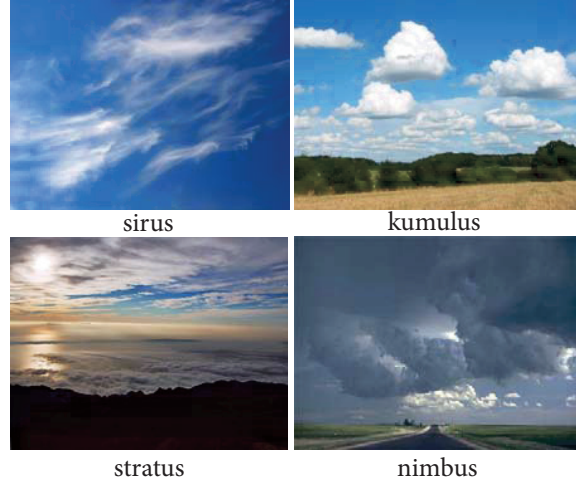
Hava daha yükseğe çıkınca, çiy noktası yer yüzüne daha kolay elde edilir. Çiy noktası deniz üstü yüksekliği ile yaklaşık 0,17 °C için, her 100 m yükseklikte azalır. Yani, hava ne kadar yüksektir orada düşük sıcaklıklarda daha kolay yoğunlaşma oluşur. Çiy noktasının azaltılması daha büyük yüksekliklerde hava basıncının veya su buharı yoğunlaşmasının azalması ile açıklanmıştır.

Bulutlar çeşitli sınıflarda sınıflandırılabilir. Burada dört tür gösterebiliriz (Şekil 2).

Sirusler beyaz ince bulutlar diziler gibi gökyüzünde vardır. Yapısıyla pamuğu andırırlar. Neredeyse tamamen buz kristallerinden yapılmıştır. Gün batımı veya güneş doğuşunda farklı renklerle boyanırlar. 6000 – 12000 m yüksekliklerde oluşturulur.

Kumuluster yüksek yoğunluklu bulutlar, dikey gelmiş top şeklinde veya koni uclu düz ve gri tabanlı dırlar. Onların kubbesel formları birbirinden ayrı bulunmaları için katkıda bulunur. Oldukça yükseğe yayılırlar 2000 – 6000 m. Onlardan yağmur yağmaz. Bazan sadece tek tük damlalar mümkündür.

Stratusler gri renğinde aynı tür bulutları temsil eder, yatay hali vardır. Sisi hatırlatırlar. 2000 m oluşlar. Genelde bütün gökyüzünü kaplarlar ve onlardan nadiren yağmur yağar, bazan 0 °C düşük sıcaklıklarda sıkça değil kar yağabilir.



Şekil 2.

Nimbusler yağmuru taşıyan bulutlar dır. 100-1000 m yükseklikte oluşurlar, kalınlığı ise birkaç bin metreyi aşar. Saydam olmayan kapalı gri renğinde dırlar. Genelde bunlarda uzun süren yağmurlar ve har yağar.

Yağmur damlasının oluşması için en tanınmış teori İsveç meteorolojicisi Berjeron (Tor Bergeron, 1891-1977) tarafından kurulmuştur. Zamanla onun teorisine eklemeler olmuştur fakat temel görüşü bügüne kadar hala durur. Berjeron'a göre su buharı yüksekliklerde kristalleşir küçük buz kristalcıklarına. Bu buz kristalcıkları yeni gelen su buharının ideal yoğunlaşma merkezlerini oluştururlar. Böylece büyük yüksekliklerde bu buz kristalcıkları, soğutulmuş su ve su buharı bulunur. Buz kristalcıkları yavaşça su buharını ulvileştirirler. Tamamen tüm su buharı ulvileştiği zaman, kara benzeyen bir süpstant oluşur. Bu kar, parçacıkları yeterli büyüdükları zaman, kar yağmağa başlıyor. Daha sıcak katmanlara geldikleri zaman eriyip yağmuru oluştururlar. Yağmur damlalarının çapı (diyametresi) 0,05-0,6 cm dir. Eğer yoğunlaşmış damlaların yağması esnasında havanın sıcaklığı 0 °C düşürse kar oluşur. Kar parçacıkları belli şekli olan küçük buz parçacıklarını oluştururlar, (Şekil. 3).

Dolu atmosferin bir tür kabuğu dur ve buz gibi şekli vardır. Dolunun oluşması için iki teori vardır.

12. Faz geçişleri

Birincisine göre doluyu küçük buz kristalcıkları bulunan katmanın üzerinde nemli havanın parçacıkları çok kez kalkıp düşmekle oluşturular.



Şekil 3.

Buz kristalî yukarıya daha soğuk katmanlara atılırsa onda yeni buz kabuklaşacaktır. Bu olay çok kez tekrarlanırsa kütle büyür ve düşmeğe başlar. Buz kristallerin yüksekliğe çıkmalarını şiddetli hava akışları yapar. İkinci teoriye göre dolunun oluşması, buz kristalî yerçekimi etkisinden, düşer ve soğutulmuş su bulunan bulutlar katmanında kalır, burada kristalleşme yapar, kristalleşme merkezi gibi burada yeni buz kütlesi kabuklaşır, böylece buz tanesi büyür. Yeterli büyük olan buz tanesi düşer.

Atmosfer su kabukları hava katmanlarında da oluşabilirler Dünya yüzeyi yakınında.

Böylece, sıkça sis görülür, esasen ırmaklar, göller ve denizler etrafında. Dünya yüzeyine yakın olan bir bulut gibidir. Havanın soğuması ile onda bulunan su buharı yoğunlaşır. Dumanlı yerlerde sis daha yoğundur.

Hafif sıcak gecelerde Dünya yüzeyi sıcaklığı ışımayla verir ve çiy noktasından düşük temperatürde soğur, Dünyaya yakın olan havadan su yoğunlaşır çiy gibi. Eğer hava temperatürü 0 °C düşükse, çiy yerine donma olur. Donma çok sayıda küçük kristalcıkların toplamını oluşturur.

Atmosfer kabukların ölçünmesi yağmur ölçme cihazları ile yapılır. Silindirik kablari oluşturur ve

içlerine yağın su topolur (eğer kabuk katı fazda bulunursa erir). Buharlaşma olmamak için hüni yardımcı ile silindirin iç kısmına iner, yüksekliğine yapılan ölçekten okunur. Örneğin, eğer bir yerde 1mm kalınlığında su yağmışsa, her mektre karede

$$(1 \times 1 \times 0,001) \text{ m}^3 = 1 \text{ L su}$$

Atmosfer kabukları her ülkenin ekonomisi için iyidir. Tarımcılık, enerjetik ve diğeri endüstri dalları büyük ölçüde su kabukları miktarına bağımlıdır. Bundan dolayı, ilimde bulutlardan yapay yağmurun elde edilmesi hala aktüeldir.

Aşağıdaki kavramalar açıklansın (gerekirse örnekler verilsin)

- | | |
|-----------------------|--------------------------------|
| - atmosfer kabuğu | - nimbus |
| - suyun dairesel yolu | - yağmur için Berjeron teorisi |
| - bulutlar | - dolu |
| - sirus | - sis |
| - kumulus | - çiy |
| - stratus | - donma |

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Suyun “dairese yolunu” açıklayın.
2. Berjeron teorisini açıklayın.
3. Dolu nasıl oluşur?
4. Çiy nasıl oluşur?
5. Sis nedir açıklayın? Yaşama yerlerinde sis neden dağa yoğundur?
6. Donma nedir?
7. Yapay yağmurun elde edilmesi için proje yapınız. Web adresine bakınız:
<http://www.thehindu.com/thehindu/seta/2002/05/30/stories/2002053000190300.htm>



Şekil. Yapay yağmurun üretilmesi

13.1. TERMODİNAMİĞİN TEMEL KAVRAMLARI

Giriş

Endüstrinin, tarımcılığın ve taşımacılığın gelişmesi enerjeteğe dayanır. Hemende iki yüz-yıl temel enerjetik makineleri sıcağı makinelerdir. Bu makinelerde kullanılan enerji naft, kömür ve benzeri yakıtlardan kaynaklanır. Sıcağı makinelerdeki bu büyük rol çağdaş enerjetikte yakıtın yanmasından serbeslenen enerjinin kullanışlı enerjiye dönüşmesini öğrenme ve anlama zorunlu olarak istenir.

Enerjetik dönüşümleri ve sıcağı makinelerin temel fiziksel süreçlerini araştıran fizik dalına termodinamik denir. Bu fizik dalı XIX'cu yüzyılda oluşmuştur, esasen sıcağı makinelerin oluşmasıyla. Bugün, termodinamik daha geniş çapta olayları kapsıyor. Onun kanunları kimyada, biyolojide ve diğer doğal bilimlerde ve teknikte, her yerde neredeki enerjinin dönüşme süreci varsa uygulanır.

Termodinamik pratiksel molekülse-kinetik teorisi gibi aynı olayları araştıırır, fakat farklı boyut ve farklı metodlarla. Termodinamikte olayların mekanizması araştıırılmaz, mikroparçacıkların derinlik dünyasına girilmez ve aralarındaki etki, burada tüm olaylar makroskopik enerjetik dönüşüm görüşüyle araştıırılır.

Temel kavramlar

Termodinamiğin bazı temel kavramlarını bakalım. Termodinamik sistemi sık kullanılan bir kavramdır. Esasen o herhangi bir cisim yada birden fazla cisim dirler, kimin ki özellikleri araştıırılır. En basit termodinamik sistemlerden biri homojen gaz, sıvı veya katı cisim dir.

Her gerçek cisim veya termodinamik sistemi ortamla etki halindedir. Demek ki, gerçek termodinamik sistemleri izole edilmiş değildirler. İzole edilen sistemler kimler sayılabilir? O sistemler ki ortamla etki halinde değildir-

ler yada, doğrusu, ortamla etki hali gözönünde bulundurulmaz. Böyle sistem gerçekleştirilebilir. Böyle bir sistem örneği uygun olarak Duar kabı içinde herhangi bir cismin konulması (Şekil 1.) olabilir. Duar kabın camdan veya metalden duvarları var ve çift dirler, duvarlar arası vakum bulunur. Kabın duvarları böyle olması için kabın iç kısmını ortamdan iyice koruyor, izole edilmiş sıcaklık sisteminin gerçekleştirilmesini sağlıyor.



Şekil 1. Duray kabı

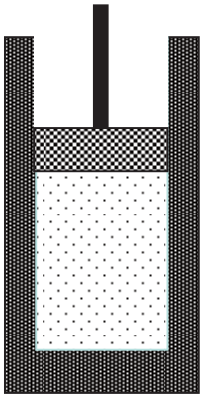
İzole edilmiş termodinamik sistemleri belirli termodinamik sistemlerdir.

Sistemin termodinamik durumu belirli sayıda parametreler yardımıyla belirlenir kimler ki verilen sistemi benzersiz karakterize ederler. Örneğin, termodinamik sistemini klipli silindere içinde belirli miktarda ideal gaz oluş-

tursun, ideal gaz kolayca hareket ettirilir. Bu gazın termodinamik durumu tamamen belirlenir eğer ki sıcaklığı, hacmi ve basıncı bilinirse.

Bir termodinamik sistemde dengeli ve dengersiz durum bulunur. Gazın izole edilmiş silinde konulması olayında, Şekil 2'de gösterilen gazın dengeli durumu söz konusudur. Bir sistemin dengeli durumda olması durum parametrelerinin makroskopik değişmediği manasına gelir (basıncı, hacim ve gazın sıcaklığı) ve de sistemdeki cisimlerin hal durumlarında da değişiklik olmaz.

(Bu mikrosüreçlerin yapılmadığı bir manaya gelmez, örneğin: gaz moleküllerinin kaotik hareketleri kesilmez). Bir sistemlerin sadece denge durumları ile çalışma yapacağız.

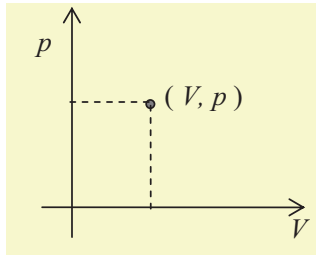


Şekil 2.

Bir termodinamik sistemin denge durumu grafişel gösterilebilir. Örnek: ideal bir gazın durumu (belli gaz miktarı, örnek: 1 mol) bir düzlemde bir nokta ile gösterilebilir nerde ki koordinat eksenlerine hacim ve gaz basıncı yerleştirilir (Şekil 3.).

Bu şekilde gaz durumunun düzlemde gösterilmesi mümkündür: basınç, hacim ve sıcaklık parametreleri bağımsız

olmadıklarından dolayı.



Şekil 3.

Biliriz ki, belli gaz miktarı için, bu parametreler Klapeyron durum denklemleri ile bağıdırlar:

$$pV = \frac{m}{M}RT \text{ yada } pV = nRT \quad (1)$$

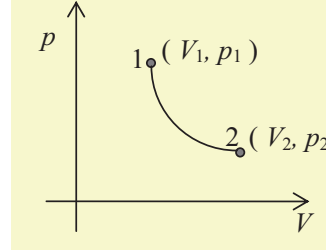
Bu denklemde p basınç dır, V hacim dır, T gazın temperaturü dır, m gazın kütlesi dir, M gazın mol kütlesi dir, R ise universal gaz sabitesi dir:

$$R = 8,32 \frac{\text{J}}{(\text{mol} \cdot \text{K})} \quad (2)$$

Mol sayısı, gazın süpstans miktarı n gaz kütlesi m ile gazın mol kütlesi M ile bölünerek belirlenir:

$$n = \frac{m}{M} \quad (3)$$

Diğer tür termodinamik sistemler için farklı durum denklemleri geçerlidir, çoğu olaylarda, densesel olarak belirlenir.



Şekil 4.

Bir termodinamik sistemde durmunun değişimi oluşmuşsa, termodinamik süreç oluşmuştur. Termodinamik süreç, genelde, grafişel gösterilir (Şekil 4.). İdeal gaz için (p, V) diyagramı kullanılır. Bir koordinat sistemi oluşturur ve onun yatay ekseninde hacim V yerleştirilir, düşey ekseninde ise basınç p yerleştirilir. Şekil 4'te ideal gazın iki durumu gösterilmiştir (V_1, p_1) ve (V_2, p_2) . Eğri (1-2) sürecin 1 durumdan 2 duruma geçmesini gösterir. Burada bilinmesi gereken şudur ki grafişel sadece denge süreçleri gösterilirler yada kesintisiz bir denge durumundan diğerine geçiş yapılan süreçlerdir. Süreç akışı esnasında dengesiz durum oluşursa, o zaman süreç grafişel gösterilemez.

İçsel enerji

Bilindiği gibi kapalı, etraftan ayrı bulunan sistemler, sürtünmeden dolayı sisteme ait cisimler ısınır, enerjinin bir kısmı sistemin içsel enerjisine dönüşür.

İçsel enerji kavramı en iyi molekülse-kinetik teorisi ile açıklanır.

Belli ideal gaz miktarı seçelim. Gaz molekülleri sürekli haotik hareket durumunda bulunurlar. Her moleküle ait belli kinetik enerjisi var. Tüm gaz moleküllerinin kinetik enerjisine içsel enerji deriz. Reel gaz için söz konusu olunca, sıvı veya katı cisim, ideal gazda olduğu gibi değil moleküller

arası etkileri gözününde bulundurulması gerekir; orada parçacıklar moleküller arası kuvvetler alanında bulunurlar ve potansiyel enerjileri de vardır. Bundan dolayı: **bir sistemin moleküllerinin hareketinin kinetik enerjisi ve moleküller arası etkisinin potansiyel enerjisine içsel enerjisi denir.**

İdeal gazın termodinamik sisteminin içsel enerjisini hesaplayalım. İçsel enerjisi U tüm moleküllerin öteleme hareketindeki kinetik enerjileri (\bar{E}_{ki}) toplamına eşittir:

$$U = \bar{E}_{k1} + \bar{E}_{k2} + \bar{E}_{k3} + \dots + \bar{E}_{kn} \quad (4)$$

Burada dikkat edilmesi gereken şudur ki bu sadece tek atomlu moleküller için geçerlidir.

Eğer ki molekül çok atomlu ise, o zaman dönüşlü hareketinin kinetik enerjisi ele alınması gerekir.

Molekülsel-kinetik teorisinde tek atomlu gaz moleküllerinin ortalama kinetik enerjisi şu denklemle verilir:

$$\bar{E}_k = \frac{3}{2} kT \quad (5)$$

burada k Bolçman sabitesini oluşturur,

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K,}$$

gazın mutlak temperaturü T dir.

Bir mol gazda N_A moleküller (N_A - Avagadro sayısı) bulunur ve tekatomlu gazın bir mol'undaki enerjisi:

$$U_M = N_A \bar{E}_k = N_A \frac{3}{2} kT = \frac{3}{2} RT \quad (6)$$

burada $N_A k = R$.

Bu denklemden görüldüğü gibi 1 mol ideal gazın tüm enerjisi onun basınç ve hacmine bağlı değildir fakat onun temperaturüne bağlıdır. Denklem (6) iki atomlu gazlar için şöyle dir

$$U_M = \frac{5}{2} RT, \text{ çok atomlu gazlar içinse şöyle dir}$$

$$U_M = \frac{6}{2} RT = 3RT, \text{ görüldüğü gibi tüm gazlar-}$$

da içsel enerjisinin temel fiziksel büyüklüğü temperaturüdür.

Önceki denklemlerden şunu elde ederiz: ideal gazın içsel enerjisi değişirse o zaman o değişim gaz temperaturünün değişimi özelliğinden dir.

$$\Delta U = U_2 - U_1 = \frac{3}{2} R(T_2 - T_1) \quad (7)$$

Diğer sözlerle: içsel enerji bir gazın durum fonksiyonudur. Bunun anlamı ise, her zaman bir sistem bir durumda bulunursa, onun içsel enerjisinin belli değeri var ve o duruma aittir, önceki geçtiği duruma da bağlı değildir.

Eğer büyük miktarda gaz varsa, n mol kadar gaz, o zaman onun içsel enerjisi şöyle verilir:

$$U = n \frac{3}{2} RT, \text{ çünkü} \quad n = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_A} \text{ ve}$$

$$k = \frac{R}{N_A} \text{ elde edilecek denklem}$$

$$U = N \cdot \frac{3}{2} kT \quad (8)$$

İdeal gaz sistemin içsel enerjisi gaz temperaturüne ve gazın toplam molekül sayısına bağlıdır.

Çok atomlu gazlarda benzer denklemler elde edilir: iki atomlu gazlarda $U = N \cdot \frac{5}{2} kT$,

çok atomlu gazlarda $U = N \cdot 3kT$.

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Termodinamik nedir? Birkaç örnek veriniz.
2. Dengeli termodinamik sistemi nedir ve nasıl belirlenir?
3. Birkaç termodinamik süreci veriniz.
4. Bir termodinamik sistemin içsel enerjisi nedir? Hangi birimlerle ölçülür?
5. Her hangibir gaz miktarının içsel enerjisi kime bağlıdır?

13.2. İÇSEL ENERJİNİN DEĞİŞMESİ. SICAKLIK MİKTARI

İçsel enerji nasıl değişebilir? Sıcaklık kapasitesi ve özel sıcaklık kapasitesi

Belli gaz miktarın içsel enerjisinin değişimi iki türlü olabilir:

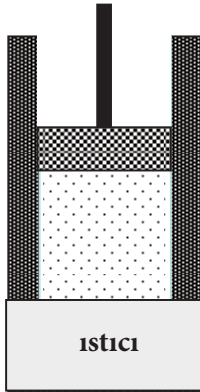
1. *Gazın ısıtılması veya soğutulması ile* (eğer ki gaz sıcak cisimle veya soğuk cisimle temas edilirse).

2. *Gazın genişlemesi veya topulması ile* (gaz genişlediği zaman iş yapıyor ve onun içsel enerjisi azalır, gaz ne zaman ki topulur dıştan iş yapılıyor ve onun içsel enerjisi çoğalır).

İçsel enerjinin birinci şekilde değişmesi sıcaklık miktarı kavramı ile açıklanır. Daha doğrusu, bir termodinamik sistemin ısıtılması veya soğutulması esnasında sıcaklık değişimi yapılır. *Cisme (sisteme) verilen enerji, veya ondan alınan, sıcaklık değişimi sürecinde sıcaklık miktarı denir.*

Sistem gibi belli ideal gaz miktarı alınsın ve ısıtıcı yardımı ile ısılsın (cisim yüksek sıcaklıkta), (Şekil 1). Eğer gaz pistonu sabir bir yerde durursa, gazın ısıtılması ile onun içsel enerjisi çoğalır, ve verilen sıcaklık miktarı Q içsel enerji değişimine ΔU eşittir:

$$Q = \Delta U \quad (1)$$



Şekil. 1.

Bu nedenle, sıcaklık miktarının yargılanması sistemin içsel enerjisinin değişimi ile yapılır. Tüm kalorimetre ölçümleri bu prensipe dayanır.

Deney ve hergünkü deneyimler farklı cisimlerin aynı ısıtılmaları için farklı sıcaklık miktarları gerekir.

Bir cismin sıcaklığının 1 Kelvin kadar değişmesi için cisme (verilen veya alınan) verilen sıcaklık miktarına sıcaklık kapasitesi C_m denir. Ölçü birimi (J/K) dir, yada

$$C_m = \frac{Q}{\Delta T} \left[\frac{J}{K} \right] \quad (2)$$

Farklı sübstansların farklı sıcaklık özellikleri ayrılması için özel sıcaklık kapasitesi alınır.

Her hangibir sübstansın kütle birimine verilen (verilen veya alınan) sıcaklık miktarı onun sıcaklığının 1 Kelvin kadar değişmesine özel sıcaklık kapasitesi denir. Ölçü birimi (J/kg K) dir, yada

$$c = \frac{Q}{m\Delta T} \left[\frac{J}{(kg \cdot K)} \right] \quad (3)$$

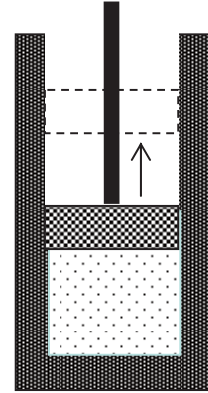
Verilen 1 kg sübstans kütleini ısıtmak için sıcaklık miktarı c gerekir, aynı sübstans kütleini (m) ısıtmak için sübstans miktarı Q gerekir:

$$Q = c m \Delta T \quad (4)$$

Sıcaklık miktarı fiziksel büyüklüğüne *sıcaklık* kavramı kullanılır.

Gazın içsel enerjisi, ısıtmaktan ve soğutulmaktan mada, genişleterek ve sıkıştırarak değişebilir.

Silindirik ve etraftan ayrılmış kapalı bir kab içinde gaz alınsın. Kab pistonu kolayca hareket eder (Şekil 2.). Gazın basınç kuvvetleri kab duvarlarına etki ederler ve kolayca hareket eden pistonu gaz hareket ettirir, böylece iş yaparlar. Eğer bu sürece hiçbir türlü enerji eklenmez ise, gazın yaptığı iş kendi içsel enerjisinden ötürü yapılır.

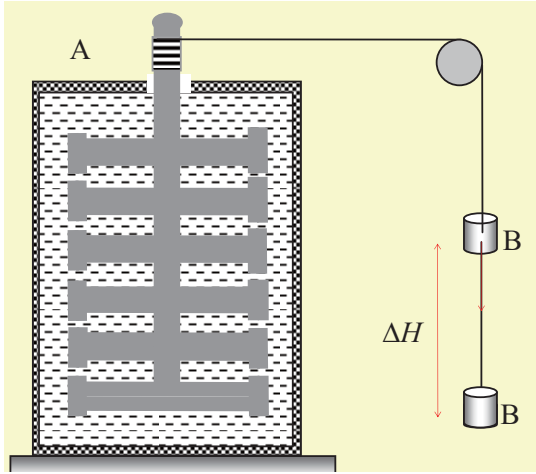


Şekil. 2.

Genişleme esansında, gazın içsel enerjisi azalır. Gaz o sürede soğutulur.

Eğer gaz sıkıştırılırsa, dıştan iş yapılır, o zaman sistemin içsel enerjisi çoğalır.

Gaz sistemin içsel enerjisinin yaptığı işe eşit olduğunu açıklayan ilk bilim adamlarından biri Jül (James Prescott Joule, 1818-1889) dür. Bu amaç için onun gerçekleştirdiği deneyin şeması Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil. 3.

Suyla dolu bir kabda kürekler bulunur, kürekler bir eksene bağlı bulunarak döndürülürler. Döndürme B ağırlığın etkisi ile yapılır, ağırlık ise yerçekim kuvvetinin etkisinden dolayı hareket eder, böylece ağırlık B'nin yaptığı işi kolayca ölçülür:

$$A = m g \Delta H \quad (5)$$

Küreklerin suyla sürtünmesi ile, su ısınmaktadır. Suyun içsel enerjisinin değişimi olur. Bu değişim ağırlık B'nin yaptığı işe eşittir. (Denyde küreklerin de kabın da ısınması oluşur, fakat bunlar gözününde bulundurulmaz yada harcanır). Kabın sıcaklığı ölçülmekle, sistemin içsel enerjisinin değişimi de ölçülebilir.

Jül 4186 J değerindeki iş miktarı 1 kg suyun sıcaklığını 1 Kelvin kadar yükselttiğini açıklamıştır.

Bu deney onun döneminde fizikte önemli rol oynamıştır. Bununla ilk defa sistemin mekaniksel enerjisi ve sıcaklığı (içsel enerjisi) benzer fiziksel büyüklüğü olduğu ve aynı birimlerle ölçülmesi açıklanmıştır.

Jül deneyi enerji korunum kanununu genel anlamda tazyıkladı:

Yalıtılmış sistemler hareketlerinde, sistemi oluşturan tüm cisimlerin kinetik enerjisi, potansiyel enerjisi ve içsel enerjisinin toplamı sabittir ve değişmez. Bu toplam sistemin tüm enerjisini oluşturur. Bu kanunun matematiksel denklemi doğanın temel prensiplerinin içeriğini verir, termodinamiğin I'ci prensibi.

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Bir termodinamik sistemin içsel enerjisinin değişimi nasıl oluşur?
2. Sıcaklık miktarı hangi denklemlerle verilir ve hangi birimlerle ölçülür?
3. Termoakumulasyon sobaların sıcaklık kapasitesi nasıl olması gerekir?
4. Aşağıdaki tabloda çoğu sübstansın sıcaklık kapasitesi verilmiştir. Eğer 1 kg suyu ve 1 kg demiri 50 dereceye kadar ısıtmak için aynı ısıtıcı kullanılırsa, hangisi daha çabuk ısınacak ve neden?

Sübstans	c [J/(kg·K)]
Su	4186,8
Fe	460
Hg	120
Ag	250
Cu	380
Hava	1010
Buz	2090
Mazot	2140
Eter	2340
Gliserin	2430

5. İki cisim var: birincisi kütlesi 100 g bakır küpünü oluşturur, ikincisi kütlesi 50 g demir küpünü oluşturur. Her iki cisimden hangisinin sıcaklık kapasitesi büyük tür?

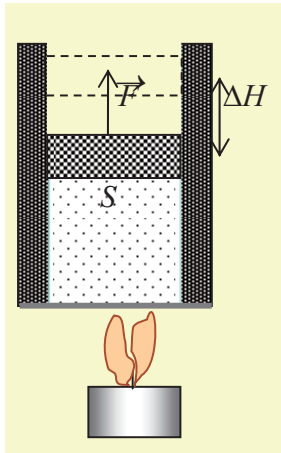
6. Harcanan sıcaklık enerjisini belli ederken 3 kg su ağırlığı 12 kg olan ibrik ile ısıtılır, bu esnada ibrik kendisini ısıtmak için harcadığı enerji gözünde bulundurulmamış. Bu durumda yapılan yanlışlık yüzdelik olarak nekadardır? (Cevap. % 3,5).

7. Ağırlığı 4 kg olan suyu 20o C'den 80o C ısıtmak için nekadarkı sıcaklık gerekir? Eğer su bir kab yarım ile ısıtılırsa, yapılacak hesaplar acaba doğru mudur?

Aşağıdaki kavramların anlamı açıklansın (gerekirse örnek verilsin)

- termodinamik sistemi - iç enerji
- yalıtılmış termodinamik sistemi - sıcaklık miktarı
- termodinamik durumu - sıcaklık kapasitesi
- denge durumu - özel sıcaklık kapasitesi
- termodinamik süreci - iç enerji değişimi
- gazın işi

13.3. TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ PRENSİBİ



Şekil 1.

Belli miktarda gaz pistonu kolayca hareket eden kapalı bir silindirik kabda ısıtılır (Şekil 1).

Isıtılma esnasında gaz genişler ve pistonu yukarıya doğru hareket ettirir. Gaz ısıtılırken belli miktar sıcaklık Q kabul eder. Bu sıcaklık iş yapmak için A ve gazın

zın içsel enerjisinin değişimi (ΔU) için tüketilmiştir.

Bu da şöyle yazılabilir:

$$Q = A + \Delta U \quad (1)$$

Bu denklem enerji korunum kanununu oluşturur. Termodinamiğin I prensibinin matematiksel denklemidir.

Bir sisteme verilen sıcaklık miktarı o sistemin içsel enerjisinin değişimi ve etki eden dış kuvvetlere karşı yapılan iş için tüketilir.

Bu prensipten her yalıtılmış sistemde mekaniksel ve içsel (sıcaklık) enerji toplamı sabit kaldığı, değişmediği görünür. Ne mekaniksel, ne de sıcaklık enerjisi hiçbir şeyden oluşamazlar, yada yokedilemezler. “Perpetuum mobile” – enerji verilmmeden çalışabilecek sıcaklık makinesi inşa edilemez.

İş yapılması için, iş yapacak cisime mutlaka belli enerji verilmesi gerekir.

Termodinamiğin birinci prensibini ideal gazlarda bazı süreçlere uygulayacağız.

a. Kapalı olan gaz Şekil 1’de olduğu gibi ısıtılır, onun hacmi sabit olsun (izohor süreci), demek ki piston aynı yerde durur. O anda hareket yoktur, yapılan iç iş sıfıra eşittir ve verilen tüm sıcaklık gazın ısıtılması için tüketilmiştir, gazın içsel enerjisinin değişmesi için.

$$Q_v = \Delta U \quad (2)$$

Burada sabit hacim şartları altında, gaza verilen sıcaklık miktarı Q_v dir, bunu indis V de gösterir. Demek ki, *izohor sürecinde tüm getirilen sıcaklık miktarı sistemin içsel enerjisinin çoğalmasına gidiyor.*

b. İzobar sürecinde, kabdaki gaz basıncı (Şekil 1) sabit tutulur. Eğer ki gaza belli sıcaklık miktarı verilirse, bir kısmı işe dönüşür, diğer kısmı ise gazın ısıtılması için tüketilir.

$$Q_p = A_p + \Delta U \quad (3)$$

13. Termodinamik

Burada indis P sıcaklığın verilmesi sabit basınç altında yapıldığını açıklar. Yapılan işi hesaplayalım. Çünkü $p = \text{sabit}$, pistonu etki eden gaz basıncının kuvveti de sabittir, o zaman yapılan iş kuvvetin F ve yerdeğişimin ΔH çarpımına eşittir ve basınç kuvvetinin yönünde dir (Şekil 1).

$$A_p = F \Delta H = p S \Delta H = p \Delta V \quad (4)$$

Bu denklemde S pistonun yüzeyidir ona basınç kuvveti etki eder. Çarpım $S \cdot \Delta H = \Delta V$. İş basınç ve hacim değişimin çarpımına eşittir.

c. Sıcaklık miktarın verilmesi sıcaklığın değişmemesiyle yapılmasını varsayalım. Bu bir **izoterm süreç** dir. Sıcaklık değişmediği zaman, içsel enerji de değişmez $\Delta U=0$. Tüm verilen sıcaklık miktarı yapılan işe dönüşmüştür:

$$Q_T = A_T \quad (5)$$

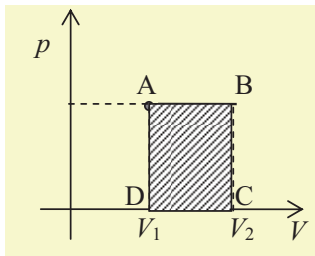
İzoterm süreçlerde tüm verilen sıcaklık miktarı mekanik iş yapılması için tüketilir. Fakat, böyle tüm bu kullanım sınırlanıldığını göreceğiz, bunun için ileride söz edilecektir.

Gaz ve buharın işi

Gaz veya buhar belli şartlarda iş yaptığını gösterdik.

İzobar sürecine dönelim. Yapılan iş şöyledir:

$$A_p = p \Delta V = p (V_2 - V_1) \quad (6)$$



Şekil. 2.

Eğer $(p-V)$ koordinat sisteminde izobar süreci gösterilirse elde edilen doğru yatay eksenle paraleldir (Şekil 2).

Grafikten görülen $p(V_2 - V_1)$ çarpımını sayısal olarak ABCD dikdörtgenin yüzeyine eşittir, yada basınç p doğrusu ile hacim V_1 ve hacim V_2 doğruları ile oluşturulan alan dır.

Bu yapılan iş sadece sıcaklık değişiminden bağlı olduğu kanıtlanabilir. Gazın n mol sayısını düşünelim. Klapeyron'a göre, gaz durumu denkleminin başlangıcı ve sonucu:

$$pV_1 = n R T_1$$

$$pV_2 = n R T_2$$

İkinci denklemden birincisi çıkarılırsa şöyle elde edilir:

$$p (V_2 - V_1) = n R (T_2 - T_1) \quad (8)$$

demek ki yapılan iş sıcaklık değişimine bağlıdır.

1 mol gaz olduğunu düşünelim ve sıcaklık değişimi 1 Kelvin olsun, o zaman denklem (8) göre yapılan iş R eşittir.

Evensel gaz sabitesinin şöyle fiziksel anlamı olduğu ifade edilir:

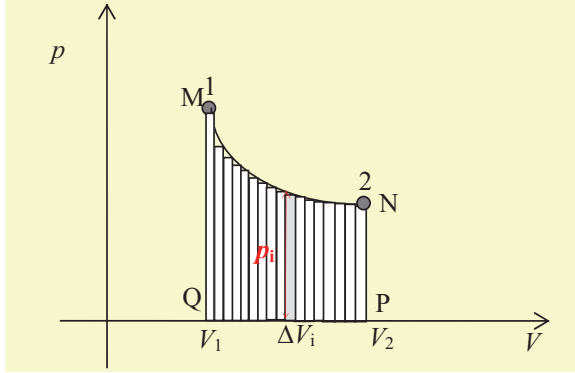
Evensel gaz sabitesi R bir mol ideal gazın yaptığı işe eşittir, sabit basınç altında, ne zaman ki sıcaklığı 1 Kelvin kadar değişir.

Eğer gaz belirsiz bir eğriye göre genişlerse, süreç ona göre dir, ve eğre hacim V_1 den V_2 ye değişirse, süreçler MN eğrisine göre gelişirler (Şekil 3) aynen gazın yaptığı iş belli edilir.

$V_2 - V_1$ aralığını çok sayıda küçük aralıklara ayırırız. Onlar N kadar olsunlar, onların herhangi birinden genişliği ΔV_1 olsun.

Öyle küçük bir aralığın hacim değişimi esnasında p_i sabittir, eğrinin o kısmı küçük hacim aralığına düşen, yatay eksenle paralel olduğu alınabilir. O zaman hacminin değişimi esnasında ΔV_i gazın yaptığı iş:

$$A_i = p_i \Delta V_i \quad (9)$$



Şekil 3.

M-N sürecinde yapılan toplam iş tüm N sayıda küçük aralıkların yaptıkları işlerin toplanması ile elde edilir. Çünkü $p_i \Delta V_i$ sayı olarak aralığın alanına eşittir, gazın toplam işi sayı olarak M-N eğrisinin ile yatay eksenin arasındaki alana eşittir. MNPQ yüzeyin alanı tüm küçük dikdörtgenlerin alanlarının toplamına eşittir.

Alıklar sayısı ne kadar büyükse işin de bu yöntemle hesaplanması daha iyidir. Bu şartlarda, MNPQ yüzeyin alanı tüm dikdörtgenlerin alanına daha yakındır.

Gazın sıkılması ile, daha doğrusu sabit basınç altında gazın V_2 hacmi yavaşça azalır ve sonuçta V_1 hacmi olacaktır. Gazın böyle izobar gelişmesi iş dış kuvvetleri tarafından yapılır basınç kuvvetlerine karşı, bundan dolayı bu iş negatif tir.

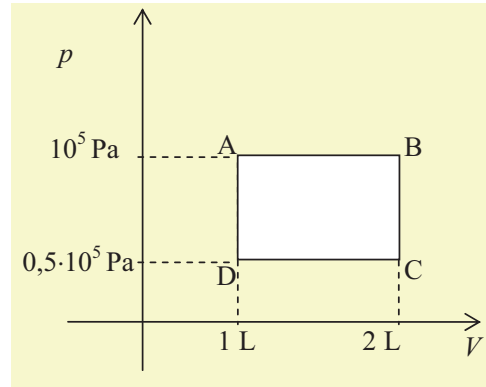
Genel olarak eğer bir süreç daha büyük hacimden daha küçüğüne akarsa, o esnada yapılan iş değer olarak şu çarpımdan ibarettir,

$$p\Delta V = p(V_2 - V_1)$$

dış kuvvetleri basınç kuvvetlere karşı yaptıkları için, bu iş negatif tir. İzobar süreci olmadığı şartlarda bile, herhangi bir süreçte, iş yüzeyin alanı bir yandan eğri ile diğer taraftan yatay eksen ile elde edilir, fakat bu iş negatif tir.

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Termodinamiğin birinci prensipi izohor süreci için nasıldır?
2. İzobar süreçte iş nasıl hesaplanır?
3. Bir gazın işi ne zaman pozitif tir, ne zaman da negatif tir? Mekanik için verilen temel iş tanımı uygun mudur?
4. Belli gaz miktarın hacmi V_1 'den V_2 'ye ilk önce izoterm süreci, sonra izobar süreci olarak değişir. Ne zaman daha büyük iş yapılır?
5. Silindirde kapalı olan bir mol gaz ve şu süreçleri yapar AB, BC, CD, DA diyagramında gösterildiği gibi, Şekil 4. Burda gelişen süreçleri açıkla, Bir döngü esnasında ne kadar iş yapılmıştır? (Cevap. 50 J)



Şekil 4.

6. Ters yönde ADCBA akma esnasında hangi süreçler oluşur? Gaz o esnada iş yapabilir mi ve ne kadar?
7. Silinderde piston altında kütlesi 0,2 kg olan hava bulunur. Gaz ısıtılır ve temperaturü 88 K değeri için değişir.

13. Termodinamik

O esnada ne kadar iş yapılır, eğer süreç sabit basınç altında gelişirse? Havanın mol kütlesi 0,029 kg/mol. (Cevap. 5383 J)

Aşağıdaki kavraların anlamları açıklansın (gerekirse örnekler verilsin)

- termodinamiğin birinci prensipi
- gazın pozitif işi
- gazın negatif işi
- evrensel gaz sabitesi

13.4. ADİYABATİK SÜREÇLERİ

Termodinamikte adiyabatik süreçlerin özel değeri vardır. Sistem dış ortamla sıcaklık değiştiği süreçleri oluşturular. Bu süreçler için:

$$Q = 0 \quad (1)$$

Bu sürecin gerçekleşmesi için bir kabdaki gazın sıcaklığı ideal yalıtılmalıdır. Reel olarak, böyle bir şeyin yapılması imkansızdır. Doğada çok sayıda süreçler adiyabatik dirler. Bunlar hızlı süreçlerdir, ve sıcaklığın değişimi için zaman ihtiyaç yoktur.

Eğer denklem (1)'deki termodinamiğin birinci prensibi için hesap yapılırsa,

$$Q = A + \Delta U$$

$$A + \Delta U = 0 \text{ geçer, veya}$$

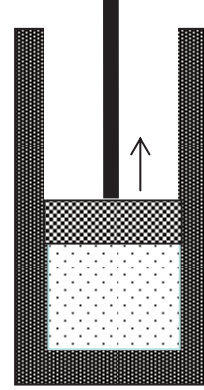
$$\Delta U = - A \quad (2)$$

İç enerji değişimi negatif işe eşittir. Bu ifade nasıl yorumlanabilir?

Örneğin, gaz adiyabatik olarak genişler. O zaman kendisi basınç kuvvetleri yönünde iş yapar (pozitif iş), iç enerjide negatif değişim olmuştur. Demek, iç enerji azalır. Gaz soğur. Adiyabatik genişleme sistemin iç enerjisinden faydalanarak yapılır.

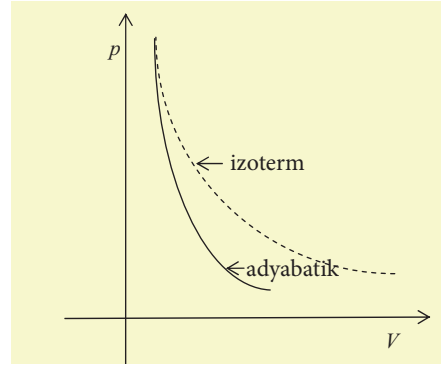
Ters olarak, gaza adiyabatik sıkıştırma yapılırsa, o zaman iş dıştan yapılır, basınç kuvvetlere ters olarak yönlüdür, demek ki bu iş negatiftir.

Negatif iş denklem (2)'ye göre iç enerjinin pozitif değişmesi ve onun büyümesi dir. **Adiyabatik sıkıştırılması esnasında gaz ısıtılır.**



Şekil 1.

İdeal adiyabatik süreç içinde gaz bulunan bir silindir (Şekil 1.) duvarların sıcaklığı ideal yalıtılmış olarak yapılır. Eğer gaz basınç kuvvetlerin etkisinden ötürü kendisi pistonu yukarıya hareket ettirirse, pozitif iş yapmış olur iç enerjiden faydalanarak, gaz o zaman soğur. Ters olarak, eğer gaz dıştan sıkıştırılırsa, sıcaklığı artacaktır.



Şekil 2.

Adiyabatik süreçte gaz basıncının hacimden bağımlılığı Şekil 5'te verilmiştir. Bağımlılık eğrisine **adiyabata** denir. Aynı koordinat sistemde, kıyaslamak için, izoterm sürecinde gaz basıncının hacimden bağımlılığı verilmiştir.

Adiyabat'tan görüldüğü gibi izotermde daha dikeydir. Bunun sebebi adiyabatik süreçte basıncın daha fazla azalmasıdır ve şu şekilde açıklanır: adiyabatik süreçte basınç iki sebepten ötürü azalır, izoterm süreçlerde olduğu gibi hacmin büyümesinden ve gazın soğumasından.

Adiyabatik süreçlerde basınç ve hacim bağı şu denklemle verilir:

$$pV^\gamma = \text{const} \quad (3)$$

Bu denklem Puason denklemi olarak bilinir. Sabite γ ise Puason sabitesidir ve bir atomlu gazlar için 1,67 değeri var, iki atomlu gazlar için 1,40 değeri var ve çok atomlu gazlar için 1,33 değeri vardır. Bu sabite, sabit basınç altında verilen gazın özel sıcaklık sabitesi ve sabit hacim altında özel sıcaklık kapasitesi oranına eşittir $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$. Burada, $\gamma > 1$ ise, eğri $P = \frac{\text{const}}{V^\gamma}$ hacmin değişmesi ile hızlı azalır.

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Adiyabatik süreç nedir? Adiyabatik süreç için örnek veriniz.
2. Gaz hacmini iki katı kadar büyür, birkez izoterm olarak, sonra adiyabatik olarak. Gaz ne zaman daha büyük iş yapar? Ne zaman soğur?
3. Yalıtılmış bir kabda gaz üzerinde adiyabatik sıkıştırılması yapılır. O esnada nasıl iş yapılır? İşin ön işareti açıklansın.
4. Adiyabatik süreci için birinci termodinamik prensipi veriniz?
5. Tamamen yalıtılmış sistemde izoterm süreci uygun mudur? Cevabınızı açıklayın.

Aşağıdaki kavramlar açıklansın (gerekirse örnekler verilsin)

- adiyabatik süreç
- adiyabatik genişleme
- adiyabatik sıkıştırma

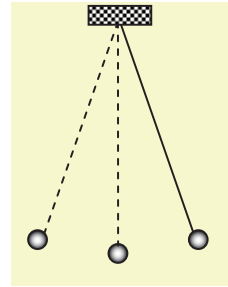
13.5. DÖNÜŞLÜ VE DÖNÜŞSÜZ SÜREÇLER. KARNO SÜRECİ. TERMODİNAMİĞİN İKİNCİ PRENSİPİ

Dönüşlü (tersinir) süreçler

Sıcaklık iç enerjisini işe dönüştürmeyen araçlara sıcaklık makineleri denir.

Bu makinelerin temel prensipleri ile tanışmadan önce önemli bir gerçekle tanışmamız gerekir bu da doğadaki süreçlerin doğası ile bağlıdır, o da şudur: *doğada dönüşlü (tersinir) süreçleri imkansızdır.* Tersini süreç nedir?

Bu iki yönde akan bir süreçtir. Daha doğrusu, bir termodinamik süreci birinci durumda bulunur, sonra diğer duruma geçer, *süreç tersinir dir, eğer ki ters süreç mümkünse ikinci durumdan birinci duruma geçmesi olursa ve o anda hiçbir enerjetik değişimi sistemde olmasın bir de etrafında olmasın.*

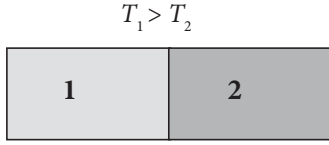


Eğer sürtünmeyi iptal edersek bir topçağızın sallanmasını dönüşlü süreç gibi düşünebiliriz. Topçağız o zaman tüm durumları A'dan B'ye kadar geçer. O anda hiçbir değişiklik olmaz ne topçağızda ne de ortamda. Diğer saf mekanik süreçleri

de tersinir sayılır (yaya bağlı ağırlığın titreşmesi, elastik tabandan topçağızın zıplayışı ve benzeri). Deneyimden biliyoruz ki sarkacın sallanması aynı kalmaz sürtünme olmadığı gibi.

Sürtünme olduğu için sarkaç tersinir değil süreçle sallanır.

Sıcaklık süreçleri de tersinir değildirler.



Şekil 2.

Örnek olarak temas halinde olan iki cisim alınsın. Cisim 1 daha büyük sıcaklıkta olsun cisim 2'den. ($T_1 > T_2$) (Şekil 2.). Cisim 1 temperaturünden bir kısmını temperatur 2'ye vermiştir, fakat bunun tersi olamaz. Buna benzer sıcaklık süreçleri. Örneğin, Bir kabda yüksek basınçta gaz bulunur, bu kabı oda sıcaklığında getirelim. Eğer kabı açarsak ve gazı oda içinde genişlemesine fırsat verelim, bu olay gazda kendiliğinden oluşabilirdi. Bu olayın tersi imkansızdır yani gaz kendi önceki hacmine dönme imkanı yoktur.

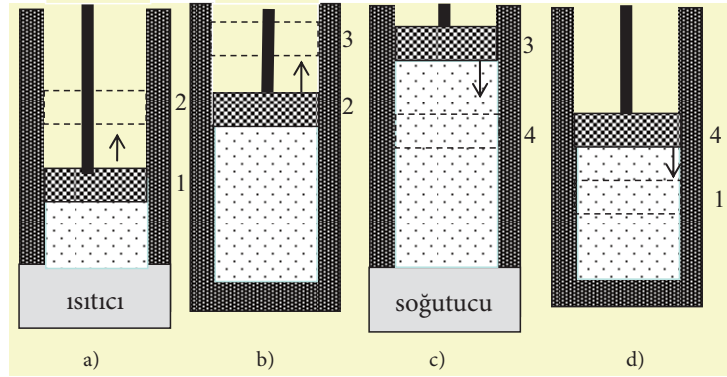
Yukarıda geçen tüm örnekler şunu gösterir: doğada süreçler bir yönde akarlar (gelişirler). Demek ki bir sistemin toplam enerji korunum prensipinden mada bir prensip daha vardır o da süreçlerin gelişme yönünü ifade eden prensiptir. Bu yönü termodinamiğin ikinci prensipi açıklar, bunu daha iyi anlamak için ideel devrili süreç öğreneceğiz o da fizikte Karno süreci gibi bilinir.

Karno süreci. Termodinamiğin ikinci prensipi

Öyle bir süreç esnasında çalışan cisim (örneğin, silindirdeki gaz) periyodik olarak başlangıç durumuna gelmesine *devrili süreç* denir. Bir sıcaklık motoru, bir devirin çok kez tekrarlanmasını oluşturur.

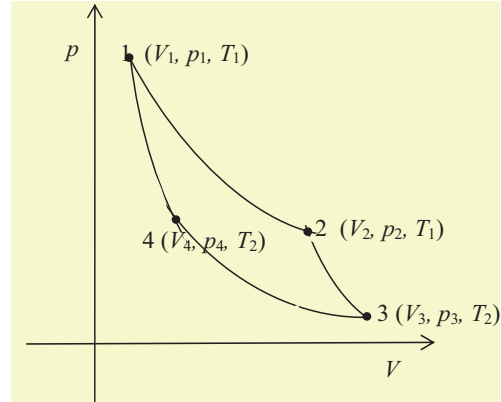
Karno'nun deviri iki izoterm ve iki adyabatik süreçten oluşmuştur. İdeal sıcaklık duvarları olan

silindir içindeki gaz çalışan cisim oluşturur. Gaz başlangıçta durum 1'de bulunur, (p_1, V_1, T_1) parametresi ile ifade edilir (Şekil 3.). Dibi olan silindir ideal sıcaklık iletkeni olabilen, onda gazın genişlemesini bırakırız. Genişleme esnasında soğuyabilir, bizim için de izoterm genişlemesi uygundur,



Şekil 4.

cisme belli miktarda sıcaklık verildi ve kab dibi ile temasta olduğu için ısıtıcı diyelim, bu demektir ki gaz *izoterm genişler* temperatur T_1 'de (Şekil 3a.).



Bu süreç izoterm olarak 1-2 ile Şekil 4'te gösterilmiştir. Durum 2'ye ulaşıncı (p_2, V_2, T_1) parametresi ile ifade edilir, silindirin dibi ideal sıcaklık yalıtkanı ile değiştirilir (Şekil 3b.), böyleki bundan sonra adyabatik genişler. Bu esnada gaz durum 3'e ulaşır, (p_3, V_3, T_2) parametresi ile ifade edilir, gazın temperaturü azalır çünkü adyabatik

genişlemiştir. Süreç 2-3 Şekil 3'te adyabat 2-3 ile açıklanmıştır.

Devamında hacim azalır, esasen izoterm sıkıştırmanın başlangıcı yolunda, bu yüzden silindirik kabı Şekil 3'teki ideal sıcaklık iletkeni ile bağlanır daha düşük sıcaklıkta temasta bulunduğu cisim ile. Bu cisimi soğutucu olarak adlandırılır ve bunun yardımı ile belli miktarda sıcaklık alınır gazın sıkıştırılması esnasında T_2 sıcaklıkta kalması için. İzoterm sıkıştırılmadan sonra gaz durum 3'ten durum 4'de geçer, (p_4, V_4, T_2) parametresi ile ifade edilen, Şekil 4'teki grafik izoterm 3-4 ile bunu açıklar. Karno devirinin son kısmı sistemin başlangıç durumuna 1 dönmelerini sağlaması gerekir. Bu amaç için, gaz tekrar yalıtılır, silindirin dibi tekrar ideal sıcaklık yalıtkanındır (Şekil 3d) ve adyabatik sıkıştırma yapılır, sıcaklık T_2 'den T_1 yükselmesi için. Süreç 4-1 adyabatik dir, ve 4-1 adyabata ile Şekil 4'te açıklanmıştır.

Demek 1-2-3 süreçlerde genişleme oluşur, 3-4-1 süreçlerinde ise gazın sıkıştırılması olur. Genişleme esnasında gaz iş yapmaktadır basınç kuvvetlerin etkisi dış kuvvetlere karşıdır ve bu iş pozitif dir. Sıkıştırılma esnasında iş dıştan yapılır ve negatif tir. *Toplam iş bu iki işin farkına eşittir ve de-ğeri olarak 1-2-3-4-1 eğrisi ile sınırlanan yüzey alanı ile eşittir.*

1-2 kısmında gaz belli miktar sıcaklık ısıtııcıdan almıştır. Bunu Q_1 olarak işret edelim. Isıtıcı T_1 sıcaklıkta bulunur. 3-4 kısmında sıcaklık miktarını Q_2 soğutucuya vermiştir ve T_2 sıcaklıkta dir.

Bu faydalı işe sıcaklık miktarın Q_1 bir kısmı sadece dönüştürülür, bu da $Q_1 - Q_2$ kısmıdır.

Böyle bir soru kuralım: soğutucu olmadan ve sistemden belli miktarda sıcaklık alınmazsa faydalı iş elde edilir mi?

Eğer durum 3'ten sıkıştırma yapılırsa belli miktarda sıcaklık miktarı alınmak için, demek ki sı-

kıştırma adyabatik olabilmelidir, 3-2 eğriye göre sıcaklık T_1 elde edilene kadar. Bundan sonra süreç 2-1 eğrisi ile izoterm akabilir. Dış kuvvetlerin yapabildikleri iş sıkıştırma esnasında genişleme esnasındaki gazın işine eşittir. Faydalı iş o zaman sıfır dır.

Faydalı iş için gerekli şart çalışma cisimden mada, ısıtıcı ondan belli miktarda sıcaklık Q_1 alınacak, ve daha soğuk olan cisim, soğutucu belli sıcaklık miktarı Q_2 ona verilecek.

Bundan görülür ki tüm sıcaklık miktarın mekanik işe dönüşmesi imkansızdır. Bu ifade termodinamiğin ikinci prensiplerinden bir denklemdir.

Faydalı iş elde etmek için, şart olarak cisim olmasıdır ve enerji vermesi gerekir (termodinamiğin birinci prensipinden ortaya çıkar), ve ikinci şartın yerine getirilmesi gerekir. Farklı sıcaklıklarda bulunan iki cisim gerekir, *çünkü sıcaklık daha yüksek sıcaklıktaki cisimden daha düşük sıcaklıktaki cisime geçer, bunun tersi geçersizdir.*

Karno sürecinde, sıcaklığından bir kısmı soğutucuya verilirse gaz iş yapmaktadır. Kendi sıcaklığından vermeyerek çalışan makinelere "ikinci sırada perpetuum mobile" denir. Termodinamiğin ikinci prensipine göre "ikinci sırada perpetuum mobile" makinesi imkansızdır.

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Tersinir süreç nedir? Örnek verin.
2. Doğada tersinir süreç bulunmadığı neden söylenir?
3. Devirinin süreç nedir? Karno sürecini açıkla. Karno sürecin işi neye eşittir? İşareti nasıldır?

Aşağıdaki kavramlar açıklansın (gerekirse örnekler verilsin)

- tersinir süreç
- devirinin süreci
- Karno süreci
- termodinamiğin ikinci prensipi

13.6. FAYDALANMA ETKİLİ SABİTESİ (FES). SICAKLIK MAKİNENİN ÇALIŞMA PRENSİPİ

Bir makinenin faydalanma etkili sabitesi elde edilen faydalı iş ve ona verilen iç enerji oranını oluşturur.

İdeal makinede Karno süreci çok kez tekrarlanıp çalışılırsa, faydalanma etkili sabitesi (η) şöyle bulunur:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \quad (1)$$

denklemde faydalı iş $Q_1 - Q_2$ dir, iç enerjisi ise Q_1 . Hesaplamalara göre sabite ısıtıcının sıcaklığı T_1 ve soğutucu sıcaklığı T_2 ile bağlıdır şu şekilde:

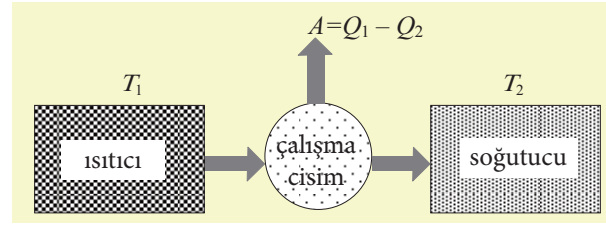
$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (2)$$

Karno'ya göre herhangi bir reel makine ısıtıcı sıcaklığı T_1 ve soğutucu sıcaklığı T_2 ile çalışan, ideal sıcaklık makinenin faydalanma etkili sabitesinden daha büyük faydalanma etkili sabitesi olamaz.

Bugünkü sıcaklık makineleri, yakıtını yakmakla etrafa kıyasen motorunun çalışan kısmının sıcaklığını yüzlerce hatta binlerce dereceye çoğaltır. Çalışan cismin basıncı çoğalır ve iç enerjinin hesabına göre iş yapar. Hiçbir sıcaklık makinesi çalışan cismin sıcaklığı ve ortamın sıcaklığı aynı olması şartlarda çalışmaz. Demek ki, çalışma esnasında sıcaklık makineleri sıcaklığını kızgın cisimden soğuk cisime verirler.

Her sıcaklık makinesi ısıtıcı rölünü oynayan sıcak cisimden sıcaklık alır, ve o sıcaklığın bir kısmını etrafa verir yani atmosfere verir.

Demek ki, here sıcaklık makinesi *ısıtıcı, çalışma cisim ve soğutucudan oluşmuştur*. Sıcaklık makinenin şematik gösterilmesi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1.

Formül (2)'de görüldüğü gibi faydalanma etkili sabitesinin değeri çoğalmak için ısıtıcının sıcaklığı daha büyük olması gerekir soğutucunun ise daha düşük olması gerekir. $T_2=0$ (mutlak sıfır) $\eta=1$. Bu şart gerçekleştirilemez. Pratik olarak, soğutucunun sıcaklığı hava sıcaklığına uygun veya ona yakındır. Isıtıcının sıcaklığı çoğalabilir. Fakat, ısıtıcı yerleştirildiği her malzemenin dayanma noktası vardır (erime noktası), bundan dolayı ısıtıcı daha fazla ısınamaz.

Sıcaklık makinelerin yapılmasında kullanılan bugünkü tekniğin temel ödevi faydalanma etkili sabitesinin değeri ideal sıcaklık makinelerin faydalanma etkili sabitesine yaklaşmasıdır. Bu sürtünmenin azalması ile yapılır, demek ki, sıcaklık kayıpların azalması faydasız harcanır. Bu alanda bugün birşeyler yapılabilir. Bugünkü sıcaklık makinesi: $T_1=800$ K ve $T_2=300$ K denklem (2)'ye göre şu değeri var:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100\% = 62\%$$

reel makinelerde 35-40% değer elde edilir.

Bugün, sıcaklık makineleri hareket ettirdikleri otomobiller, traktörler, dizel lokomotifler, uçaklar, gemiler ve sayı esnasında sıcaklık makinelerin etkinliğini büyütme asıl görevidir.

Sıcaklık makinelerin ekolojik yönleri

Günümüzde sıcaklık makinelerin teknik olarak geliştirilmesi diğer araştırmalar ortam ile ilgili ve ortamın korunması için yapılmalıdır.

Sıcaklık makinelerin yakıtları kalıtım gazları vermemeli çünkü çalıştıkları ortamda zehirlerler. Öyle bir şey olmamalıdır, çünkü tüm canlı varlıklar yerküre üzerinde normal gelişmeleri gerekir, sadece bugün değil ileride de gelişmeleri gerekir.

Bu gazlar atmosfer sıcaklığının değişmesine de etki eder, bununla Dünya'ya da etki eder. Atmosfer yapısının değişmesi ile Dünyadaki sıcaklık etkileri bozar ve iklim değişmesine bugün ve ileride sebep olur.

Bu nedenlerden dolayı sıcaklık makinelerin gelişmesi için ilimin de bugünkü tekniğe katkısı gerekir.

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Karno makinesinin ters yönünde çalışan makine açıklansın; gaz durum 1'den 4-3-2-1 (Şekil 3) geçsin. Böyle makinenin işi nasıldır?

2. Sıcaklık makinenin ıstıcısı tempeeratürü 620o C ve soğutucu tempeeratürü -20° C olduğuna göre faydalanma etkili sabitesinin değeri nekadardır? (Cevap. 71,6 %)

3. Bir reel makinesinin ıstıcısının tempeeratürü 700 K olduğuna göre soğutucusunun tempeeratürü 300 K dir. Bu makinenin ve ideal makinenin faydalanma etkili sabitesi arasındaki fark nekadardır eğer ki reel 0,20 ise?

(Cevap 0,37)

Tarih bilgisi



James Prescott Joule (1818-1889)

Jül İngiliz fizikçisidir. Deneysel araştırmalarla çalışmalar yapmıştır. Mekaniksel ve sıcaklık benzerliği ile ilgili ilk bildirisini 1843 yılında yapmıştır. 22 yaşındayken önemli olan ısı kanununu vermiştir, bu ısıyı elektriksel akımla elde etmiştir, bugün Jül-Lens kanunu olarak bilinir. İş ve enerji ölçü birimi onun ismini Jül olarak taşır.



Sadi Karno (Sadi Carnot, 1796-1832)

Sadi Karno Fransız fizikçisidir. Kendi ünlü eseri süreç hakkında, bugün onun adını taşımaktadır ve 1824 yılında yayınlamıştır. Kendisi genç yaşlarda kolera hastalığına kapılıp vefat etmiştir. Onun vermiş olduğu düşünceler sıcaklığın mekaniksel teorisinden Klauzius (1850) ve V. Tomson Kelvin (1851) faydalanarak termodinamiğin ikinci prensipini kurmuşlar.

Aşağıda verilen kavramlar açıklansın (gerekirse örnekler de verilsin)

- zincirleme süreci
- Karno süreci
- termodinamiğin ikinci kanunu
- sıcaklık makinenin faydalanma etkili süreci
- ideal sıcaklık makinenin faydalanma etkili süreci
- reel sıcaklık makinenin faydalanma süreci

14.1. ELEKTRİKSEL YÜKLER. YÜK KORUNUM KANUNU

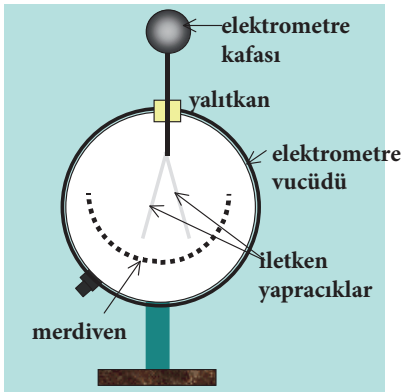
İki türlü elektriksel yükü

Sürtünme yapılmış olan cisimler diğer cisimleri çektikleri önceden bilinmektedir. Sürtünme ile cisimler elektrikleşirler. İki türlü elektriksel yükleri (elektriksel miktarı) vardır. Aynı yüklü elektrikleşen cisimler, birde ipekli bezle sürtünme yapılan cam çubuğu **pozitif elektrikleşir**. Aynı yüklü elektrikleşen cisimler, birde yünlü kumaş ile sürtünme yapılan ebonit çubuğu **negatif elektrikleşir**.

Elektrikleşmiş cisim dokunmakla elektrik yükünü diğer bir cisme taşıyabilir. Buna **dokunma ile elektrikleşme** denir.

Bir cismin elektrikleşmiş olup olmadığını anlamak için elektrikleşmiş cisimler arasında oluşan kuvvetler yardımı ile anlayabiliriz. Bunlara **elektriksel kuvvetleri** denir.

Elektroskop (Şekil 1.) bir araç gibi aynı yüklü cisimler arasında oluşan itme kuvvetleri kullanılır.



Şekil 1. Elektroskop. Vücüdü metal kaplama ile kaplanmış ve ölçmek için kullanılan araca **elektrometre** denir.

Elektroskopun kafa kısmına elektrikleşmiş cisim ile dokunulduğu zaman, onun yapracıkları aynı yüklü elektrikleşir ve birbirini iterler. İtme

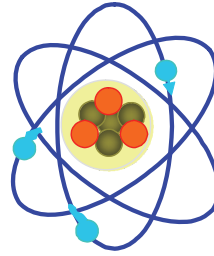
esnasında yaptıkları açı verilen elektriksel miktarına bağlıdır.

Elektrikleşmiş cismin elektriksel yükünü parçacıklarına borçludur, bunlar en küçük yapısal kısmı oluşturular ve kimyasal elementin özellikleri gibi özellikleri var, bu **atomu** oluşturur. Atom'un temel şematik gösterisini bakmamız yeterli olacak.

Rederford'a göre atom iki kısımdan oluşmuştur: atom çekirdeğinden ve atom katmanından. Atom çekirdeği iki türlü parçacıklardan oluşmuştur: **protonlar** ve **neutronlar**. Atom katmanında negatif elektrikleşen **elektronlar** hareket eder. (Atom'un bu şekilde temsil edilmesi çok kabardır, bunu biz basit olduğundan kullanacağız).

Protonlar pozitif elektrikleşmiş parçacıklardır, neutronlar ise neutral dırlar. Atom çekirdeğinde parçacıklar nükleer kuvvetleri ile sıkı bağ-

lıdırlar. Bu kuvvetler protonlar arası itme elektrostatik kuvvetlerinden büyüktür. Elektronla ait olan yük **temel elektrik yükü** (e) oluşturur.



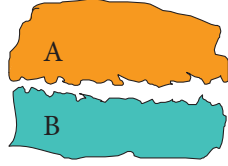
Şekil 2. Lityum atomun şematik gösterilmesi. Onun sıra numarası periyodik sistemde 3 tür. Onun 3 protonu ve 3 elektronu vardır.

eşittir buna göre: **Atom elektroneutral bir bütünlüktür.**

Atomda elektronlar ve atom çekirdeği elektrik kuvvetleri ile birbirine bağlıdır.

Elektronlar atomda katmanlar halinde düzenlenmiştir. Atom çekirdeğinden en uzak katmanda bulunan elektronlara valans elektronları denir. Atomda sekizden fazla **valans elektronu** bulunamaz. Valans elektronları atom çekirdeği ile zayıf bağlı bulunurlar, dış kuvvetlerin etkisinden bir atomdan diğer bir atoma geçebilirler.

DeneySEL olarak sürtünme yapılan cisimlerin elektrikleştikleri gösterilir. Sürtünme ile “dar dokunuş” sağlanır. Bu cisimlerin atomları birbirlerinden arasındaki uzaklık değeri atomlar arası uzaklık manasına gelir. “Dar dokunuş”-ta bir cismin elektronları kolayca diğer cisme geçerler. Şekil 3’te cisimlerin elektrikleşmeleri için neden sürtünmeleri gerekir, düşünün. Sürtünme yapılan cisimlerin yükleri nasıldır.



Şakıl 3. A ve B cisimlerin elektrikleşmeleri için sürtünmeleri gerekir

Elektriksel karşılıklı etki doğada üç temel karşılıklı etkilerden birisi dir: gravitasyon, zayıf elektriksel ve güçlü nükleer dir. Doğada elektromanyetik kuvvetlerin büyük rölü vardır. Elastik kuvvetleri, sürtünme kuvvetleri, moleküllerde atomların durmasını sağlayan kuvvetler, kristal yapısı olan katı cisimlerin formasını koruyan kuvvetler, sıvı molekülleri hacimlerini korudukları kuvvetler, yüzeysel gerilim kuvvetleri ve şimdiye kadar karşılaştığınız tüm diğer kuvvetler, hepsinin elektromanyetik doğası vardır.

Elektrikleşmiş parçacıklar karşılıklı etki etkileri elektromanyetik kuvvetleri çok büyüktür. Onlar gravitasyon kuvvetlerinden büyüktür. Fakat, cisimler arası elektromanyetik kuvvetleri hissedilmez, bu da cisimlerin elektroneutral olduklarından dolayı kaynaklanır.

Makroskopik cisimde bir işaretli temel yükleri fazla bulunursa elektrikleşmiştir denir.

Elektronlar atomu terk edebilen parçacıklar oldukları için, negatif elektrikleşmiş cisimde elektronlar sayısı fazladır, pozitif elektrikleşmiş cisimde ise elektronlar sayısı daha azdır pozitif parçacıklar ise daha çoktur, veya

$$Q = \pm Ne \quad (1)$$

Denklemden N tam sayıdır. **Temel elektriksel yükü tama sayı N ile çarpılır ve herhangi bir elektrikleşmiş cisimin elektriksel yükünü verir.**

Elektriksel yük birimi **Kulon** (işareti C) dur. Temel elektriksel yük büyüklüğü Kulonla verilen:

$$e = -1,6 \times 10^{-19} \text{ C.}$$

Yük korunum kanunu

Cisimlerin elektrikleşmeleri esnasında elektronlar yerdeğişimi yaparlar. Eğer kurumuş saçları bir kaç kez tarakla tararsak, kolay hareket eden elektronlar saçlardan tarakağa geçerler ve tarak negatif elektrikleşir, saçlar ise pozitif elektrikleşir.

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n.$$

İzole sistemde yükün cebir sayısı göz önünde bulundurulur. Sistem başlangıçta elektrikleşmemiş cisimlerden oluşmuşsa, o zaman yükün toplamı sıfırdır.

Bu kanun, atomların bağımsızlığına dayanır ve Yük Korunum Kanunu denir. Bu kanun, dünya ve uzaydaki bütün bilinen süreçler için geçerlidir.

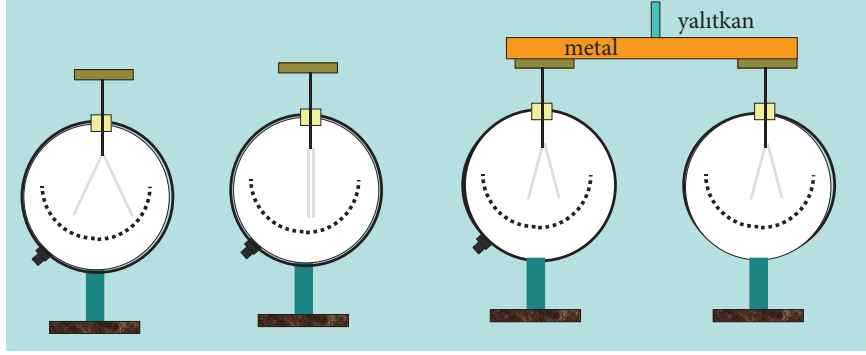
İletkenler ve yalıtkanlar

Yalıtkan saplı olan metal plak yardımı ile iki elektroskop bağlanırsa, onlardan sol kenarda bulunan elektroskop elektrikleşmiş durumdadır, sağ kenarda bulunan elektroskop elektrikleşmiş değildir (Şekil 4.) yapracıkların açıları eşittir. Bunu nasıl açıklayabilirsiniz?

Bu deneyi, metal çubuk yerine, cam çubuğu veya plastik çizgeç kullanarak tekrarlayın. Bu olayda sol kenarda bulunan elektroskop elektrikleşmiş kalır, sağ kenardaki ise elektrikleşmiş değildir. Eğer deneyi odun çubuğu ile tekrarlasak, yapracıkların açıları tekrar eşit olacaktır fakat geç bir vakitten sonra. Nasıl bir sonuca varırsınız?

Elektriksel parçacıkların (burada elektronlar) hızlıca hareket edebilecekleri cisimlere **iletkenler** denir. Böyleleri metallerdir.

14. Elektrik alanı



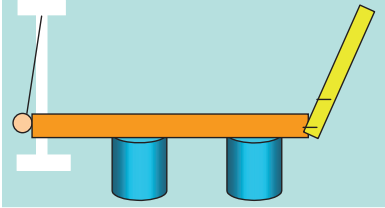
Şekil 4.

Elektrikleşmiş parçacıklar tamamen hareket edemedikleri cisimlere **yalıtkanlar (dielektrikler)** denir.

Elektrikleşmiş parçacıkları yavaş hareket edebildikleri cisimler de vardır bunlar elementlerin periyodik sisteminde **yariletkenler** olarak adlandırılırlar.

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Yük (yükler) korunum kanunu kime denir?
2. Sürtünme ile elektrikleşme için yalıtkanlar kullanılır. Metal top sürtünme ile elektrikleşebilir mi ne düşünürsünüz?



Şekil 5.

3. Sürtünme ile çizgecinizi elektrikleştirin. Kağıt'la sürtünme yapın. Onun nasıl elektrikleşmiş olduğunu deneyin. Bunu nasıl yapacağınızı düşünün, bunun için ebonit çubuğu ve yün parçası ayarlanmıştır.
4. Hangi cisimlerin iletken olduğunu denemek için, şu şekilde davranın. Bir "elektrostatik sarkacı" yapınız. Naylon ipliği yardımı ile strafor topçuğu asılsın. Doğası araştırılan cisim iki kuru cam bardakla-

rı üzerinde konulsun. Cismin bir kenarı elektrikleşmiş çubuk ile dokunulur diğer kenarı ise asılı bulunan strafor topçağızı ile dokunulur (Şekil 5.).

Cismin iletken yada yalıtkan olduğunu nasıl farkına varabilirsiniz?

Aşağıdaki kavramlar açıklansın.

Gerekirse örnekler de verilsin.

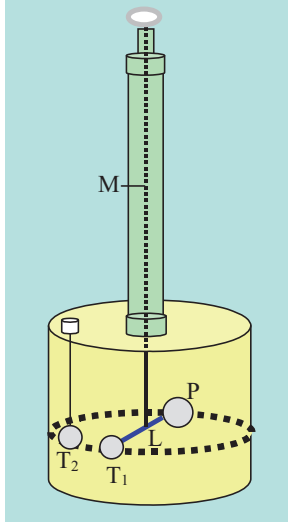
- | | |
|-------------------------------------|-------------------------|
| - elektrikleşme | - proton |
| - atom | - nötron |
| - elektron | - elektrik kuvvetleri |
| - dokunma ile elektrikleşme | - elektroskop |
| - valanslı elektronlar | - yükler korunum kanunu |
| - elektromanyetik karşılıklı etkisi | - iletkenler |
| - temel (elementar) elektrik yükü | - yalıtkanlar |
| - yariletkenler | |

14.2. KULON KANUNU

Yükleri sabit duran elektrikleşmiş cisimlerin olaylarını araştıran elektromıknatis kısmına **elektrostatik** denir. Elektrikleşmiş cisimler vakumda bulunduğunu düşünelim.

Elektrostatik'in temel kanununu 1785 yılında Fransız fizikçisi Şarl Kulon kurmuştur. Kulon kanunu **iki küresel yük** arasında karşılıklı etki eden kuvveti verir. Bu cisimlerin arasındaki mesafeye göre cisim boyutları hemen de gözünün de alınmaz. Elektrikleşmiş küçük topçuklar,

aralarındaki mesafeden boyutları çok daha küçük olan, küresel yükler gibi sayabiliriz.



Şekil 1. Kuvvetlerin ölçülmesi için Kulon terazisi. İnce metal tele M bağlı kaldıraç L bulunur onun kenarlarının birine elektrikleşmiş metal yükü T_1 bulunur, diğer kenarına ağırlık P bulunur. Elektrikleşmiş küre T_1 ve aynı boyutlu küre T_2 arasındaki karşılıklı kuvvet ölçülür.

Kulon torzi terazisini kullanır (Şekil 1.) ve şu sonuçlara varmıştır:

- **karşılıklı etki kuvvetin büyüklüğü (itme ve çekme) yüklerin Q_1 ve Q_2 büyüklükleri ile doğru orantılıdır ve**
- **elektrikleşmiş yüklerin arasındaki mesafenin karesi ile ters orantılıdır.**

Eğer bu bir kanun gibi yazılırsa, elde edilir:

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}. \quad (1)$$

Bu denklemde orantı sabitesi k bulunur. Uluslar arası ölçü birimler sistemine göre bu sabitenin değeri:

$$k = 8,9875 \cdot 10^9 \cong 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}.$$

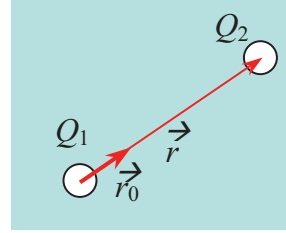
Kulon kanunu şekline göre gravitasyon için Nefton kanununa benzer. Fakat, gravitasyon kuvvetleri cisimler arası her zaman çekimseldir, elekt-

rostatik kuvvetin çekme ve itme özelliği vardır. Kulon kuvvetindeki k sabitesi gravitasyon için Nefton kanununda gravitasyon sabitesine G benzer, fakat bu sabite çok büyüktür. Gravitasyon sabitesi ise çok küçüktür. (Hatırlayın $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$). Bundan dolayı gravitasyon kuvveti büyük kütleli cisimler arasında oluşur, **Kulon kuvveti** ise yüklerin değeri kulondan bin veya yüzbin kez küçük olduğu zaman önemlidir. Kulon kanunun geniş şekli k sabitesi yerine şöyle yazılır:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad (2)$$

$$\text{nerdeki } \epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8,85418 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}$$

buna **elektriksel sabitesi** veya **vakumdaki dielektriksel sabitesi** denir. Bu sabite fizikte üniversal bir sabite dir ve yukarıda verilen birimlerle verilmmez, fakat F/m verilir.



Şekil 2.

Cisimlerin birine referans koordinat başlangıcı yerleştirilir, örneğin cisim 1, o zaman elektrikleşmiş ikinci cismin durumu vektör \vec{r} ile belirlenir (Şekil 2), Kulon kanunu kuvvet için vektörel şekilde birinci yükün ikinci yüke etki etmesi şöyle yazılır:

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \vec{r}_0 \quad (3)$$

denklemde \vec{r}_0 bir birimlik vektörü oluşturur ve vektör \vec{r} gibi yönü vardır. Q_1 ve Q_2 aynı yüklü oldukları eğer, kuvvet iticidir, radyus vektörü doğrultusunda ve yönünde dir. Yükler farklı yüklü oldukları eğer, çarpım $Q_1 Q_2 < 0$, denklem (3)'te eksi işareti oluşur. O zaman kuvvet çekici dir ve yönü radyus vektörüne \vec{r} ters tir.

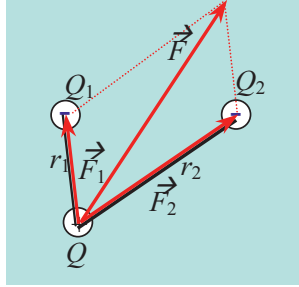
Düşünün, ikinci yük birinci yüke etki ettiği kuvvet nasıldır (çüncü Nefton kanunu göz önünde bulundurun).

Deneylerden iki yük arasında karşılıklı kuvvetler değişmez eğer bunlara diğer yükler getirilirse.

Böylece, Q yükün yakınında $-Q_1$ ve $-Q_2$ yükleri getirilirse bu yüklerin Q yüke etki ettikleri bileşke kuvveti \vec{F}_1 ve \vec{F}_2 vektörel toplamı ile \vec{r}_1 ve \vec{r}_2 radyus vektörleri yönünde belirlenir (burada kuvvetler çekicidir) (Şekil 3).

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \quad (4)$$

Eğer Q yüküne diğer N küresel yükleri etki ederse, çok sayıda yük için **Kulon kuvveti tüm kuvvetlerin** vektörel toplamı ile elde edilir. O esnada her kuvvet Kulon kanunu ile belirlenir (denklem 3).



Şekil 3.

Kulon kuvveti bizleri endüstriyel dumandan koruyabilir.

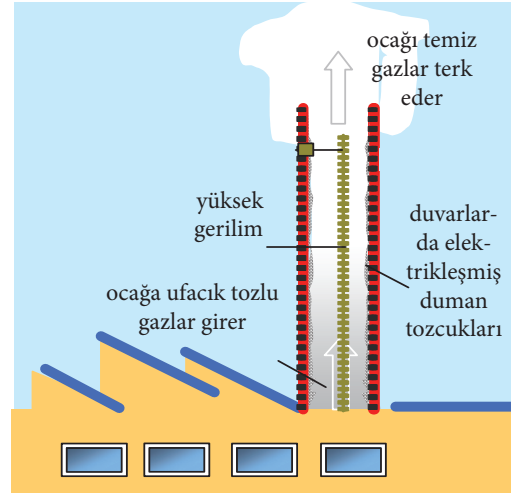
Kömürle çalışan fabrikalar yada çimento fabrikaları gazlar serbezletmekle etrafa öyle endüstri yapıardan ufacık tozlu duman serbezletirler.

Şekil 7'de gösterilen bu fabrika ocaklarına yerleştirilen elektrostatik filtreler yardımı ile gazlardan ufacık tozcuklar çok iyi bir şekilde alınır.

Ülkemizde böyle filtreleri bulunan fabrikalar Cementarnica – Üsküp, REK – Manastır ve FENİ – Kavadar.

Ocağın ortasında yalıtılmış metal tel asılır, onun yukarıdaki ucu 100 000 V değerinde gerilim kaynağının negatif kutubuna bağlı bulunur. Gerilim kaynağının pozitif kutubu ve ocağın duvarları topraklamaya bağlı bulunurlar. Böylece metal

tel ve ocağın duvarları arasında şiddetli elektrik alanı oluşur. Metal tel yüksek negatif kutuba bağlı bulunduğu için, ondan sürekli elektronlar ayrılırlar. Şiddetli elektrik alanında onlar hızlandırılır ve dumanın ufacık tozcuklarına rastlayıp onları iyonlaştırır. Bu parçacıklar, negatifleşip ocakların duvarlarında birikirler ve oradan mekaniksel yöntemle sökülüp uzaklaştırılır.



Şekil 5.

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Bir kulonluk yüklü olan elektrikleşmiş cisimde temel elektrikleşmiş yükler (elektronlar) sayısını hesaplayınız. (Cevap. $6,25 \cdot 10^{-8} e$)
2. Elektrikleşmiş cisimden belli bir kuvvet ile elektron itilmiştir. Elektron mesafesinin üç katı kadar bir uzaklıkta bulunduğu zaman elektrona etki eden itme kuvveti ne kadar değişecektir?
3. Hidrojen atomunun protonu elektrona etki ettiği kuvvet ne kadar dır. Bu parçacıklar arası ortalama mesafe 5,3 nm değeri kadar alınsın. (Cevap. $F = -8,2 \cdot 10^{18} N$. Eksi işareti çekme kuvveti olduğunu gösterir)

4. $Q = 1,7 \cdot 10^{-19} C$ 'luk yük olabilir mi?

Örnek ödevler

5. 100 e aynı yüklü iki topcağız (e temel elektriksel yükü) aralarındaki mesafe 10 cm dir. Onlar arasındaki kuvvet ne kadar dır?

Çözüm:

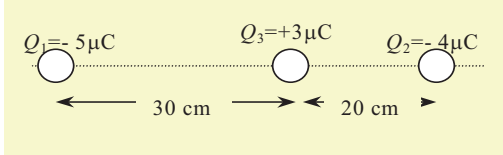
Verilen:

$$Q_1=Q_2=160 \cdot 10^{-19} \text{ C} \quad \text{Aranılır: } F=?$$

$$r=0,1 \text{ m}$$

$$F = 9 \cdot 10^9 \frac{100 \cdot 10^{-19} 100 \cdot 10^{-19}}{0,1^2} = 2,304 \cdot 10^{-22} \text{ N}$$

6. Q_1 ve Q_2 yükleri etki ettikleri Q_3 yüküne bileşke kuvveti bulunsun (Şekil 6).



Şekil 6.

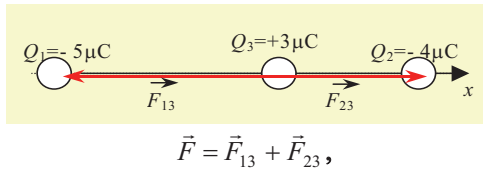
Çözüm

Verilen: Aranılan: $F=?$

$$Q_1 = -5 \cdot 10^{-6} \text{ C}; Q_2 = -4 \cdot 10^{-6} \text{ C ve}$$

$$Q_3 = 3 \cdot 10^{-6} \text{ C}; r_1 = 0,30 \text{ m ve } r_2 = 0,20 \text{ m.}$$

Q_3 yüküne iki kuvvet etki eder (Şekil 8a)



radius vektörler aynı doğrultu üzerinde yattıkları için, kuvvetler aynı doğrultuda fakat ters yönde dirler. Buna göre şöyle yazılabilir: $F = -F_{13} + F_{23}$.

Çünkü:

$$F_{31} = -9 \cdot 10^9 \frac{5 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^{-6}}{0,3^2} = -1,5 \text{ N}$$

$$F_{32} = 9 \cdot 10^9 \frac{4 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^{-6}}{0,2^2} = 2,7 \text{ N},$$

o zaman $F = 1,2 \text{ N}$.

sayı değerlerinin değiştirilmesi ile:

$$F^2 = -F_x^2 + F_y^2 \text{ kuvvet elde edilir: } F = 64,5 \text{ N.}$$

Aşağıdaki kavramlar açıklansın.**Gerekirse örnekler de verilsin**

- | | |
|---|--|
| - küresel yük | - Kulon kuvveti |
| - Kulon kanunu | - çok sayıda küresel yük için Kulon kanunu |
| - elektriksel sabite (vakum için dielektrik sabitesi) | - elektrostatik filtre |

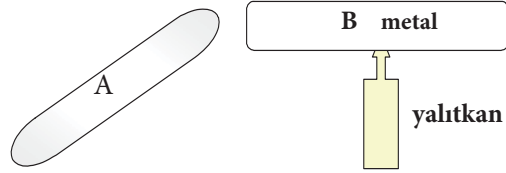
14.3. ETKİ İLE ELEKTRİKLEŞME

Eğer elektrikleşmiş cisim yakınlığında elektrikleşmemiş (nötral) cisim bulunursa, elektrikleşmiş cisim tarafından çekilir. Bunu 2500 yıl önce Tales ilk olarak fark etmiştir ve ona göre sürtünmüş yün kendisinin yakınlığına küçücük cisimleri çeker. Tales bu özelliğe elektrikleşme ismini vermiştir. Neden elektrikleşmemiş (nötral) cisimler elektrikleşmiş cisimler tarafından çekilirler?

Elektrostatik induksiyonu

Elektrikleşmiş cisim yanında diğer bir iletken cisim (metal çubuk) getirilirse, diğer cisimde yüklerin kutuplaşması oluşur ve elektrikleşmiş cisime yakın kısımda zıt yükler yoğunlaşır, diğer tarafında ise aynı yükler yoğunlaşır (Şekil 1.). Bu olaya **elektrostatik induksiyonu** denir.

Eğer elektrikleşmiş çubuğu A uzaklaştırsak, çubuk tekrar nötral haline döner.

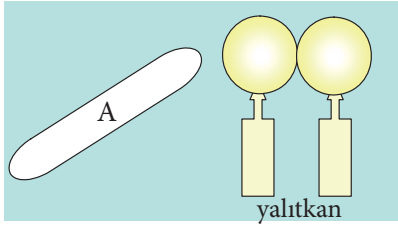


Şekil 1.

Elektriksel yüklerin dağılması ile elektronların bir yerden başka bir yere hareket etmeleri yapılır, buna rağmen pozitif elektrikleştirilen çubuğun yaklaştırılması ile B cisimde elektronlar hareket eder. Bundan dolayı B cismin sağ kısmında daha fazla pozitif yükler bulunur.

Yukarıda açıklanan deney iki aynı metal topcağızı ile yapılırsa, iki yalıtkan desteği üzerinde konulup (Şekil 2.). B cismin rölünü her iki birbirine yaklaşık bulunan topcağızlar yapar. Bundan dolayı A cismin yaklaştırılması ile sağ topcağız pozitif elektrikleşir, sol topcağız ise negatif elektrikleşir. Bu esnada elektronların hareketi sağ topcağızdan sol topcağıza dır.

14. Elektrik alanı

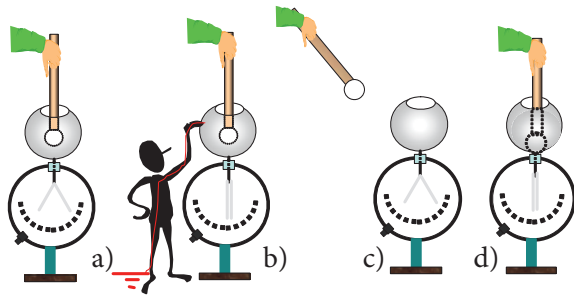


Şekil. 2.

Bu gibi harekette her iki topcağızı sürekli elektrikleştirebiliriz eğer şu şekilde davranmış bulunursak: Acismi yakın bulunurken topcağızları biri diğerinden ayıralım ve hemen A cismini uzaklaştıralım. Her iki topcağızı verilen elektroskop yardımı ile dokunursak onların durumları düşündüğümüz durumda oldukları için emin olabiliriz (Şekil 2).

Topları ayıracak yerde farklı davranabiliriz. A cisim hala yakın bulunurken toplardan birin parmağımız yardımı ile dokunabiliriz. O esnada bağlı bulunmayan aynı yükler torak tarafından nötraleşirler. Her iki top A cismin yüküne zıt yüklü elektrikleşmiş kalırlar. Buolayda topcağızlar negatif yüklü kalırlar.

Elektrostatik induksiyonu esnasında elektrikleşen cisimlerde yüksayışı eşittir fakat işaretleri terstir. Bu deney yardımı ile tazdiklanır. İçi boş olan bir top elektroskopun uc kısmında konulur ve topun açık kısmından içine çubuk ucuna bağlı elektrikleşmiş topcağız konulur ve deney Şekil 3'te olduğu gibi yapılır.



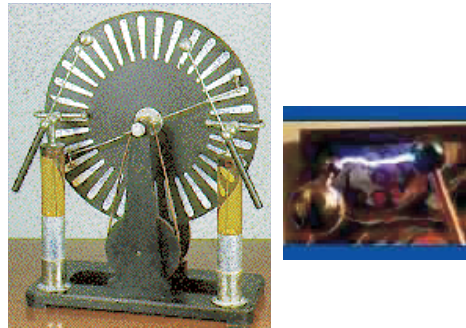
Şekil. 3

Şekil. 3'teki deney şöyle yapılır. a) çubuğun ucuna bağlı olan elektrikleşmiş topcağız etkisinden elektroskopun kafa kısmı ve yapracıkları ters yüklenirler. b) elektroskopun dokunulması ile topraklama yapılır ve yapracıklardaki pozitif yük nötraleşir. c) çubuk çekilince negatif yük başlangıçtaki durumu gösterecek. d) çubuk dokunulduğu zaman elektroskopta nötralleşme oluşur.



Şekil. 4

Doğada elektrostatik induksiyonu önemli rol oynar. Yıldırım esnasında meydana gelir (Şekil 4.). Bulutların alt negatif kısımları Dünya üzerindeki cisimlerde pozitif elektrikleşme oluşturur. Bulutlar ile Dünya arasında veya farklı elektrikleşmiş bulutlar arasında atmosferik boşalma olur yada kıvılcım benzeri gibi ve onu ışık takip eder buna da yıldırım deriz. Ardından gelen ses gürültüyü oluşturur. Eğer boşalma bulut ile Dünya üzerindeki bir cisim arasında yapılırsa o cisme yıldırım (şimşek) çarptı diyoruz.



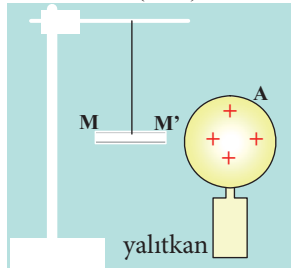
Şekil 5. İndüksiyon makinesini çalıştırmakla onun iki kutubu yüksek gerilim ile elektrikleşir ve onlar arasında kıvılcım çıkabilir (sağdaki fotoğrafta olduğu gibi)

Elektrostatik induksiyon olayını kullanmakla ve sürtünme yardımı ile elektrikleşme ile şiddetli elektrikleşmiş cisimler elde edilir. Bunu elektrostatik induksiyonlu makine dediğimiz sağlar (Şekil 5.)

Elektrostatik kutuplaşma (polarizasyon)

Etki ile elektrikleşme sadece iletkenler için özellikli değildir. Yalıtkanlar da elektrikleşmiş bir cisim etrafında buldukları zaman elektrikleşirler. İlerideki örnek bunu kanıtlayacaktır.

Küçük cam (plastik) parçası asılı MM' çubuğuna bulunur ve yakınında elektrikleşmiş metal topçağızı getirilir (Şekil 6.).

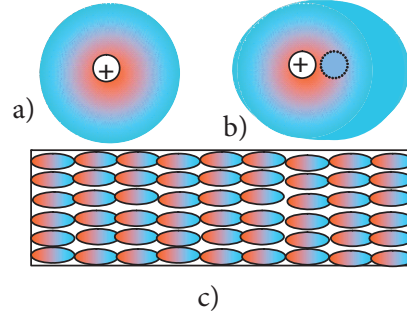


Şekil. 6

Cam parçası elektrikleşmiş topçağızın yönünde konulmuştur. Başlangıçta yalıtkan bir ipliğe iletken parçasının bağlı olduğunu gösterir. Elektrikleşmiş topçağıza yakın olan MM' çubuğun kısmı negatif elektrikleşmiştir, uzak kısmı ise yük bakımından topçağızın A yüküne eşittir. Yalıtkanlarda yoktur yada az sayıda serbes elektrikleşmiş parçacıklar bulunur, demek ki elektronların serbes hareket etmeleri mümkün değildir. Çubuk MM' in davranışını nasıl açıklayalım?

Yalıtkanlarda yüklerin serbes hareketi yerine atomlarında yada moleküllerinde elektrikleşmiş parçacıkların gruplaşmaları oluşur. Çok sayıda yalıtkanlarda elektronik bulutun merkezi (Şekil 7'de mavi renkte dir) atomun pozitif çekirdeği ile çakışır. Elektrikleşmiş cismin etkisi ile elektronlar atomun bir tarafında gruplaşırlar, böylece daha fazla negatif (yada pozitif) diğer tarafından

olur (Şekil 7.). Atom veya molekül kutuplaşır. Bu olaya **elektriksel kutuplaşma (polarizasyon)** denir. Moleküller ve atomlar küçük **temel elektriksel dipolları** oluşurlar (Şekil 7.).



Şekil 7. Tüm atomların veya moleküllerin yüzeyleri elektrikleşmiş cismin yakınında elektrikleşirler. Yüzeysel yükler ve ters taraflarındakiler büyüklük bakımından aynı dırlar ve ters işaretli dirler.

Şimdi elektrikleşmiş cisimler nötral cisimleri neden çektikleri anlaşılmıştır.

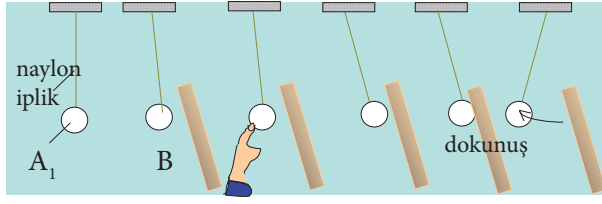
Nötral cisimler etki ile elektrikleşirler. O esnada onlar kutuplaşırlar öyle ki onların zıt yüklü kısımları kaynağa daha yakındırlar, nitekim onların aynı yüklü kısımları. Kulon kanununa göre cisim ile kaynak arasındaki çekme kuvvetleri büyüktür (zıt yükleri arasındaki mesafe küçüktür) itme kuvvetlerine rağmen. Cisim bütün olarak çekilir.

Bazı dielektriklerin moleküllerinde yükler eşit payda dağılmamış dırlar. Onların molekülleri **elektriksel dipol** dırlar.

Büyüklük bakımından aynı fakat iki zıt yüklü küçük mesafede bulunan parçacıklar sistemine elektriksel dipol denir.

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Alınan yün parçası ve ebonit çubuğu yardımı ile verilen metal topçağızı pozitif elektrikleşebilir mi?
2. Şekil 8'deki deney açıklansın.



Şekil 8. B ebonit çubuğuna yün parçası ile sürtünme yapılmıştır. Topçağıza B ebonit çubuğu yaklaştırılınca ne olur, neden bunlar birbirine dokundukları zaman alüminyum topçağıza elektrikleşmiş çubuktan uzaklaşır.

3. Şu deneyi yapınız: kağıtla sarılı olan meşrubat plastik borusu alınız. Kağıtın bir ucunu kopruş ve plastik boruyu kağıttan çıkarın ve çok kez aynı kağıtla sürtünme yapınız. Onu en son kez kağıttan çıkardığınız zaman oda duvarına boruyu yaklaştırın. Devamında olacakları açıklayın. Aynı deneyi şişirilmiş bir balonu odanın kilimine sürtünme yaparak tekrarlayın.

Aşağıdaki temel kavramları açıklayın.

Gerekirse örnek verin

- | | |
|---|--------------------------|
| - elektriksel induksiyon | - kıvılcım |
| - elektriksel dipol | - şimşek |
| - induksiyonla sürekli elektrikleştirme | - yıldırım |
| - atmosferik boşalma | - elektriksel kutuplaşma |
| - temel elektriksel dipol | |

14.4. ELEKTRİK ALANI. ELEKTRİKSEL KUVVET ÇİZGİLERİ

Elektrik alan şiddeti

İlişkide bulunan cisimler arasında elektriksel kuvvetleri oluşur, ilişkide bulunmayan cisimler arasında bile elektriksel kuvvetleri oluşur. Bildiğimiz gibi kütlesi olan cisimler arasında gravitasyon kuvvetleri de etki eder. Bundan dolayı bel-

li kütleli cisimler arasında gravitasyon alanı oluşur. Benzer olarak ortamda her elektrikleşmiş cisim etrafında **elektrik alanı** oluşur. Elektrikleşmiş cisime **elektriksel alanı kaynağı** denir. Şimdilik bu tür alanlar üzerinde duralım.

Deneyler yardımıyla herhangi bir elektrik alanı kaynağı yakınında yükü Q_{pr} olan diğer bir cisim getirildiği zaman ona elektrik alanı kaynağı bir kuvvetle etki ettiği gösterilir. Aynı zamanda etki eden kuvvet konulan cismin nerde bulunduğuna bağlı olduğu da gösterilmektedir. Verilen noktada alanı gösterecek olan fiziksel büyüklüğün alınması için, alanın konulan cisme etki ettiği kuvvet şu ifade ile verilir:

$$\vec{F} = Q_{pr} \vec{E} \quad (1)$$

Denklemden **elektriksel alan** \vec{E} vektörel fiziksel büyüklüktür. Bu büyüklük konulan yardımcı yüke Q_{pr} bağlı değildir. Elektriksel alan şiddeti kaynağın alanına bağlıdır (yükü ne kadar dır ve dağılımı nasıldır) ve bizi ilgilendiren noktanın durumu dur. Farklı noktalarda elektrik alanın şiddeti farklı dır. Eğer denklem (1) şu şekilde yazılırsa:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q_{pr}} \quad (2)$$

bu fiziksel büyüklük için şöyle bir tanım verilir:

Alanın verilen noktadasında pozitif elementar yükün o noktaya getirilmesine etki eden kuvvet ile belirlenen fiziksel büyüklüğe elektrik alan şiddeti denir.

Denklem (2)'de elektrik alan şiddetin ölçü birimi belirlenir. Eğer verilen noktada küresel pozitif 1 C'luk elektriksel yüke 1 N'luk kuvvet etki ederse o noktada şiddeti (1 N/C) olan elektrik alanı mevcuttur.

Diyebiliriz ki SI sisteminde elektrik alanın şiddetinin ölçü birimi **metrede volt** (V/m) dur.

İki küresel yükün birbirine etki etmeleri Kulon kanunu ile belirlenir. Birinci Q_1 topcağının yükü Q olsun, ikinci Q_2 topcağının yükü Q_{pr} olsun, buna göre Kulon kanunu şöyle yazılır:

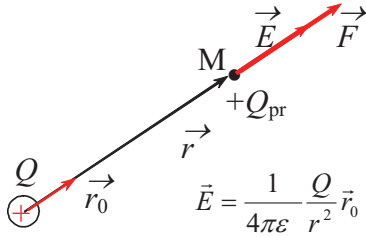
$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{QQ_{pr}}{r^2} \vec{r}_0$$

Küresel yükün elektriksel alan şiddeti elde edilir

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q_{pr}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \vec{r}_0 \quad (3)$$

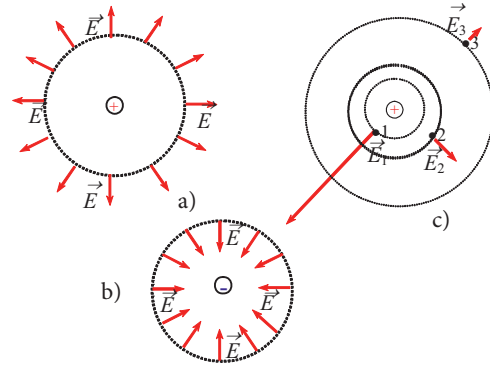
Şekil 1'de denklem (3)'te kullanılan simgeler elektrik alanı için M noktasında verilmiştir.

Aynı uzaklıkta bulunan tüm noktalar için elektrik alan şiddetinin değeri aynıdır ve kuvvet gibi radyan olarak yönlüdür, buna göre **radyan alanı** oluşturur.



Şekil 1. Pozitif küresel yükün elektriksel alanı \vec{E} herhangi bir M noktasında radius vektörü \vec{r} gibi ve kuvvet \vec{F} yönlüdür.

Alan kaynağının yönü alan şiddetinin yönüdür, eğer kaynak pozitif ise dışarıya doğrudur ve eğer kaynak negatif ise içeriye doğrudur (Şekil 2a ve 2b).



Şekil 2. a) Küresel pozitif yükün elektriksel alanı aynı uzaklıklarda; b) Küresel negatif yükün elektriksel alanı aynı uzaklıklarda; c) Küresel pozitif yükün elektriksel alanı farklı uzaklıklarda.

Denklem (3) ve Şekil 2c'den görüldüğü gibi küresel yükün elektrik alan şiddeti uzaklığın karesi ile azalır. Alan homojen değildir. Düzgün elektrikleşmiş küre etrafında oluşan alan küresel cisim etrafında oluşan alan gibidir.

Süperpozisyon prensibi. Bileşik alan

Sık olaylarda alan sadece bir küresel cisimden oluşmaz fakat çok sayıda cisimden oluşur (örneğin n cisimden). Öyle olayda **bileşik elektrik alanı**, verilen noktada tüm yüklerin elektrik alan şiddetleridir $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \dots, \vec{E}_n$, alan bileşkesi onların tüm vektörel toplamından elde edilir:

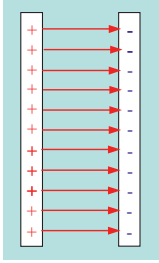
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i \quad (4)$$

($\sum_{i=1}^n \vec{E}_i$ işareti sigma dır ve toplamı oluşturur)

Bu tür alanların toplamına **süperpozisyon prensibi** denir. Bu prensip deneysel olarak kanıtlanmıştır.

Elektriksel alanı en sık olayda elektrikleşmiş cisim etrafında oluşur, farklı biçimde olabilir.

Cismin yükü çok sayıda küresel cisimlerin toplamından ibarettir ve denklem (4) kullanılır. Böyle alan birleşiktir ve bunun toplanması sadece belli olaylarda mümkündür, daha doğrusu düzgün geometrik şekilleri için söz konusu olduğu zaman.



Şekil 3.

Homojen elektrik alanı

Deneyler ve teoriye göre büyük yük (teorik sonsuz) bir düzlemin yakınında, düzgün elektrikleşmiş **homojen alan** oluşur. Bu alanın büyüklüğü, yönü ve doğrultusu her noktasında değişmeyen dir. Bu alanın büyüklüğü **yükün yüzeysel yoğunluğuna** bağlıdır (σ), yük Q ve verilen düzlemin yüzeyi S oranı ile belirlenir:

$$\sigma = \frac{Q}{S} \quad (5)$$

Çok büyük alanın etrafında oluşan düzgün elektriksel alanı homojen dir, alandan normal şekilde yönlüdür ve şiddet olarak şöyle belirlenir:

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = \frac{Q}{2\epsilon_0 S} \quad (6)$$

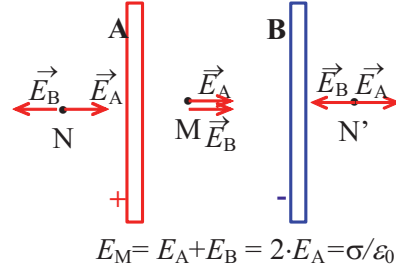
Alan vektörü \vec{E} alandan normal dir, eğer pozitif ise dışa doğru yönlüdür ve negatif ise kendisine doğru yönlüdür.

Aynı yüzeysel yoğunluklu zıt yüklerle yüklenen iki düzlem (Şekil 3), homojen elektrik alanı oluşturular ve iki kez daha büyüktür, Şekil 4'te açık gösterilmiştir.

Düzgün elektrikleşen iki düzlem arasındaki elektrik alanın şiddeti şu denklem ile verilir

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q}{\epsilon_0 S} \quad (7)$$

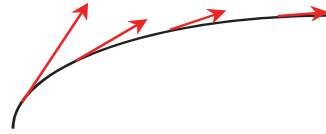
denklemde Q yükü oluşturur, S plakın yüzeyi dir ve ϵ_0 ise vakumda dielektrik sabitesi dir.



Şekil 4. Zıt yönlü elektrikleşen plaklar arasında alanlar toplanır, plakların sağ ve sol taraflarında ise N ve N' noktalarında ise alanlar sıfır dır.

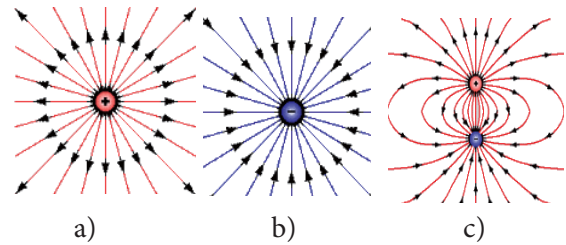
Elektriksel kuvvet çizgileri

Elektrik alanını vektör gibi Şekil 2 v 3'te gösterdik. Elektrik alanı daha açık bir şekilde **elektrik kuvvet çizgileri** (Şekil 5) yardımı ile gösterilir.



Şekil 5.

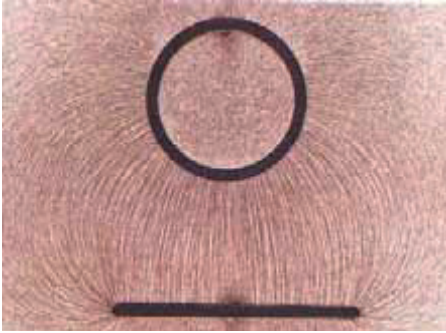
Elektrik kuvvet çizgileri düşünülmüş çizgiler dir, herhangi bir noktanın tangensi elektrik alan şiddetinin yönü ve doğrultusu ile çakışır, onda yardımcı elektriksel yükü hareket edebilir.



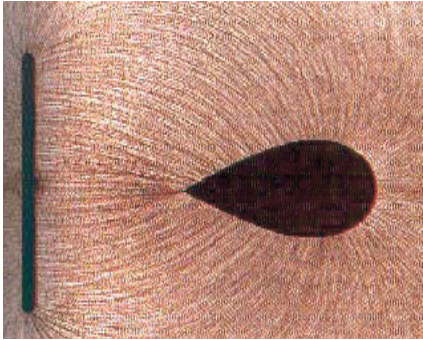
Şekil 6. a) Küresel pozitif yükün elektriksel kuvvet çizgileri; b) Küresel negatif yükün elektriksel kuvvet çizgileri; c) Zıt yüklü iki cismin elektriksel kuvvet çizgileri. Tüm çizgiler çizilen düzlem üzerinde dirler.

Şekil 6'da bazı alanların kuvvet çizgileri verilmiştir. Bu şekilden görüldüğüne göre elektriksel kuvvet çizgileri pozitif yüklerden başlayarak negatif yüklerde biterler. Elektriksel kuvvet çizgileri daha yoğun olan yerlerde alan daha şiddetlidir. Homojen alanda (Şekil 3) elektriksel kuvvet çizgileri doğrular durlar, eşit yoğunurlar.

Alanın her noktasında, nerdeki $E \neq 0$ alan sıfırdan farklıdır kuvvet çizgilerinin çizilmesi mümkün değildir, sadece öyle çizilir yani alanın daha şiddetli olduğu yerde kuvvet çizgileri daha yoğundur. Bir birimlik düzlemin yüzeyinden normal geçen kuvvet çizgileri \vec{E} vektörün büyüklüğü ile doğru orantılıdır.



Farklı yüklü elektrikleşen yüzük ve düzlem
Yüzüğün iç kısmında kuvvet çizgileri yoktur



Farklı yüklü elektrikleşen plak ve sivrimsi cisim.
Sivrimsi cismin yakınında kuvvet çizgileri en yoğunurlar.

Şekil 7.

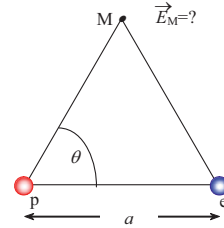
Küçük cisimleri yağda koymakla farklı alanların elektriksel kuvvet çizgileri resimleri yapılabilir. Şekil 7'de buna benzer elde edilen elektriksel kuvvet çizgilerin fotoğrafları dırlar.

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Küre şeklinde cismin alanında herhangi bir R noktasında yardımcı yük getirilir: $Q_{pr} = +3 \text{ C}$; $Q_{pr} = -1 \text{ C}$; $Q_{pr} = +10 \text{ C}$. Elektrik alanın şiddeti R noktasında değişecek midir? Eğer cevap pozitifse, nasıl ve neden?
2. Kaynaktan belli uzaklıkta bulunan küresel yükün elektriksel alan şiddeti bellidir. Kaynaktan iki kat uzaklıkta bulunan noktada alan nasıldır?
3. Elektriksel kuvvet çizgilerin kesişmeleri mümkün müdür?

4. ÖRNEK ÖDEV

Proton ve elektron kenarları $a=3 \cdot 10^{-6}$ olan eşkenar üçgenin iki kenarında bulunurlar. Üçüncü kenarında alanın büyüklüğü nekadardır?



Şekil 8.

Çözüm:

Verilen:

$$Q_1 = 1,6 \cdot 10^7 \text{ C}$$

$$Q_2 = -1,6 \cdot 10^7 \text{ C}$$

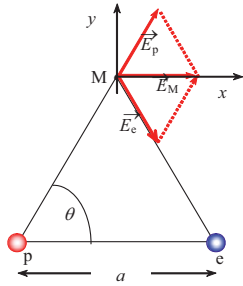
$$a = 3 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

Aranılan:

$$E_M = ?$$

M noktasında +1 C getirilmesini düşünelim ve koordinat sistemin başlangıcı orada olsun.

Alanın bileşkesi proton ve elektronun alanlarının vektörel toplamından oluşur (Şekil 9.).



Şekil 9.

Şekilden görüldüğü gibi alan bileşkesinin sadece x-bileşeni $E = 2E_p \cos \Theta$ vardır, çünkü $\theta = 60^\circ$ ve $\cos \theta = 1/2$ dir. $\cos \theta = 1/2$ denklemde e elementar elektrik yükü oluşturur, değerlerin değiştirilmesi ile $E_M = 1,6 \cdot 10^2$ elde edilir.

5. “Elektromıknatis Alanı” bilgisayar programı yardımı ile “EM Field” ingilizceden çeviri, D. Trowbridge, Microsoft Corporation and Bruce Sherwood, CIL and Dept. Of Physics, Carnegie Mellon University, 1998 yayınlanmış eser. Kuvvet çizgilerini araştırın: a) aynı yüklerin; b) iki zıt yükün; 3) eşit kenarlı üçgenin köşelerinde konulan üç aynı yük. Yükler birbirlerine yakın olarak sıralansın böylece düzlem oluşturulur. Düzlemde kuvvet çizgileri çizilsin.

Kullanılacak program hakkında *Institutot za fizika, PMF, Skopje, 2001* tarafından geliştirilen rehber kullanılsın.

Aşağıdaki kavramların anlamları verilsin.

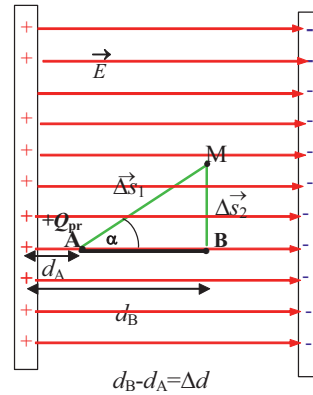
Gerekirse örnek verilsin

- elektrik alanı
- elektrik alan kaynağı
- elektrik alan şiddeti
- homojen alan
- radyan alan
- süperpozisyon prensibi
- bileşik alan
- elektriksel kuvvet çizgileri
- küresel yük alan şiddeti

14. 5. ELEKTRİK ALANINDA İŞ VE ENERJİ

Homojen elektrik alanında hareket eden yükün işi

Elektrostatik alanında her elektrikleşmiş cisim elektrostatik kuvveti etkisinden hareket eder, demek iş yapar. Bu iş kime bağlı olduğunu görmek için yükün homojen elektrostatik alanında bulunduğunu farz edelim (Şekil 1). A ve B noktaları izlensin ve bunların durumları pozitif elektroda göre d_A ve d_B mesafeleri ile belirlenmiştir.



Şekil 1. Yardımcı yük AB doğrusu üzerinde hareket ederse iş yapar, AM ve MB doğruları üzerinde de aynı

Alanda kuvvet F yardımcı yükü $+Q_{pr}$ doğru üzerinde A noktasından B noktasına götürmekle $AB = \Delta d$ iş yapmaktadır ve şu denklemle verilir:

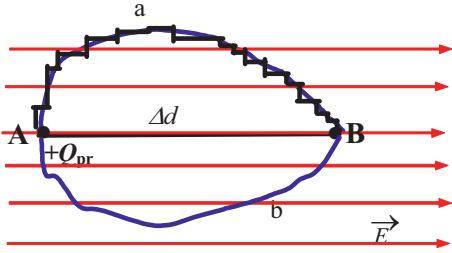
$$A = F \Delta s = Q_{pr} E \Delta d = Q_{pr} E (d_B - d_A) \quad (1)$$

yerdeğişimi kuvvetin doğrultusu ve yönü üzerinde yapılır.

Eğer yükün yerdeğişimi A-M ve M-B doğruları üzerinde yapılırsa, yapılan iş şöyle verilir:

$$\begin{aligned} A &= A_1 + A_2 = Q_{pr} E \Delta s_1 \cos \alpha + Q_{pr} E \Delta s_2 \cos 90^\circ = \\ &= Q_{pr} E d \end{aligned} \quad (2)$$

çünkü $\Delta s_1 \cos \alpha = \Delta d$ dir. Görüldüğü gibi A-M-B yol çizgisi üzerinde yapılan iş dolaysız yerdeğişimin işine eşittir. Alanda elektrostatik kuvveti bu işi yapar ve pozitif tir. Eğer yardımcı yük $+Q_{pr}$ ters yönde yerdeğişimi yaparsa, yapılan iş dıştan yapıldığı için negatif tir.



Şekil 2.

Şekil 2. A-a-B eğri çizgisi üzere yapılan iş dolaysız yerdeğişimde yapılan işe eşit olduğunu açıklamaktadır. Bu amaç için, A-a-B eğrisi üzere yükün yaptığı yerdeğişimini merdiven şekline göre eğriyi değiştirelim. Yer değişimi \vec{E} vektörüne normal yapılırsa o durumda iş yapılmaz. \vec{E} vektörüne paralel durumlarda iş yapılır, tüm yapılan işler toplandığı zaman bileşke denklem (2) ile belirlenir. Buna göre şu karara varılır:

Elektrostatik alanda yapılan iş yerdeğişimin yol çizgisine bağlı değildir, yükün başlangıç ve son durumuna bağlıdır. Eğer işi alan kuvvetleri yaptırırsa, pozitif tir, eğer ki işi dış kuvvetler yaptırırsa ve kuvvetler yönüne ters gelirse negatif tir.

Yardımcı yük kapalı bir yol çizgisi A-a-B-b-A üzere yerdeğişimi yaparsa, yapılan toplam iş sıfır dır. Elektrostatik alanında kapalı eğri üzere yapılan iş sıfırdır.

Bu elektrostatik alanın önemli özelliklerinden biridir. Böyle özellik gravitasyon alanında da rastlanır. Alan **potansiyel** dir, böyle alanlarda etki eden kuvvetler ise **tutucu (muhafazakâr)** durlar.

Böyle bir karar homojen olmayan alanlar için de geçerlidir, örneğin küresel yükün radyan alanı.

Tekrar şekil 1'e dönelim. Yardımcı yük $+Q_{pr}$ alanda hareket ederken iş yapar. Düşünün, iş yapan bir cismin potansiyel enerjisi değişir mi? Hatırlayın, yerçekimi kuvvetinden ötürü bir cismin yükseklikten düşmesi esnasında onun potansiyel enerjisi ne olur. Cisim düşerken onun kinetik enerjisi çoğalır, fakat onun potansiyel enerjisi azalır. Öncekini gözününe bulundurarak A ve B noktalarında yük için kararınız nedir?

Cevap her alanın tutucu (muhafazakâr) kuvvetlerinin özelliğine uygundur:

eğer alan muhafazakâr ise bir de yapılan iş cismin yol yörüngesinin şekline bağlı değilse, o zaman cismin potansiyel enerji değişimine eşittir ve ters işaretli alınır. (Bunun hakkında geniş olarak mekanikte okudunuz).

Bu karara rahmen denklem (1) şöyle yazılır:

$$\begin{aligned} A &= -Q_{pr}E(d_B - d_A) = Q_{pr}E(d_A - d_B) = \\ &= -(W_{pB} - W_{pA}) = -\Delta W_p \end{aligned} \quad (3)$$

Denklemde W_{pA} ve W_{pB} potansiyel enerjileri A ve B noktalarında işret der. Yardımcı yükün $+Q_{pr}$ potansiyel enerjisi homojen elektrik alanında şu denklemle verilir:

$$W_p = Q_{pr}Ed \quad (4)$$

denklemde d mesafeyi ifade eder sol elektrodan başlayarak.

Eğer alan pozitif iş yaparsa, potansiyel enerjisi azalır $\Delta W_{pA} < 0$. Aynı anda enerji korunum kanununa göre kinetik enerjisi çoğalır.

Bunun tersi de, pozitif elektrikleşen cisim alana \vec{E} ters hareket ettirirsek, negatif iş yapar ve onun potansiyel enerjisi çoğalır. Kapalı çizgili harekette, cisim enerjisini değiştirmeyiz, denklem (3)'e göre, yapılan iş sifira eşittir.

Veya, genişletelim:

Yük durum 1'den durum 2'ye hareket ettiği zaman yaptığı iş, herhangi bir elektrostatik alanda yol yörüngesine bağlı değildir.

Elektrik potansiyeli. Gerilim

Verilen alanda elektrikleşmiş cismin potansiyel enerjisi onun yüküne bağlıdır. Fakat, cismin potansiyel enerjisi ve verilen noktadaki yardımcı yük oranı ile belirlenen büyüklük bulunduğu noktanın durumuna ve alanın kaynağına bağlı olacaktır. Bu büyüklüğe **elektrik potansiyeli** ϕ denir.

$$\phi = \frac{W_p}{Q_{pr}} \quad (5)$$

Bu denklemden elektrik potansiyel büyüklüğüne şöyle fiziki anlam verebiliriz. *Alanın verilen noktasında elektrik potansiyeli bir birimlik yük o noktada sağıp olduğu potansiyel enerjisi ile belirlenir.*

Potansiyel de potansiyel enerjisi gibi sifir referans durumu seçimine bağlıdır. Pratiksel anlamı potansiyelin değil fakat potansiyeli hesaplamak için potansiyel değişimin pratiksel anlamı vardır. Denklem (3) ve (5) rahmen, yapılan iş şöyle yazılabilir:

$$A = -Q_{pr}(\phi_2 - \phi_1) = -Q_{pr}\Delta\phi \quad (6)$$

Fizikte sık kullanılan büyüklük **elektriksel gerilim** U dir ve iki nokta arasındaki potansiyel farkı ile tanımlanır.

$$U = \phi_1 - \phi_2 = -\Delta\phi \quad (7)$$

Önceki iki denklemi gözünüzde bulundurarak, gerilim şöyle elde edilir:

$$U = \phi_1 - \phi_2 = \frac{A}{Q_{pr}} \quad (8)$$

Verilen elektrostatik alanda iki nokta arasındaki elektrik gerilimi bir birimlik pozitif yükün başlangıç ve bitiş noktaları arasında hareket ettiren elektriksel kuvvetler iş ölçüsünü oluşturur.

SI sisteme göre potansiyelin ve gerilimin ölçü birimleri **volt** [V] dur. *Bir birimlik pozitif yükü (+1 C) bir noktadan diğer bir noktaya yerdeğişimi esnasında 1 Jül [J] iş yapmıştır, o noktalar arasında bir volt gerilim var.*

Sadece gerilim, daha doğrusu noktalar arası potansiyelin fiziki anlamı vardır çünkü iş tamamen belirlenir eğer ki yüklü parçacık yerdeğişiminin başlangıç ve bitiş noktaları bilindiği zaman. Gerilim için söz konusu olduğu zaman iki nokta arası var olan gerilim düşünülür. Sık olarak yeryüzünün potansiyeli sifir olarak alınır.

Küresel yükü alanının potansiyeli

Küresel yükü Q potansiyel denklemin elde edilmesi bileşiktir, bundan dolayı bu denklem hazır olarak yazılacaktır:

$$\phi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r} \quad (9)$$

Bu denklemden kaynak ve verilen noktanın potansiyeli arasındaki mesafe r dir. Görüldüğü gibi potansiyel bir de elektrik alanın şiddeti aynı yarıçaplı kürelerde yatan tüm noktalarda aynıdır.

Pozitif yükü alanının potansiyeli ($Q>0, \varphi>0$) pozitif tir, ve tersi ($Q<0, \varphi<0$).

Denklem (8) dikkat edilirse ve $\varphi_2=0$ alınırsa o zaman φ_1 için şöyle elde edilir:

$$\varphi_1 = \frac{A}{Q_{pr}} \quad (10)$$

buna göre: *küresel yükü elektrik alanın potansiyeli herhangi bir noktada pozitif yükün sonsuza götürülmesi için yapılan işe eşittir.*

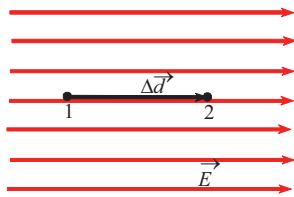
Eğer alan çok sayıda pozitif yükten (1, 2, 3, ..., n) oluştuğu zaman, o alanın herhangi bir noktasında potansiyel şu denklemle elde edilir:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n = \sum_1^n \varphi_i \quad (11)$$

Alanların süperpozisyon prensipi ile uygundur. Burada aritmetik cebirsel toplamı için söz konusu olur çünkü potansiyel pozitif ve negatif olabilir.

Elektrik alan şiddeti ile potansiyel arasındaki bağ

Elektrik alan şiddeti ile potansiyel elektostatik alanını tanımlayan fiziksel büyüklük dürler. Elektrik alan şiddeti vektörsel özellik dir, elektriksel potansiyel ise enerjetik özellik dir. Bundan dolayı bu iki büyüklük birbirine bağlıdır. Bunun enbasitini homojen alanda rastlarız (Şekil 3).



Şekil 3

Herhangi bir yük Q elektrik alanı \vec{E} yönünde nokta 1'den nokta 2'ye hareket etsin. Elektrik alan kuvvetlerinin yaptıkları iş şöyle verilir:

$$A = QE\Delta d \quad (12)$$

nerde ki Δd yerdeğişim esnasında yükün yaptığı mesafe dir. Denklem (8)'e göre yapılan iş:

$$A = Q(\varphi_1 - \varphi_2) = QU \quad (13)$$

bu iki denklemin sol tarafları aynı olduğu için, şu elde edilir:

$$QE\Delta d = QU \quad ; \quad E\Delta d = U \quad ; \quad E = \frac{U}{\Delta d} \quad (14)$$

Bu denklemde gerilim U potansiyel farkını 1 ve 2 noktaları arasında oluşturur, Δd yerdeğişimi mesafesi dir ve doğrultu ve yön olarak elektrik alanı \vec{E} çakışır. Elektrik alanın \vec{E} modülü pozitif dir, buna göre $\varphi_1 > \varphi_2$. *Alanın şiddeti her zaman potansiyelin azalması yönünde dir.*

Denklem (15) görüldüğü gibi Uluslararası ölçümler ve birimler sistemi elektrik alanın şiddeti için ölçü birimi **metrede volt** almıştır.

Homojen olmayan alan elektrik alanın şiddeti değişmeyecek küçük bölgelere ayrılabilir ve homojen olması denilebilir. Eğer böyle alınırsa denklem (15) genel olarak alınır, eğer Δd yerdeğişim mesafesi o kadar küçük olursa ki burada alan şiddetinin değişimleri gözününe alınmaz.

Eşit potansiyelli (ekvipotansiyel) yüzeyler

Elektrik alanı kuvvet çizgilerine normal hareket ederse elektriksel yükü Q o zaman iş yapmaz (Şekil 1). Demek alanda kuvvet çizgilerine normal durumda düzlem konulursa ve onda yerdeğişimi yapan yük iş yapmayacaktır. O düzlemin tüm noktalarında eşit potansiyel vardır.

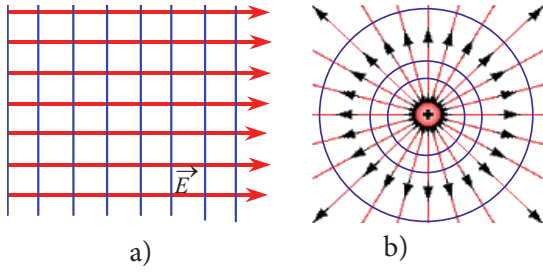
Geometrik cismin eşit potansiyelli tüm noktalarına **eşit potansiyelli (ekvipotansiyel) yüzey** denir.

Homojen alanda ekvipotansiyel yüzeyler düzlemler dirler, küresel yükü olayı içinse onlar yoğun küreleri oluştururlar ve merkezlerinde yük bulunur.

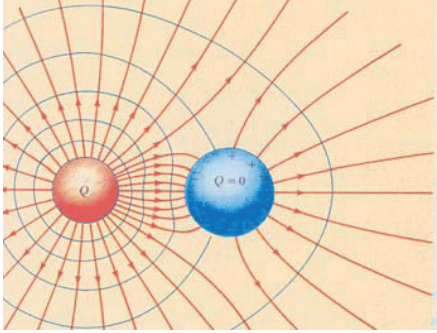
14. Elektrik alanı

Küresel iletkenden oluşan alan, onun dışında bulunan noktalar küresel yükün etrafında oluşan alan gibi aynıdır (Şekil 5.).

Elektriksel kuvvet çizgileri gibi, ekvipotansiyel düzlemler ortamda alanı kaliteli şekilde ifade ederler. Şekil 5'ten görüldüğü gibi elektriksel kuvvet çizgileri her zaman ekvipotansiyel düzlemlere normaldir. Bu herhangi bir kaynağın alanı için geçerlidir.



Şekil 5. Ekvipotansiyel çizgiler mavi renkle işaret edilmiştir; a) homojen alan için; b) küresel yükün alanı veya elektrikleşen top.

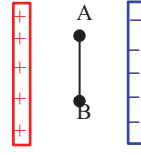


Şekil 6.

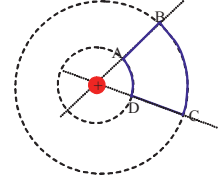
Şekil 6'de elektrikleşmiş topun etrafında oluşan alan onun yanında neutral bir top getirilmiştir ve elektriksel induksiyonla elektrikleşir

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Eğer +1 C'lik elektrik yükü AB doğru üzerinde hareket ederse yapılan iş nekadardır? (Şekil 7.)



Şekil 7.



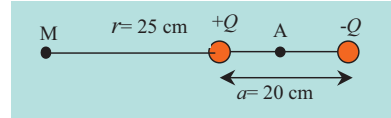
Şekil 8.

2. Pozitif elektrik yükü ABCD çevresi etrafında hareket eder? (Şekil 8.) Çevrenin hangi kısımlarında yükün iş pozitifdir? Hangi kısımlarında ise negatifdir? Hangi kısımlarında ise sıfırdır? Yükün potansiyel enerjisi nasıl değişmiştir?

Örnek ödevler

3. İki farklı yüklü küresel yükler $Q=10^{-6}$ C biri diğerinden belli uzaklıkta bulunur. Pozitif yükten $r=40$ cm uzaklıkta bulunan noktada elektriksel potansiyeli bulunsun. O noktada potansiyel nekadardır, birde her iki yüklerin ortasına bulunan noktada potansiyel nekadardır?

Çözüm



Şekil 9.

M noktasında potansiyel $+Q$ ve $-Q$ kaynaklardan elde edilen tüm potansiyellerin toplamına eşittir (Şekil 9.):

Küresel yükün potansiyeli:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r} \text{ buna göre } \varphi_1 = k \frac{Q}{r_1} \text{ ve } \varphi_2 = k \frac{-Q}{r_2} \text{ ve}$$

$$\varphi = kQ \left[\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right] = 9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-6} \left[\frac{1}{25} - \frac{1}{45} \right] = 160 \text{ V}$$

A noktasında potansiyel sıfırdır.

4. Metal kürenin yarıçapı $a=0,2$ m olan $3 \cdot 10^5$ V potansiyelle elektrikleşmiştir. Kürenin yükü hesaplınsın, onun yüzeyindeki elektrik alan şiddeti bulunsun, birde onun yüzeyinden $d=9,8$ m uzaklıktaki noktada elektrik alan şiddeti bulunsun.

Çözüm:

Elektrikleşmiş kürenin potansiyeli onun merkezinde bulunabilen noktasal yükün potansiyeline eşittir. Aynı onun elektrik alan şiddeti için geçerlidir. Buna göre:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r}, E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}, k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9$$

yük ise şöyle elde edilir: $Q = 4\pi\epsilon_0 r\varphi = 6,6 \cdot 10^{-6} \text{C}$.

Kürenin yüzeyinde alan ve potansiyel bazı değerlerin değiştirilmesi ile şöyle elde edilir:

$E=1,5 \cdot 10^6 \text{ V/m}$, doğa uzak bir noktada ise $r=a+d=10 \text{ m}$ mesafesi gözününde bulundurulursa elektrik alanı ve potansiyeli o nokta için: $E_1=594 \text{ V/m}$, $\varphi_1=5940 \text{ V}$.

5. Önceki ders için kullanılan programa göre her araştırılan olay için elektrik alanın ekvipotansiyel çizgileri çizilsin.

Ekvipotansiyel alanların izdüşümleri olan çizgiler ve kuvvet çizgileri arasındaki açı nekadardır?

Aşağıdaki temel kavramların anlamları verilsin. Gerekli yerde örnekler verilsin

- | | |
|---------------------------------|--------------------------|
| - elektrostatik alanda iş | - elektriksel potansiyel |
| - pozitif iş | - elektriksel gerilim |
| - negatif iş | - potansiyel farkı |
| - potansiyel alanı | - Volt |
| - muhafazakâr kuvvetler | - ekvipotansiyel alan |
| - elektrostatik alanında enerji | - metrede Volt |

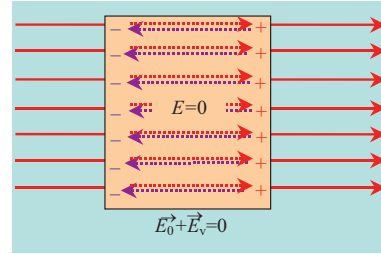
4.4. ELEKTROSTATİK ALANINDA İLETKENLER VE YALITKANLAR

Elektrostatik alanı vakum ortamından mada maddesel ortamlarda da mevcut olabilir.

İletkenlerde bulunan parçacıklar serbes dolaşabilirler. Metallerde bunları serbes elektronlar oluşturur. Daha önceden basettiğimiz gibi elektronlar dış alanın etkisinden yüklerin ayrılması sağlanır, bu olaya elektrostatik induksiyon (influenens) denirdi. Şimdi ise iletkenin iç kısmındaki alana ne olduğu bizi ilgilendirir?

Elektrikleşme ili ilgili tüm deneylerde yükler kısa mesafeli hareketlerden sonra hareketlerini kestirirler, **denge şartlarında** bulduklarını diyebiliriz.

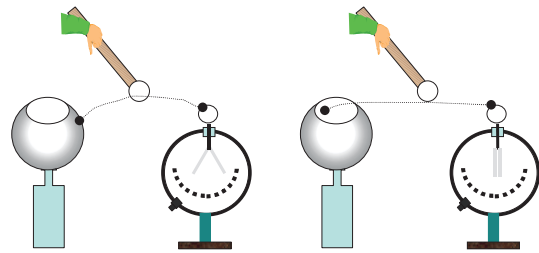
İç kısmında oluşan alan \vec{E}_v dış kısmındaki bulunan alana \vec{E}_0 eşit olduğu zaman denge oluşur ve iç kısmındaki alanlar toplamı sifira eşit olur daha doğrusu bu alanların birbirine ters gelen modülleri eşit olduğu zaman:



Şekil 1.

$$E_0 - E_v = 0 \quad ; \quad E_0 = E_v \quad E = 0. \quad (1)$$

Yüklerin denge şartları altında iletkenin iç kısmında elektrik alanı sifira eşittir.



Şekil 2. Topun iç kısmında dokunulması esnasında elektrometre yapracıklarının bir tarafa kayması yapılmaz

Bu belirti elektrikleşmiş herhangi bir cisim için geçerlidir (Şekil 2.). Bunun doğru olduğunu öğrenmemiz için şöyle bir deney yapabiliriz:

- bir parçası kesik olan içi boş bir top elektrikleştirilsin. Bunun elektrikleştirilmiş olması dış kısmına elektrometre ile dokunularak yapılır. Elektrometre tekrar nötralleştirilir ve sonra to-

pun iç kısmı dokunulur, ve elektrometrenin yapracıkları açılıp açılmaması takip edilir.

Kararlaştıralım, içi boş olan bit topun iç kısmında yükler yoktur, elektrik alanı da yoktur. Aynı yüklü cisimler biri birlerini iterler, bundan dolayı bunlar cisimler alanlarının sadece dış kısımlarında bulunurlar.

İletkenin iç kısmında elektrik alanın olmaması ile ilgili diğer bir karar varılır. Hatırlayalım elektrik alan şiddeti E , noktalar arası yerdeğişimi Δd ve gerilim U aralarındaki bağlantı için şöyle demiştik:

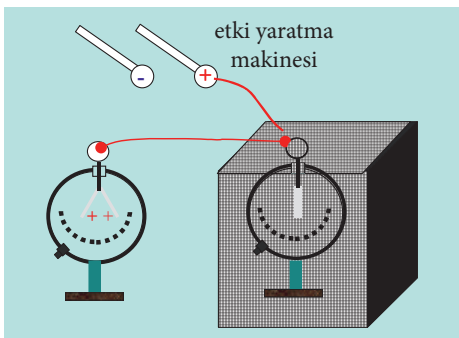
$$E = \frac{U}{\Delta d} \quad (2)$$

Denklem (1)'e göre alan sıfır dır, yükler denge şartlarında buldukları zaman, o zaman noktalar arası potansiyel farkını oluşturan gerilim de sıfır dır. Buna göre **iletkenin alanı ekvipotansiyel alanı oluşturur.**

Elektriksel kuvvet çizgileri ekvipotansiyel alanlara normal oldukları için o zaman **elektriksel kuvvet çizgileri iletkenin alanına her zaman normal dırlar.**

Konu ile ilgili resimler analiz edilsin ve kendiniz tarafından yapılan bilgisayar sunuları kanıt olarak verilsin!

Elektrostatik koruma Faradey kafesine dayanır (Şekil 3.)



Şekil 3.

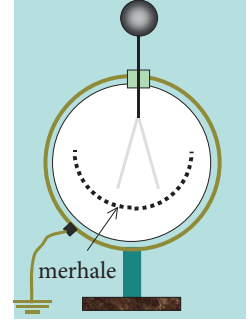
Şekilde iki aynı elektroskop verilmiştir, onlardan sağdakisi kafes içinde bulunur ve kafata kısmı ile kafezi dokunur. Kafes bir kısmı ile induksiyon makinesine ve soldaki elektroskop ile bağlıdır. İndüksiyon makinesi çalışınca dıştaki elektroskopun yapracıkları açılır. İç kısmındaki elektroskopun yapracıkları ise açılmazlar hata yüksek gerilim (makinenin kutupları arasında kıvılcım çıkınca) esnasında bile aynı kalırlar.

Çok sayıda araçların dış elektrostatik alanından korunmaları için iletken "kafeslerde" konulurlar ve topraklanmış bulunurlar.

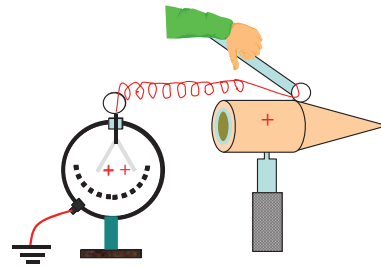
Son dönemlerde evlerin ve diğer yapıların atmosferik boşalmadan korunmak için benzer yöntem kullanılır.

Gerilimin ölçülmesi

İki cisim arasındaki gerilimin ölçülmesi için elektrometreyi kullanırız (Konu 14.1'e bakınız). İlk önce birinci cisim elektrometrenin kafta kısmı ile bağlanır ikinci cisim ise elektrometrenin gövdesi ile bağlanır. Herhangi bir cismin potansiyelini top-rağa kıyasen ölçmemiz için, elektrometrenin gövdesi topraklanır (Şekil 4.).



Şekil 4.



Şekil 5.

İletkenin yüzeyi her zaman aynı potansiyele sahiptir. Bunu şu deneyle kanıtlayabiliriz : Yalıtılmış cisim konosilindir şeklinde içi boş ve

elektrikleşmiş durumda bulunur. Elektrometrenin kafa kısmına bağlı bulunan iletken konosilindirin dış yüzeyine dokunulur Şekil 5'te olduğu gibi. Konosilindirin hangi kısmı dokunulursa dış kısmı gövdesinden sivri ucuna kadar bir de boşlukta iç kısmı dokunulur ve her zaman elektrometrenin yapracıkları aynı yüksekliğe saparlar. Bu deneyden nasıl bir karar varabilirsiniz?

Bu deney yardımı ile toprağa kıyasen cisimlerde gerilim sabit olduğu gösterilir.

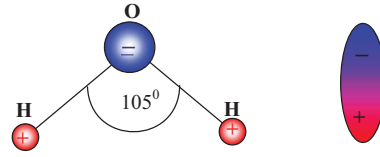
Aynı zamanda her iletkenin dış yüzeyi ekvipotansiyel alanı oluşturduğu gösterilir.

Bu demek değildir ki, yüzeyin herbir tarafında yükler eşit seviyede dağılı bulunurlar. Gösterdiğimiz gibi içi boş bir kürenin iç kısmında yükler yoktur. Bu en son deney yardımı ile en büyük yüzeyel yoğunluk konosilindirin sivri ucu yakınlığında bulunduğu gösterilir.

Cisimlerin sivri kısımlarında yüklerin en yoğun olduklarına göre burada alanın en şiddetli olmasına bir neden dir. Bunu 1771 yılında Benjamin Franklin farketmiştir ve elektrikleşmiş bir cismin yanında sivri ucu olan cisim getirilir ve aralarında kıvılcım aniden oluşmuştur. Bu olaydan sonra ilk olarak **yıldırımsavar** tasarlanır ve bunun yardımı ile yıldırım yükü zararsız toprağa taşınır. Yükseklikte konulan sivri ucu metali oluşturur ve iletken tel yardımı ile çaplanmış toprağın belli değerliğine kadar uzanır. Buna göre yıldırım yükü toprağın bu derinliğe kadar taşınır.

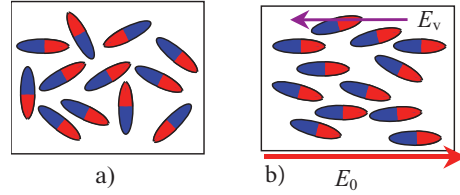
Elektrostatik alanda dielektrikler

“Etki ile elektrikleşme” konusunda elektrostatik alanında dielektriklerin de elektrikleşmeleri için söz etmiştik. Bu olaya **dielektriklerin polarizasyonu** denir. Bu olay dielektriklerde oluşur çünkü öyle süpstanların molekülleri dipol haline geçer ve dış alan kuvvet çizgilerin doğrultusunda uzandıkları açıklandı. Böyle **induktans polarizasyonu** alanın dışında kalan neutral dielektrik moleküllerinde oluşur.



Şekil 6. Su molekülünün simetrik olmayan bir yapısı vardır (a), bundan dolayı dipol gibi davranır.

Dielektriklerin polarizasyon mekanizması, onların molekülleri dipoller oldukları için, farklıdır. Suyun molekülü (Şekil 7.) dipol dur. Bu dielektriklerde dipol moleküllerin orientasyonu yapılır, öyle ki onların pozitif kısmı alan yönünde, negatif kısmı ise ters yönde bulunur.



Şekil 7.

Molekülleri dipoller olan süpstanlar elektrik alanın dışında yönsüz bir şekilde dirlir (Şekil 7.), elektrik alanında buldukları zaman yönlendirilirler ve bundan dolayı dielektriğin polarizasyonu yapılır.

Bu **yönlendirilmiş polarizasyon** süpstanın iç kısmında iç elektrik alanı oluşturur ve dış elektrik alanına ters yönü vardır, bundan dolayı dış elektrik alanı zayıflar.

Dielektrik dış alanda bulunduğu zaman induksiyon, yönlendirilmiş polarizasyon ve dielektriğin iç alanı ifadelerin oluşması açıktır. Böylece dielektrik alanın büyüklüğü E şöyle verilir:

$$E = E_0 - E_v \neq 0 \quad (3)$$

Dielektriğin iç kısmında bulunan alanın büyüklüğü vakumdaki mevcut olan alandan her zaman küçüktür.

Relativ dielektrik sabitesi

Vakumdaki alan büyüklüğü ve verilen dielektrik ortamın elektrik alanının büyüklüğü oranına **relativ dielektrik sabitesi** (ϵ_r) denir ve şöyle verilir:

$$\epsilon_r = \frac{E_0}{E} \quad (4)$$

Bu sayı değeri birden büyüktür ve boyutu yoktur. Normal şartlarda hava için $\epsilon_r=1.0006$, görüldüğü gibi bire akın bir sayıdır. Bundan dolayı vakumda herhangi iki yük arasındaki Kulon kuvveti havadaki kuvvetten pek de çok farklı değildir.

Dielektrik ortamda top şeklinde iki yükün kuvveti için Kulon kanunu şöyledir:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{Q_1Q_2}{r^2} \quad (5)$$

buradan görüldüğü gibi herhangi bir ortamın elektrostatik kuvveti elde edilir eğer ki havadaki (vakumda) elektrik kuvveti ve onun relativ dielektrik sabitesi bilinirse. Bunu gözününde bulundurmakla diğer denklemlerde elektrik alanı ve elektrik potansiyeli nerdeki vakumdaki dielektrik sabitesi ϵ_0 mevcuttur, dielektrik ortamda denklemler öyle değişir ki ϵ_0 yerine şö sabite alınır:

$$\epsilon = \epsilon_0\epsilon_r \quad (6)$$

ϵ_0 gibi aynı birimlerle verilir C/(Nm²) ve bazan **mutlak dielektrik sabitesi** olarak adlandırılır.

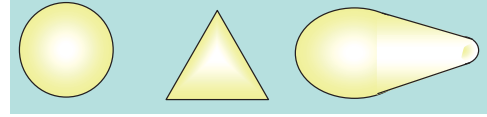
Bazı süpstanların relativ dielektrik değerleri tablosu

Süpstans	ϵ_r
Hava	1,00059
Su,	80
Amonyakö NH ₃ , sıvı,	22
Transformatör yağı,	2,24
Sulfur	4,0
Porselan	6,0-8,0

Sorular, ödevler ve etkinlikler

1. Şekil 8'de pozitif elektrikleşen cisimlerde elektrikleşmiş yük nasıl dağılı bulunur?

(yükün dağa yoğun olduğu alanda dağa yoğun işaretler çizin).



Şekil 8.

2. Şekil 9'daki resimde otomobile düşen kıvılcım verilmiştir. Otomobiledeki kişinin güvenli olduğunu nasıl açıklayabilirsiniz.



Şekil 9.

3. İki aynı elektroskop (sadece kafata kısımları farklıdır, Şekil 11) aynı yüklü elektrikleşmiş bulunurlar. Onlardan hangisi farklı elektrikleşir ve neden?

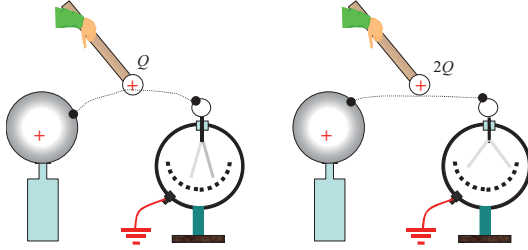
4. Yükleri 6 μ S olan iki topcağz birbirlerinden 1m uzaklıkta ve relativ dielektrik sabitesi $\epsilon_r=6$ olan dielektrikte bulunurken aralarındaki kuvvet nekadardır? (Cevap: 0,054N)

5. İki düzlemden oluşan homojen alanın şiddeti 5 V/m dir. Alan nekadardır ve nasıl değişir eğerki düzlemler pay ve süzölmüş su içinde konulurlar? (Cevap: Alan 80 kez azalacaktır)

Aşağıdaki temel kavramların anlamı verilsin

- iletkendeki yüklerin denge şartları
- elektristik koruma
- Faradey kafezi
- Yıldırımsavar
- induksiyonlu polarizasyon
- relativ dielektrik sabitesi
- relativ dielektrik sabitesi
- mutlak dielektrik sabitesi

14.7. ELEKTRİK KAPASİTESİ. KONDENZATÖRLER



Şekil 1.

Eğer bir elektrometreye sürekli elektriksel yük miktarı getirilirse (Şekil 1.), toprağa kıyasen elektriksel gerilimi daha büyüktür eğer getirilen elektriksel yük miktarı o kadar büyükse. Bunu matematiksel nasıl yazabiliriz?

Deniyelim: $Q \sim \varphi$,

yada

$$Q = C\varphi \quad (1)$$

Doğru orantılı sabitesi C verilen iletken için sabite dir, burada elektrometre dir. Eğer elektrometrenin boyutu değişirse bu sabite de değişir.

Denklem (1) şu şekilde yazılın

$$C = \frac{Q}{\varphi} \quad (2)$$

Fiziksel büyüklük C , bir iletken potansiyelini çoğaltması yada azalması için getirilecek elektriksel yük miktarına, iletkenin elektriksel kapasitesi (sığası) denir.

Sİ sistemine göre yük ölçü birimi (1 C), toprağa kıyasen potansiyel ölçü birimi (1 V) alınmasına rağmen kapasite ölçü birimine **Farad** (F) denir.

$$C = \frac{Q}{\varphi} \Rightarrow C = \frac{1C}{1V} = 1F$$

Yük getirilecek 1 C değerinde bir cisme onun potansiyeli 1 V değerinde çoğaltılmasına 1 F kapasiteye sahiptir.

Ölçü birimi 1 F büyük bir birimdir, bundan dolayı pratikte kullanılan şekilleri:

mikrofarad (μF) = 10^{-6} F,

nanofarad (nF) = 10^{-9} F,

pikofarad (pF) = 10^{-12} F.

Küre şeklinde yalıtılmış bir iletkenin kapasitesini belirleyelim.

Yarıçapı r olan küresel iletkenin elektriksel yükü Q olmasına rağmen elektriksel potansiyeli:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{Q}{r} \quad (3)$$

sabitesi ϵ_r olan dielektrik ortam için. Eğer denklem (2) potansiyel olarak çözümlerse ve onu denklem (3) ile kıyaslarsak, kürenin kapasitesi:

$$\varphi = \frac{Q}{C} \Rightarrow C = 4\pi\epsilon_0\epsilon_r r \quad (4)$$

Görüldüğü gibi küre şeklinde bir iletkenin kapasitesi yarıçapı ile doğru orantılıdır.

Kapasitesi 1 F olan küresel iletkenin yarıçapı ne kadar olmalıdır? Bunun cevabını denklem (4) yardımı ile bulabiliriz:

$$r = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot 1 = k \cdot 1 = 9 \cdot 10^9 \text{ m} = 9 \cdot 10^6 \text{ km}.$$

Büyük bir topu oluşturur. Onun yarıçapı Dünya ile Ay arasındaki mesafeden 23 kez daha büyüktür.

Denklem (4), ϵ_0 göre çözümlerse:

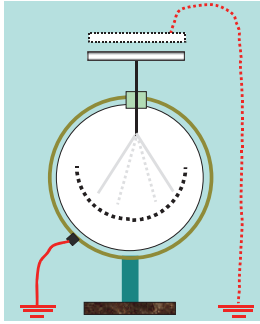
$$\epsilon_0 = \frac{C}{4\pi\epsilon_r r} \quad (5)$$

ϵ_r sabitesi boyutsuz bir büyüklük tür, Sİ sistemine göre ϵ_0 sabitesinin birimi F/m dir.

Elektriksel kondenzatör nedir?

Yükler bildiğimiz gibi iletkenin sadece dış alanına dağılırlar, bundan dolayı elektriksel kapasitesi iletken cismin kütlesine veya yapıldığı malzemeye bağlı değildir.

Elektriksel kapasitesi iletkenin sadece boyutlarına ve şekline bağlıdır. Aynı zamanda kapasite şiddetli olarak iletkenin yakınında hangi ve ne kadar oldukları iletkenler bağlıdır. Bunu deneysel olarak deneyelim. Elektrometre alınır ve onun kafa kısmına metal plak konulur (Şekil 2). Eğer böyle elektrikleşen elektrometre yakınında diğer bir plak getirilirse, elektrometrenin merdiveni azalır. Bu azalma okadar büyüktür eğer getirilen diğer metal topraklanmış bulunursa.



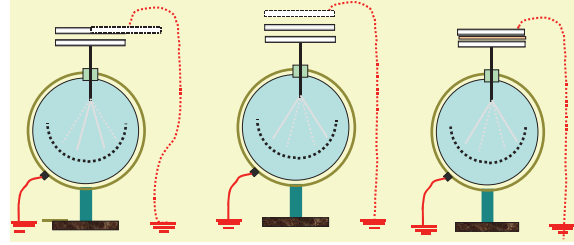
Şekil 2.

Bunun böyle olduğunu kendiniz açıklayın.

İkinci plakta elektriksel induksiyonun oluşturunu hatırlayın.

Elektrometrenin kapasitesine ne olmuştu soralım? Onun var olan yükü değişmemiştir (onu hiçbir şeyle dokunmadık), fakat elektrometre onun potansiyelinin azaldığını gösterir. Denklem (1) göre elektrometrenin kapasitesi çoğalmıştır. Böylece, ikinci plakı yaklaştırmakla, birincisinin kapasitesi çoğalmıştır. Elektrometrede daha büyük kapasite elde ettik onun boyutları hiç değişmeden.

Elektrometrenin gerilimi çoğalır ne zaman ki plakların alanları azalır (Şekil 3a), demek ki $U \sim 1/S$, fakat gerilim çoğalır plaklar arası mesafenin büyümesi ile (Şekil 3b) ($U \sim d$). Aynı zamanda plaklar arası hava yerine dielektrik konulursa, elektrometrenin merdiveni azalır (Şekil 3c) ($U \sim 1/\epsilon_r$). Bir sonuca varılabilir $U \sim \frac{d}{\epsilon_r S}$.



Şekil 3.

Tüm deneylere göre iki cisimden bu sistemin kapasitesi çok sayıda faktörlere bağlıdır, fakat onun kapasitesi çoğalabilir yukarıda verilen faktörlerin değiştirilmesi ile.

Bu prensibe göre elektriksel yüklerin yoğunlaştığı bir de elektrik enerjisi de tüm araçlar çalışır, bunlara ise **kondenzatörler** denir.

Bunlar **iki iletken düzlemden** ve aralarında elektrik alanı olarak oluşmuşlardır, onun kapasitesi dış şartlara bağlı değildir. Bu şartların oluşması için düzlemler birbirlerinden belli mesafede yerleştirilirler, onlar arasında dielektrik konulur. İletken düzlemler (elektrodlar) birbirine ters olarak elektrikleşirler, böylece yükleri birbirlerine çekerek yükler onlarda yoğunlaşırlar.

Dielektrik iletken düzlemler arasında çift rölü oynar. Birincisi olarak, elektrik kapasiteyi çoğaltır, ikincisi olarak, iletken düzlemler (elektrodlar) arası yüklerin neutraleşmesine izin vermez.

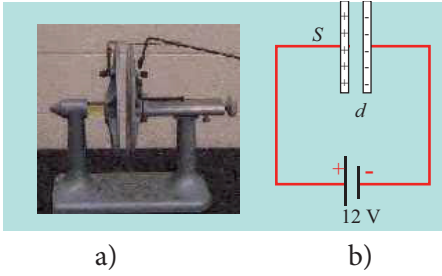
Kondenzatör kapasitesi (sığası)

Her iki iletken düzlemde (elektrod) biriken elektriksel miktarına **kondenzatör yükü** denir. İletken düzlemlerin birleşmesi ile onların neutraleşmesi olur. Bu sürece **kondenzatörün boşalması** denir. Bu süreç esnasında düzlemlerden birinin yükü (Q) aynı büyüklük olarak neutraleşir, işaret olarak ters, diğer düzlemin yüküne. Bu yük kondenzatör düzlemleri arası gerilim ile orantılıdır.

Buna göre kondenzatör kapasitesi için geçerli denklem:

$$C = \frac{Q}{U} \quad (6)$$

Verilen bir kondenzatör iletken düzlemlerin (elektrodları) elektrikleşmesi için iki farklı yük ile bağlanması gerekir, örneğin pil kutupları. Her kondenzatörün elektrodlarına getirebilecek belli sınırlı gerilimi vardır. Böyle gerilime **atılım gerilimi** denir. Eğer getirilen gerilim atılım geriliminden büyükse onun dielektrik atılımı olur ve öyle kondenzatör kullanılmaz halde kalır.



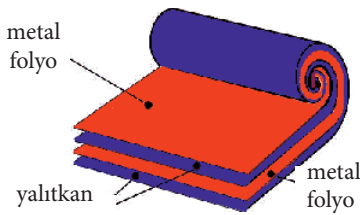
Şekil 4.

Kondenzatörlerin farklı yapıları vardır.

Kondenzatörler elektrodları şekillerine göre: plaklı, küresel yada silindir kondenzatörü.

Şekil 3'te çizilen deneyler yükün sabit olduğunu gösterirler, gerilim ise $U \sim d/\epsilon_r S$, plaklı kondenzatörün kapasitesi (Şekil 4) yüzey S ve ϵ_r dielektrik sabite ile doğru orantılıdır, elektrodlar arası mesafe d ile ters orantılıdır. Bunu şu denklem ile verebiliriz:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d}$$



Şekil 5.

Daha büyük kapasite elde etmek için elektrodların alanı büyük olmalıdır, aralarındaki mesafe küçük olmalıdır ve aralarındaki dielektrik sabitesi büyük olmalıdır. Bunu elde edebiliriz ince metal folyolar arasında dielektrik katmanları koymakla (plastik yada izel yalıtım kağıdı) Şekil 5.

Diğer türlü kondenzatörler

İlk kondenzatör XVIII yüzyılda Holanda'lı Layden tarafından yapılmıştır ve buna **Layden şişesi** (Şekil 6) denilir. Onun dış katmanı cam bardağının kaplanması metal folyo (yalıtkanı oluşturur) dur, iç katmanı ise aynen metaldendir ve bir topcağız ile bağlıdır.



Şekil 6.

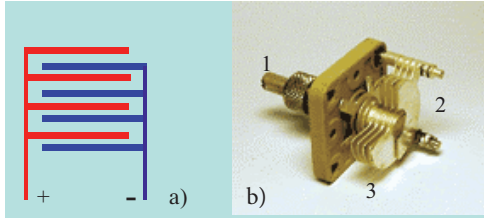
Bugün elektronik araçlarında rastlanan kondenzatör şekilleri çok farklıdır (şekil 7). Onların her birinde kapasitesi ve atılım gerilimi yazıyor.

Kondenzatörlerde yüksek kapasite elde etme yöntemi metal üzeri ince yalıtkanın kimyasal olarak yapılmasıdır. Bunlar **elektrolit kondenzatörlerde** yapılır. Bu tür kondenzatörlerde, farklı işaretlenen (Şekil 8), nasık bağlanıldığı önemlidir. Eğer yanlış bağlanma olursa kondenzatör kullanılmaz halde gelir.

Değişken kapasiteli kondenzatörler mevcuttur. Onlarda kapasite elektrodlar yüzeylerinin değişmesiyle kapasitesi sık olarak değişir (Şekil 8).

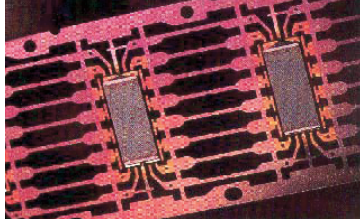


Şekil 6.



Şekil 8. Değişken kapasiteli kondenzatör:
a) elektrodlar yüzeylerinin kesiti; b) havalı değişken kondenzatörün fotoğrafı: vida yardımı ile (1) yarım diskler dönerler (3) bir katman oluştururlar, hareket etmeyen yarım disklere göre - ikinci katman (2)

Kondenzatörlerin uygulanması elektronikte ve diğer araçlarda büyüktür. Basılı entegre devrelerinde kondenzatörler Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9.

4.8. KONDENZATÖRLERİN BAĞLANMASI

Kondenzatörlerin bağlanma şekilleri **paralel ve seri** olabilir.

Paralel bağlanmada (Şekil 1) tüm kondenzatörlerin aynı gerilimi vardır:

$$Q_1 = C_1U; Q_2 = C_2U; Q_3 = C_3U$$

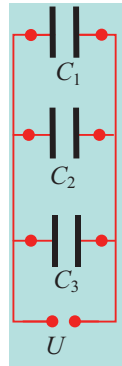
Toplam yük Q :

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

kapasite şöyle elde edilir:

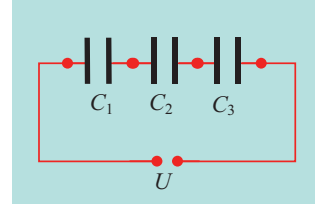
$$C = C_1 + C_2 + C_3. \quad (1)$$

Fazla sayıda kondenzatörlerin paralel bağlanmasının eşdeğer (ekvivalent) kapasitesi herbirinin kapasitelerinin toplamına eşittir.



Şekil 1.

Seri bağlanmada (Şekil 2) kapasitenin azalması sağlanır.



Şekil 2.

Eğer kondenzatörün sol elektrodu S_1 pozitif $+Q$ ile elektrikleşmiş bulunursa, onun sağ plakı S_2 induktans ile negatif $-Q$ yükü ile elektrikleşir, her iki plakta yükler aynıdır fakat ters işaretlidir. Böylece, kondenzatörün tüm elektrodlarında aynı yük vardır. Bunu gözünüzde bulundurmamakla, şöyle olacak:

$$Q = C_1U_1; Q = C_2U_2; Q = C_3U_3$$

$$\text{eğer: } U = U_1 + U_2 + U_3 \Rightarrow \frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

elde edilir:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad (2)$$

Kondenzatörlerin seri bağlanmasında, eşdeğer (ekvivalent) kapasitenin ters orantılı değeri her kondenzatör ters orantılı kapasitelerinin toplamına eşittir.

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Elektrikleşmiş cisimin elektriksel kapasitesi var mıdır?
2. Elektrikleşmiş elektrometrenin yakınında elinizi yaklaşıtırsanız, merdivenin azaldığını göreceksiniz. Açıklayın neden?
3. Aynı yarıçaplı yalıtılmış kürelere aynı yük getirilmiştir. Eğer kürelerden birinin içi boş ise, diğerinin ise dolu ise, toprağa göre gerilim nasıl olacaktır?

4. Dünya'nın elektrik kapasitesini hesaplayın. $R_z=6370$ km. (Cevap. $C=0,71$ mF)
5. Küresel şekilde plaklı kondenzatörlerin kapasiteler oranı nasıldır eğer yarıçaplarının oranı 2:1 ise?

Örnek ödevler

6. Plaklı kondenzatörün kapasitesi hesaplınsın eğer plakların (20×30) cm² yüzeyleri ve aralırındaki mesafe 1 mm hava ortamında ise. Her plakın yükü nekadardır eğer kondenzatör 12 V gerilime bağlı bulunursa?

Çözüm:

Kondenzatörün kapasitesi:

$$C = \epsilon_0 \frac{S}{d} = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{0,20 \cdot 0,30}{0,001} = 5,31 \text{ pF}$$

Kondenzatöre ait her plakın yükü:

$$Q = CU = 5,31 \cdot 10^{-12} \cdot 12 = 63,7 \cdot 10^{-12} \text{ C}$$

7. Şekil 3'te verilen devrenin eşdeğer (ekivalent) kapasitesi belirlensin eğer her kondenzatörün kapasitesi 2 μF değerinde verilmişse.

Çözüm:

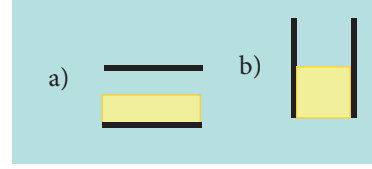
Devrenin kapasitesini hesaplamak için ilk önce eşdeğer kapasitenin bulunması gerekir, devrede C_1 kondenzatörü C_{23} kondenzatörleri ile paralel bağlıdır ve C_2, C_3 kondenzatörleri ise birbiri ile seri bağlıdır.

$$C_{23} = \frac{C_2 C_3}{C_2 + C_3} = \frac{2 \cdot 2}{2 + 2} = 1 \mu\text{F} ,$$

toplam kapasite ise:

$$C = C_{23} + C_1 = 1 + 2 = 3 \mu\text{F}$$

8. Plaklı kondenzatör elektrodları arasında dielektrik sabitesi ϵ_r olan yağ konulur. Böyle kondenzatörün elektriksel kapasitesi nekadardır, eğer yağ elektrodlar arasındaki hacmin paralel olarak yarısını kapsamış olursa yada onlara paralel olarak bulunursa (Şekil 4b).



Şekil 4.

Çözüm:

Hava ortamında bir kondenzatörün kapasitesi C olsun,

Olay a)

Kondenzatör seri şekilde bağlanan iki kondenzatörden ibarettir $C_1=2C$, diğeri ise mesafesinin yarısı kadar uzaklıkta bulunduğu için kapasitesi $C_2=\epsilon_r 2C$ eşdeğer kapasite

$$C_{ekv} = \frac{2C \cdot 2\epsilon_r C}{2C + 2\epsilon_r C} = \frac{2\epsilon_r}{(1 + \epsilon_r)} C$$

Olay b)

plakların bağlanması paralel şekilde dir ve yüzeyi $S/2$. Buna göre eşdeğer kapasite

$$C_{ekv} = \epsilon_0 \frac{S}{2d} + \epsilon_r \epsilon_0 \frac{S}{2d} = \frac{C(1 + \epsilon_r)}{2}$$

Aşağıdaki kavramların anlamları verilsin, gerkeirse örnek verilsin:

- | | |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| - elektriksel kapasite | - atılım gerilimi |
| - farad | - plaklı kondenzatör |
| - elektriksel kondenzatör | - layden şişesi |
| - kondenzatör yükü | - elektrolit kondenzatörü |
| - kondenzatör boşalması | - kondenzatörlerin paralel bağlanması |
| - kondenzatörlerin seri bağlanması | |

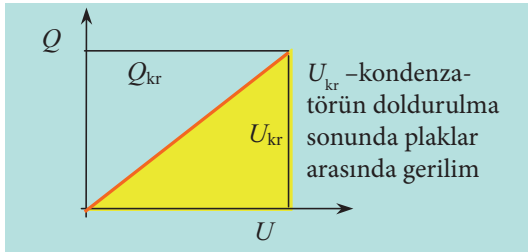
14.9. KONDENZATÖRDE ENERJİNİN BİRİKİMİ. ELEKTRİK ALANIN ENERJİSİ

Kondenzatörler yüklendikleri zaman onların elektrodlarını farklı yükler kaynağı ile bağlarız (örneğin induktans makinesi) iş yapılır, kondenzatörde biriken enerjinin hesabına göre.

Başlangıçta kondenzatör elektrikleşmiş değildir. Elektrostatik makinesi çalışmaya başladığında, kondenzatör plaklarına yük getirir, getirilen yük gerilim ile doğru orantılıdır ve şu denklem ile verilir:

$$Q = CU \Rightarrow U = \frac{1}{C}Q \quad (1)$$

Demek ki getirilen gerilim U başlangıçtan yük ile büyür. Gerilimin ve yükün grafiksel gösterilmesi Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Elektrikleşme esnasında yapılan iş yükünün sıfır değerinden Q_{kr} değerine kadar, kapsanan alan ile verilmiştir (sarı renk ile gösterilmiştir).

Yapılan iş yükünün ve gerilimin çarpımına eşittir. Gerilim 0'den U_{kr} kadar değiştiği için, burada onun ortalama değeri alınmalıdır

$$A = Q_{kr} U_{sr} \quad (2)$$

Çünkü

$$U_{sr} = \frac{0 + U_{kr}}{2} = \frac{U_{kr}}{2} \quad (3)$$

kondenzatörün elektrikleşmesi için Q_{kr} yüküne kadar, yada gerilim U_{kr} kadar:

$$A = \frac{Q_{kr} U_{kr}}{2} = W_p \quad (4)$$

Yapılan iş kondenzatör potansiyel enerjisine eşittir W_p .

$$W_p = \frac{CU_{kr}^2}{2} \quad (5)$$

gerilimin değerini U_{kr} işaretlensin, genel işaretleme U yerine.

Denklem (5) enerji, gerilim ve yük için genel işaretleme ile yazılsın:

$$W = \frac{1}{2}CU^2 \quad \text{veya} \quad W = \frac{1}{2}QU \quad (6)$$

Görüldüğü gibi kondenzatörden biriken enerji kapasitesi ve gerilimin karesi ile doğru orantılıdır.

Denkle (6) herhangi bir kondenzatör için geçerlidir.

Deneylerden bu enerji **elektrostatik alanın enerjisi** gibi kabul edilir ve kondenzatör elektrodları arasında oluşur.

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Elektrostatik alanın enerjisi kondenzatörde nasıl değişir eğer onun plaklarının mesafesi başlangıçtaki mesafenin yarısı kadar azaltılırsa?
2. Kondenzatörün kapasitesi $40 \mu\text{F}$ olduğuna göre 12 V gerilimli pile bağlanınca enerjisi ne kadar dır?

Çözüm

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{40 \cdot 10^{-6} 12^2}{2} = 2,88 \cdot 10^{-3} \text{ J.}$$

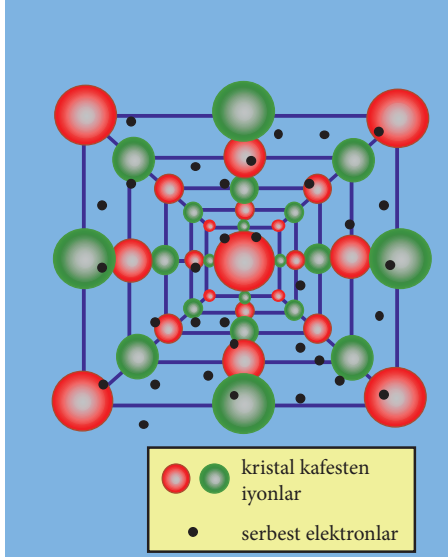
Aşağıdaki kavramların anlamları verilsin.

Gerekirse örnek verilsin

- kondenzatör enerjisi
- elektrostatik alanın enerjisi

15.1. ELEKTRİK AKIMI

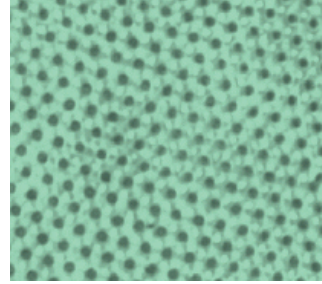
Çağdaş hayat yaşama yerlerinde elektrik akımsız düşünülemez. Ozaman, herhangi bir aracın akıma bağlanması yapıldığında, elektrosantralında üretilen akım kablodan akmağa başlar, televizyonlar, bilgisayarlar, ısıtıcılar çalışmaya başlarlar. Akıma okadar alıştık ki onun olmayışını normal hayatın akışı engellendiği zaman anlarız.



Şekil 1. Kristal kafizde atomların şekli (pozitif iyonlar) ve elektron gazı

Moder fizik XX y.y. katı iletkenler metaller gibi elektrik akımının nasıl iletilmesini açıkladı. Atomlar metallerde düzgün dağılı bulunurlar ve bu dağılıma **kristal kafiz** denir. Bu atomlardan herbiri son elektron sağısından elektron serbestirler ve bunlara **serbes elektronlar** denir. Bundan sonra kafizin her atomu pozitif elektrikleşmiş düğümü (iyon) oluşturur.

Serbes elektronlar kristal kafizden fluite (gas) parçacıklarının hareket ettikleri gibi hareket ederler bundan dolayı bunlara **elektron gazı** denir.



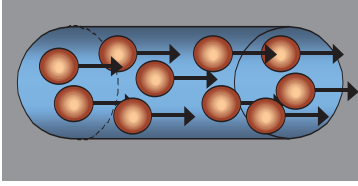
Şekil 2. Elektronik mikroskop yardımı ile düşük sıcaklıkta kaydedilen metalin kristal kafizi

Bir metalin yapısı, atom boyutları ile şöyle görünür: pozitif iyonlar düzgün dağılı bulunurlar ve kristal kafizi oluştururlar. Onların hareketi metalin sıcaklığına bağlıdır ve kendi denge durumları etrafında titreşirler. Kafizdeki alanda bir **elektron gazı** serbes elektronlardan oluşur ve metalde hareket ederler. Metal nötr atomlardan oluşmaktadır. Bundan dolayı serbes elektronların toplam negatif elektrik yükü büyüklük bakımından pozitif iyonların toplam elektrik yüküne eşit olacaktır.

Serbes elektronlar kristal kafizin iç kısmında kaotik şekilde hareket ederler, bir gaz veya fluite parçacıklarının hareket ettikleri gibi.

15. Elektrik akımı

Metalin kenarları bir gerilim kaynağına bağlanınca, ozaman serbes elektronlar pilin pozitif kutubuna hareket ederler. Bu olayda haotik hareket şeklinden elektronlar yönlü hareket şekline geçerler (Şekil 3).



Şekil 3. Elektrik yüklerin yönlü hareketi elektrik akımı oluşturur.

Elektrik yüklerin yönlü hareketlerine elektrik akımı denir, yada kısaca akım denir. Metallerde yönlü hareket sadece serbes elektronlar yapabilir, bundan dolayı akım elektronların dır.

Elektrik akım şiddeti

İletkende büyük sayıda elektrik miktarı kısa vadede geçerse onda akım şiddetli dir deriz.

Akım şiddetini (I) elektrik miktarın (Q) zaman birimine (t) iletkenden geçmesine denir.

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1)$$

Örnek 1. Şiddeti 1 A olan akım iletkenden 4 dakika akar. O zaman aralığında ne kadar elektrik miktarı ve ne kadar elektron iletkenden geçmiştir?

$$Q = I \cdot t = 1A \cdot 240 s = 240 C$$

$$Q = n \cdot e \text{ buradan } n = \frac{Q}{e}$$

$$n = 240 : 1,610^{-19} = 1,5 \cdot 10^{21} \text{ elektron sayısı.}$$

Akım ölçü birimi Amper (A) dir. Akım şiddeti tanımından elektrik miktarı birimi da tanımlanır ve bir Kulon (C) dur.

$$1C = 1A \cdot 1s$$

Bir kulonluk elektrik miktarı bir saniyede iletkenden akan bir amperlik şiddetinde akım dır.

Elektronikte bir amperden daha küçük akımlarla çalışıldığından dolayı daha küçük birimler de ele alınmıştır. Daha küçük birimler yanısıra daha büyük birimler de kullanılmaktadır. Elektrik akımın elde edilmesi esnasında elektrik santrallerinde elektrik akımın gücü ibrkaç bin amperdir. Bu sebepten dolayı kiloamper (kA) birimi kullanılmaktadır.

$$1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A}$$

simge	Anlamı
1 mA (miliamper)	1 mA = 10^{-3} A
1 μ A (mikroamper)	1 μ A = 10^{-6} A
1 nA (nanoamper)	1 nA = 10^{-9} A
1 pA (pikoamper)	1 pA = 10^{-12} A

Akım şiddeti ölçü aracı ile ölçülür buna **Ampermetre** denir. Ampermetre analog (elektrodinamik ve akrepli) ve dijital yada sayısal (ekranlı) olabilir.



15. Elektrik akımı

Her günkü yaşamda farklı büyüklükte akımlarla karşılaşırız. Aşağıdaki tabloda farklı araçların akım şiddetleri verilmiştir.

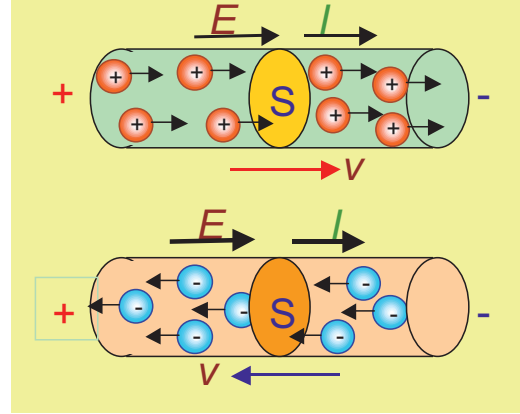
Nerde?	Nekadar?
Bilgisayar entegre devrenin bileşenleri	birkaç pA
dijital saat	birkaç μ A
cep lambası	birkaç mA
Elektrikli soba	10 A
yıldırım	onluklar kA

Elektrik akımının yönü

Akımın tanımı (yönlü hareket) elektrik akımının belli olması sadece şiddet bakımında değil yn bakımından da.

Fizikçiler tarafından akımın yönü iletkende elektrik alanın yönüne uygun olarak kabul etmişlerdir. Bu anlaşmaya göre akımın yönü elektronların metalde hareket yönüne ters gelir. Böylece metal iletkenen akan akım esnasında, elektronlar negatif kutuptan pozitif kutuba hareket ederler. Böyle bir anlaşmanın elektrik akımı için tarihsel arkası vardır demektir. Denmek ki elektrik alanın yönü pozitif kutuptan negatif kutuba bulunur, bu yönde bir pozitif yüklü parça hareket edebilir.

Sıvılarda ve gazlarda, taşıyıcılar pozitif ve negatif parçacık (iyonlar) dır. Örneğin insan vücudundaki akımlar pozitif ve negatif iyonlar akımlarından oluşmuştur. Akımın pozitif yönü pozitif iyonun yönüne uygundur (rneğin Na^+ iyonu). şekil 5'te pozitif ve negatif parçacıkların yönleri gösterilmiştir.

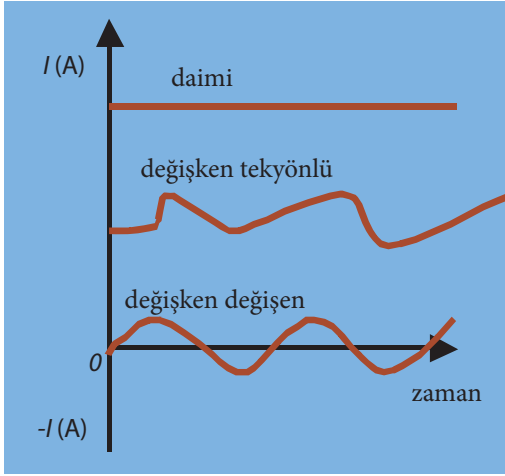


şekil 5. Pozitif ve negatif parçaların akımı

şekil 5'te ters yönlü iyonların hız vektörleri görülmektedir, fakat akımın yönü her iki tür iyon için aynıdır.

Kararlı (sabit) ve değişen akım

Akımı şiddeti zamanla değişir, fakat sabit de olabilir. Buna göre kararlı (sabit) ve değişen akımlar mevcuttur. Değişen akım büyüklük bakımına göre değişir yönünü değiştirmez. Büyüklüğünü ve yönünü değiştiren akımlar tekyönlü ve değişen (alternatif) olabilirler.



Şekil 6. Kararlı ve değişen akım

Sorular ve ödevler

1. Diyametri 1mm olan iletkenin 5s zaman süresinde geçen elektrik miktarı 0,003 c olduğuna göre iletkenin akım yoğunluğu nekadardır?
2. Metal iletkenin serbes elektronlarının ortalama yönlü hızı hesaplanırsın eğer iletkenin kesitinin yüzeyi 1 mm² ve metaldeki serbes elektronların konsantrasyonu $n = 6 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}$ değerinde verilmişse.

Aşağıdaki kavramların anlamları verilsin:

- akım
- amper
- kulon
- akım şiddeti
- kararlı ve değişen akım
- akım yönü

15.2. TEKYÖNLÜ AKIM KAYNAKLARI

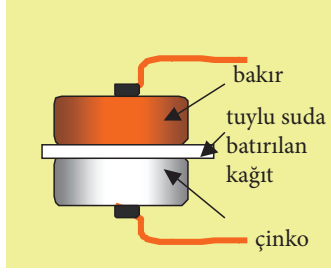
Bir ırmağın akması için onun kaynağı tarafından sürekli doldurulması gerekir. Bir iletkenin akımın akması için elektrik yüklerin telafi edilmesi gerekir. İletkenlerin kenarlarında potansiyel farkı oluşturan araçlara **akım kaynağı** denir. Farklı akım kaynakları türleri mevcuttur, bunlardan bazıları ile tanışmamız olacaktır.

İlk olarak tek yönlü akım kaynağı XVIII y.y. İtalyan bilim adamı Luici Galvani'nin buluşuna dayanır. Ona göre kimyasal akım kaynakları galvan elementleri gibi adlandırılmışlardır. Bunlarda yükler kimyasal enerjisi hesabına göre hareket ederler.

Aleksandro Volta ilk basit gerilim kaynağını yapmıştır ve akımın kimyasal yolla elde edilmesini açıklamıştır. Bu element Volt elementi olarak adlandırılmıştır, Şekil 1'de gösterilmiştir. Kağıt yardımı ile çinko ve bakır plakları ayrı ayrı bulunur ve sulandırılmış sulfurik asidinde batırılmış bulunurlar.

Gerilim kaynağı iki metalin herahni bir asit, baz veya tuz (**elektrolit**) eriyiklerinde batırılmış buldukları olarak elde edilirler.

15. Elektrik akımı



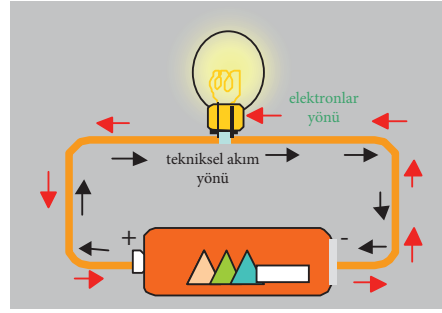
Şekil 1. Volt elementi

Cep pili galvan elementini oluşturur (Şekil 2). Bir pil iki bakır iletkeni yardımı ile bir lambaya bağlanınca ışık verir. Galvan elementin yapısı karışınca ve elektrodların birinde yüklerin yoğunlaşması yapılamadığı için galvan elementi “yanmış” sayılarak kullanılmaz halde bulunur.

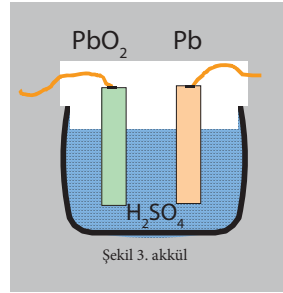
Galvan elementinde gerilim sabittir, akım ise sadece bir yönde akar, teknikte DC (Direct Current) olarak gösterilir. Öyle kaynaklar mevcuttur ki onların verdikleri akım büyüklük ve yön bakımından değişendir ve buna değişen akım yada **AC** (Alternative Current) işaret edilir. Evlerdeki kullandığımız akım bu türden dir ve değişmesi saniyede 50 kez yapılır.

Şekil 2’de gösterilen iki renkteki oklar, kırmızı renkteki oklar elektronların **yönünü** ve siyah renkteki oklar ise **akımın yönünü** gösterirler.

Kimyasal elektrik enerji kaynaklarından **akkül pilleri** yada **akküller** en sık rastlanırlar.



Şekil 2. Akım yönü

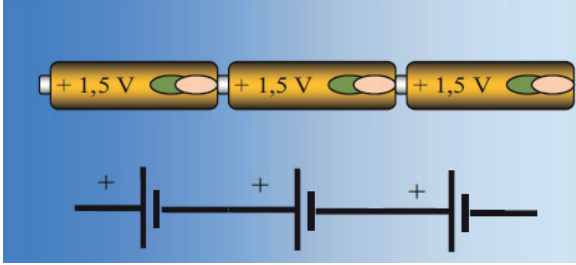


Şekil 3. Akkül hücresi ve akküller

Akküller her otomobilde, otobüste ve traktörlerde rastlanırlar ve gerektiği akımı verirler. Kurşunlu akkülün temel hücresi Şekil 3’te gösterilmiştir. Kurşunlu plakların %20 lik sulfurik asit eriyiğinde batırılmış bulunurlar. Akkülün kullanılması için kullanmadan önce diğer bir tek yönlü kaynağa bağlanması gerekir. Yükleme süreci bitince akkül hücrelerin gerilimi 2 V civarındadır. Pratikte 6 hücreli akküller kullanılır ve toplam gerilimi 12 V civarında dır ve seri şekilde bağlıdırlar.

Akkül yüklendiği zaman elektrik araçlarında kullanılması gerekir, otomobillerde (çalıştırmak için, ışık, ses ve diğer).

Galvan elementlerin bağlanması ile **pil** elde edilir.



Daha gelişmiş galvan elementleri bulunur, örneğin nikel-kadmiyum'dan yapılan natrium-hidroksit elektrolitli. Bunlar akküller gibi yüklenir ve boşaltılırlar. Bu elementlerin pilleri elektronik araçlarda kullanılırlar, örneğin fotoğraf makineleri, dizüstü bilgisayarlar, video kameralar, mp3 ve sayı.

Tek yönlü akım kaynakların farklı türleri vardır, onlardan gelişmişleri güneş fotovoltaik hücreleridir.

Kimyasal kaynağın kapasitesi sürekli akımın belli zaman süresi akması için ölçektir ve amper saat (Ah) olarak verilir. Örneğin. Kapasitesi **10 Ah** olan pil **10 saatlık** zaman süresi içinde **1 A** lik akım verir.

Aşağıdaki kavramların anlamları verilsin:

- galvan elementi
- akkül
- pil
- elektromotor kuvveti

15. 3. ELEKTRİKSEL DİRENÇ

Boş holü koşabildiğimize kıyasen çok sütunleri olan bir holün geçilmesi kolayca yapılamaz. Hol sanki direnç verir. Birçok öğrencinin fiziği öğrenmelerinde tepki gösterirler. (Bu direnç özürsüzdür, çünkü fiziğin öğrenmesinde bütün engeller başarılı aşılabılır!) Bu durum elektronlarda da mevcuttur, kristal kafesin atomları ile çarpışır ve onlara iletken malzemesi direnç yapar.

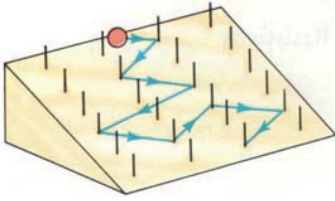
Dirençin modellenmesi

Fizikte sürekli bilinmeyen mikrodünyaya ait olayların gösterilmesi bilinen makrodünyaya ait olayları ile gösterilmesi istenir. Buna modelleme denir. Modeller mekanikte yada moleküller fiziğinde bazı basit olaylara dayanırlar. Önceki konularda örnekler verilmiştir, örneğin, kristal kafesdeki serbes elektronlar, elektron gazı ve sayı elektrik akımı açıklamak için.

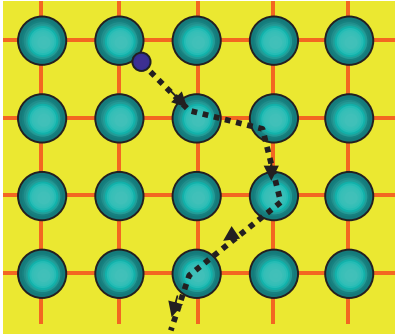
Engeller bulunan bir düzlemde topcağın geçişine verilen elektrik direnci ugun gösterilmiştir (Şekil 1). Eğik düzlemde topcağıza etki eden gravitasyon kuvveti elektrik alanın kuvvetini hatırlatır (Şekil 2.) Kristal kafesde serbes elektronların çarpıştıkları engeller pozitif iyonları hatırlatırlar.

Tüm birbirine etkiler gözününde alınırsalar ve tüm gözününe alınmayanlar (olaylar ve daha az etki eden büyüklükler, geometrik problemi yansıtan tüm fiziksel sabiteler), ve uygun “matematik” seçilirse ozaman bilgisayar sunusu makrodünyanın bilgisayardan takip edilmesi için yapılabilir.

Böylece bu yöntemle deneme deneyleri fizik laboratuvarına girmeden yapılır. Modellerin tamalığı deneme deneyler ile denemelidirler. Bilim dünyasında, modeller yardımcı aracı oluştururlar.



Şekil 1. Engeller dolu eğik düzlemde tekerlenen topcağın direnci

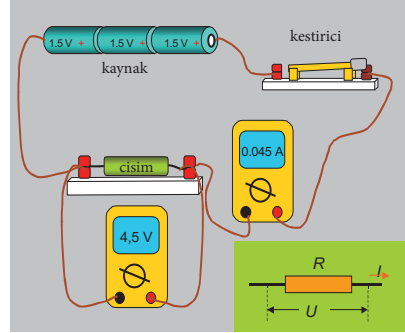


Şekil 2. Kristal kafезде elektronun direnci

Direncin ölçülmesi

Şekil 3'te verilen akım devresinde cisim bağlanırsa direnç ölçülebilir, kaynaktan seri şekilde bir ampermetre, cisimle paralel bağlı voltmetre bir

de anahtar. Devreye pilleri teker teker devreye bağlamakla kaynağın elektromotor kuvvetini değiştiririz. O esnada cismin kenarlarında gerilim (V) de değişik bir ampermetrenin gösterdiği akım (I) da. Onların değerlerini de görebiliriz.



Şekil 3. Elektrik devresinde gerilim ve akım bağıllığı (V-A karakteristiği)

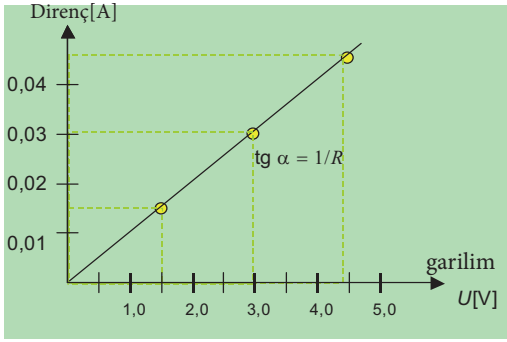
Örnek 1. Şekil 1'deki deney gerilimin değişmesi 1,5 V üç pilin bağlanması ile gösterilir. Gerilimin değerleri aşağıdaki tabloda okunabilir ve akımlar da verilmiş bulunur.

Tablo 1.

Ölçme	Gerilim (U) V ile	Akım (I) A ile	Direnç $R = U/I$ Ω ile
1	1,5	0,015	100
2	3,0	0,030	100
3	4,5	0,045	100

Tablodan gerilim/akım oranı görülebilir, daha doğrusu cismin direnci sabit ve 100 V/A dir.

Eğer çiftler gerilim ve akım için koordinat sisteminde yerleştirilirse doğru çizgi elde edilir, daha doğrusu direncin ters oranı ($1/R$).



Şekil 5. Metalde akımın dirençten bağıllığı grafiksel göstergesi

Akımın gerilimden bağıllığı grafik göstergesine volt-ampere (V-A) karakteristiği. Metallerde doğru çizgiş oluşturur, yarıiletkenlerde ise doğru çizgi değildir.

Demek ki, direnci sadece bir ölçme ile hesaplanması yapılamaz, fakat gerilimin ve akımın fazla kez ölçünmesi gerekir ve direncin gerilim büyüklüğüne bağılı olamdığı kanıtlanır

Aşağıdaki kavramların anlamları verilsin:

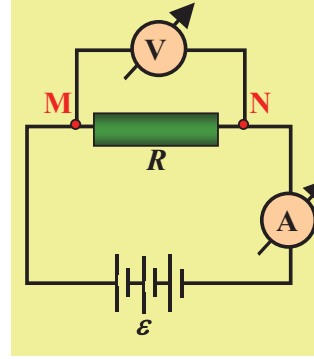
- direnç modeli
- V-A karakteristiğini ölçme
- V-A'dan direncin belirlenmesi

Sorular ve ödevler

1. Akımın gerilimden bağıllığı için ölçmeler yapın (V-A karakteristiği) ve herhangi bir iletkenin veya direncin direnci belirlensin.
2. Direnç hakkında yeni bir model kurun.

15.4. AKIM ŞİDDETİ VE GERİLİM ARASINDAKİ BAĞ

Önceki derste basit bir devre bağladık şekil 1'de olduğu gibi. Şu kısımlardan oluşmuştur kaynak (1), direnç (R), seri bağılı bulunan ampermetre (A), paralel bağılı bulunan voltmetre (V). Pillerin teker teker devreye bağlanmaları kaynağın elektromotor kuvveti değişir. O esnada M ve N noktaları arasındaki gerilim U voltmreden ölçülür, akım ise ampermetreden (A) ölçülür.



Şekil 1. Elektrik devresinde gerilimin ve akımın kaydı

Deneyden görüldüğü gibi gerilimin ve akımın değişmesi ile direnç (R) sabit kalır,

$$\frac{U}{I} = \text{sabit} = R.$$

Direnç ölçü birim om (Ω) dur.

Eğer cismin kenarlarına 1 V gerilim getirerek 1 A akım akmasına harcıyıcının bir om'luk direnci var denir.

$$1\Omega = \frac{1V}{1A}$$

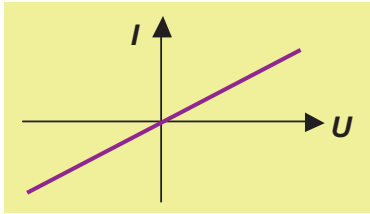
Om kanunu

Önceki konularda metal iletkenlerde gerilim ve akımın sabit değeri ve gerilimden bağımsız olduğunu gördük. Bunu Om kanunu verir ve bu şekilde sadece metallerde geçerlidir. Om kanununun akım devreleri için farklı şekilleri vardır, bu şekilde de verilir:

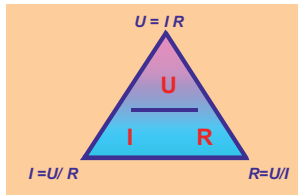
$$I = \frac{1}{R}U$$

Metal iletkenlerde akım şiddeti gerilim ve doğru orantılı sabitesi ile doğru orantılıdır, doğru orantılı sabitesi şöyle verilir $1/R$.

Gerilimin V değişmesinden akımın I bağıllığı grafiksel göstergesine volt-ampermetre karakteristiği denir. Bu bağıllık metallerde doğru çizgiyi oluşturur (Şekil 2).



Şekil 2. Metal iletkenlerde akımın I gerilime bağıllığı



Şekil 3. Om üçgeni

Om kanununun üçgeni olarak bilinir (Şekil 3), bu üçgenin yardımıyla onun her şekli kolayca bulunmasını sağlar.

Om kanunu akım devresinin sadece bir kısmı için değil tüm devre için geçerlidir. En basit bir devreyi alırsak elektromotor kuvveti (ϵ) kaynağı, direnç yada harcıyıcı, voltmetre ve ampermetreden (Şekil 4) oluşmuştur, elektromotor kuvveti yapısına bakarsak onun bileşenleri (elektrolit, elektrotlar ve diğer) akımın akmasına direnç gösterdikleri için onun **iç direnci (r)** ile temsil edilirler. Bu direncin devreye seri şekilde bağlı olduğu gösterilir. O zaman iç direncin kenarlarındaki gerilim düşüşü rI dir.

Enerji korunumu kanununa göre iş yapan dış kuvvetler (elektromotor kuvveti) akımın devrede yaptığı tüm işlerin toplamına eşittir. Buna göre tüm devre için Om kanunu

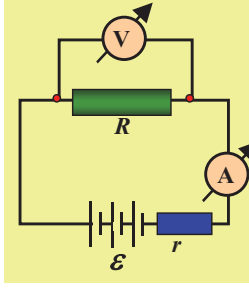
$$\epsilon = I \cdot r + I \cdot R = I(r + R) \text{ yada}$$

$$I = \frac{\epsilon}{r + R},$$

daha doğrusu

tüm devre için akım şiddeti elektromotor kuvveti ile doğru orantılıdır, iç ve dış dirençlerin toplamı ile ters orantılıdır.

Bu kanundan görüldüğü gibi akım dış akım devresinden mada kaynağın iç kısmından da geçmektedir.



Şekil 4. Tüm akım devresi için Ohm kanunu

Malzemelerin iletkenliğine göre ayrılması

Bazı malzemeler metaller gibi elektriksel yükleri iletme özellikleri vardır, bunlara I sıra iletkenler denir. Elektrolitlere II sıra iletkenler denir. Bazılarına plastik gibilerine yalıtkanlar denir. İnsan vücudu elektriksel yükleri ileten bir iletkenidir bundan dolayı elektrometreye elimizi yaklaştırdığımızda onun akrebinin azalmasını gördük.

İletken ve yalıtkanlardan mada elektrik yükleri iletme esnasında dış şartlara bağlı olan malzeme de mevcuttur, bunlara **yarıiletkenler** denir. Tablo II bunlarla ilgili örnekler verilmiştir.

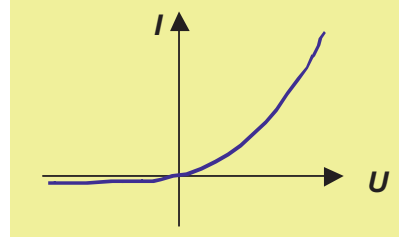
Tablo II.

iletkenler $\rho \sim 10^{-8}$ Ωm	izolatörler $\rho \sim 10^{10} - 10^{14}$ Ωm	yarıiletkenler $\rho \sim 1-1000$ Ωm
bakır gümüş altın	plastik cam lastik	silisyum germanyum selen

Direncin gerilime bağlılığı

Direncin gerilime bağlılığını metallerde görmüştük, orada direnç gerilime bağlı değildi ve farklı değerler için gerilim-akım oranı her zaman sa-

bit değere eşitti (IV diyagramı şekil 2). Fakat bazı malzemelerde bu bağımlılık için doğru çizgisi elde edilir ve direnç getirilen gerilime bağıllık gösterir. Bu malzemeler yarıiletkenlerdir, bunlarda akımın gerilime bağıllığı metallerde olduğu gibi bunlarda değildir.



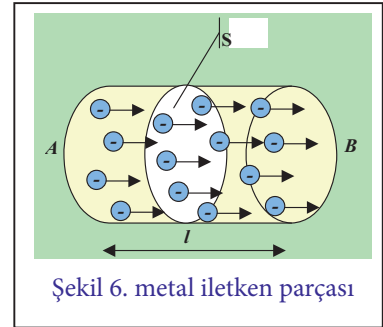
Şekil 5. Akımın gerilimden lineer olmayan bağıllığı

Bu malzemelerde Ohm kanunu geçerli değildir.

Direncin metal iletkenine bağıllığı

Basit bir örnek için bir parça metal iletken alınсын, şekil 6'da olduğu gibi. Bundan elektronlar A'dan B'ye hareket etmeleri gerekir. İletkenin uzunluğu (l) ve yüzünün kesiti (S) olduğuna göre, ozaman bir iletkenin direnci kime bağıllıdır?

Deneyimlere göre direnç iletken uzunluğu (l) ile doğru orantılı bağıllıdır, yüzey kesiti (S) ile ters orantılıdır.



Şekil 6. metal iletken parçası

Doğru orantılı sabitesini yoğunluk (ρ) oluşturur ve verilen malzeme için verilen şartlarda sabit değeri vardır.

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Tablo I'de bazı metallerin ve malzemelerin yoğunluğu (özel direnç) verilmiştir.

Tablo I.

Süpstans	Yoğunluk (özel direnç) ($\Omega \cdot m$)
Bakır	$0,017 \cdot 10^{-6}$
Gümüş	$0,016 \cdot 10^{-6}$
Demir	$0,130 \cdot 10^{-6}$
Nikel	$0,420 \cdot 10^{-6}$
Konstantan	$0,500 \cdot 10^{-6}$
Cekas	$0,100 \cdot 10^{-6}$

Örnek 1. Yüzey kesiti 1mm^2 ve uzunluğu 500 m olan bakır telin elektriksel direnci nekadardır? (Bakırın yoğunluğu Tablo I'de verilmiştir)

$$R = \rho \frac{l}{S} = 0,017 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot m \cdot \frac{500}{1 \cdot 10^{-6}} \cdot \frac{m}{m^2} = 8,5 \Omega$$

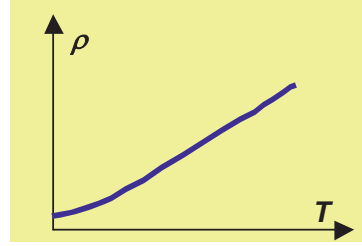
Direncin sıcaklık bağımlılığı

Direncin ve yoğunluğun (özel direncin) sıcaklığa bağımlılığı çok sayıda faktörlere bağlıdır. Direnç tüm metallerde doğru çizgili artmaktadır (şekil 7) sıcaklığın artması ile.

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha \cdot \Delta t),$$

burada sıcaklık t 'de yoğunluk ρ dur, ve sıcaklık t_0 yoğunluk ρ_0 dir, sıcaklık değişimi ise $\Delta t = t - t_0$ dir.

α direncin sıcaklık sabitesi ve sıcaklığın 1K değişmesi ile verilen süpstanın relatif değişmesini oluşturur.



Şekil 7. Metalde yoğunluğun sıcaklığa bağımlılığı

Bu ilişki sıcaklığı ölçmek için dirençli termometrelerden kullanılmıştır.

Örnek 2. Açık platin termometresi platin telinden yapılmıştır, sıcaklığı 20°C de direnci 100Ω dur. Termometre İndium'un eritiildiği bir kabda batırılırsa onun direnci $153,6 \Omega$ yükselir. İndium'un erime noktası hesaplanırsın eğerki İndiumun sıcaklık sabitesi $\alpha = 3,92 \times 10^{-3} (\text{°C})^{-1}$.

Yardım: bir malzemenin direnci yoğunlukla doğru orantılı bağılıdır. yada $R = \rho l/S$. Buradan yazabiliriz $R = \rho l/S$ ve $\rho_0 = R_0 S/l$. Denklemlerin değişmesi ile

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha \cdot \Delta t)$$

$$R \frac{S}{l} = R_0 \frac{S}{l} (1 + \alpha \cdot \Delta t)$$

kısaltmakla

$$R = R_0(1 + \alpha \cdot \Delta t)$$

Çözüm:

$$\Delta t = \frac{R - R_0}{\alpha \cdot R_0} = \frac{153,6 - 100,0}{3,92 \cdot 10^{-3} \cdot 100,0} = 137^\circ\text{C}$$

çünkü $\Delta t = t - t_0$ olduğuna göre

$$t = \Delta t + t_0 = 157^\circ\text{C} \dots$$

Süperiletkenler

Metal iletkeni soğutmakla onun direnci azalır, öyleki mutlak sıfır ($T=0$ K) değerinde sıfır 0 değerine ulaşır. Örneğin, kurşun 7,18 K temperatürde sıfır 0 değerine ulaşır. Bellirlenen düşük temperatüre **kritik temperatür** T_c denir ve direnç hızlıca azalır ve sıfır değer ulaşabilir bu duruma **süperiletkenlik** denir. Metallerden çoğu düşük **temperatür süperiletkenliğe** sahiptirler, aşağıdaki tablo bazılarını vermiştir.

Tablo III.

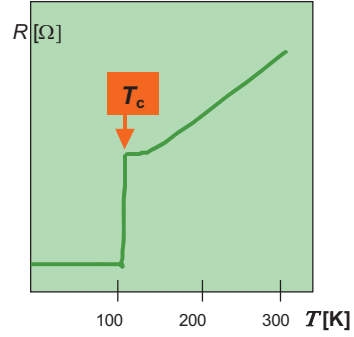
Metal	T_c [K]
Pb	7,18
Sn	3,72
Zn	0,88

Fakat keramik malzemeleri sınıfında direnç belli kritik temperatürde T_c sıfıra düşer. Bunlara yüksek **temperatür süperiletkenleri** denir.

Bazı süpstanların bakır, itrium, baryum ve oksijen kritik temperatürde (şekil 8) direncin değeri 10-25 Ω m düşmüştür...

Kritik sıcaklıkta elde edilen direnç, en iyi iletkenlerin dirençlerinden daha düşüktür. Böylelikle, bakır (Cu), itrium (Y), baryum (Ba) ve oksijenden (O) oluşan süpstanlar, kritik sıcaklıkta T (şekil 8 bak) 10^{-25} Sim direnç azalır, yani 10^{17} için bakırın direnç değerinden daha azdır.

Süperiletkenliğin en önemli uygulamasından biri süperiletken mıknatısların (şekil 9) yapılmasıdır ve normal mıknatısdan 10 kez daha şiddetli mıknatıs kuvvetlerine sahip olurlar....



Şekil 8. Yüksek temperatür süperiletken direncinin temperatür bağıllığı. Kritik temperatürü T_c yakınında 100 K bulunur.

Böyle süper mıknatıslar enerji birikimi için kullanılır.



Şekil 9. Metal yüzüğü süperiletken mıknatısın mıknatıs alanında uçar (mıknatıs kuvveti gravitasyon karşılar)



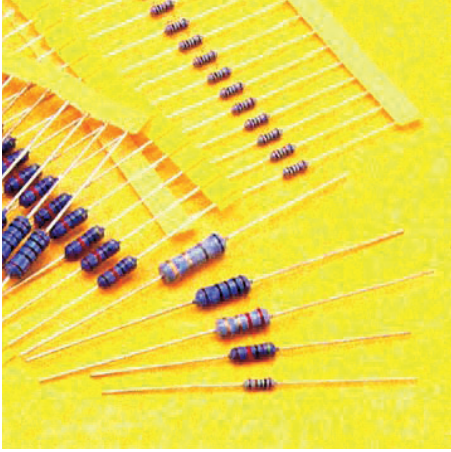
Şekil 10. MAGLEV treni mıknatıs levitasyonu (havaya yükselme) prensibi ile çalışır

Aşağıdaki kavramların anlamı verilsin:

- elektriksel direnç
- om kanunu
- içsel direnç
- özel elektriksel direnç
- direnç temperatür sabitesi
- süperiletkenlik
- yüksektemperatür süperiletkenleri
- kritik temperatür

15.5. DİRENÇLER

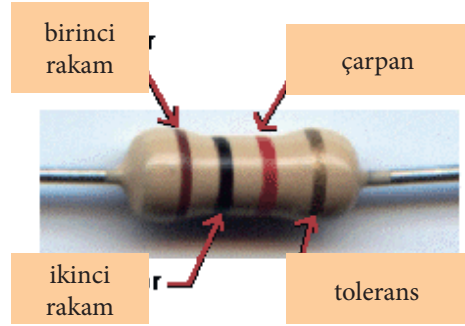
Dirençler elektrik ve elektronik devrelerin kısımlarını oluştururlar. Televizyonlarda, teyplerde, CD pleer'lerde. Bilgisayarların entegre devrelerinde yerleşmiş bulunurlar.



Şekil 1. Keramik dirençler

Pratikte en çok rastlanan keramik dirençlerdir (şeki 1) ve dayanıklı telli dirençler. Dirençler elektrik devrelerinde akımı ve gerilimi ayarlarlar. Bunların işaretlenmesi vücutlarında yapılı ve şeritten ibarettir. Birinci ve ikinci şirit direncin değerini verir, üçüncü şirit çarpanın derecesini verir ve dördüncü şirit tolerans sınıfını belirler. (şekil 2). Direncin değerini belirlemek için Şekil 2'de örnek verilmiştir.

Fizik laboratuvarlarında değişken kaydırıcı dirençler kullanılır (şekil 3). Böyle bir direnç yalıtılmış silinder üzerinde tel sargılarından oluşmuştur. Bu dirençlerin bağlanma yöntemi Şekil 4'te verilmiştir.

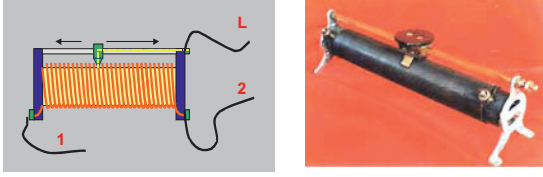


Şekil 2. Renkli şiritli keramiksel direnç.
Tablo 1'e göre bu direncin değeri
 $10 \times 10^2 \Omega \pm 5\%$

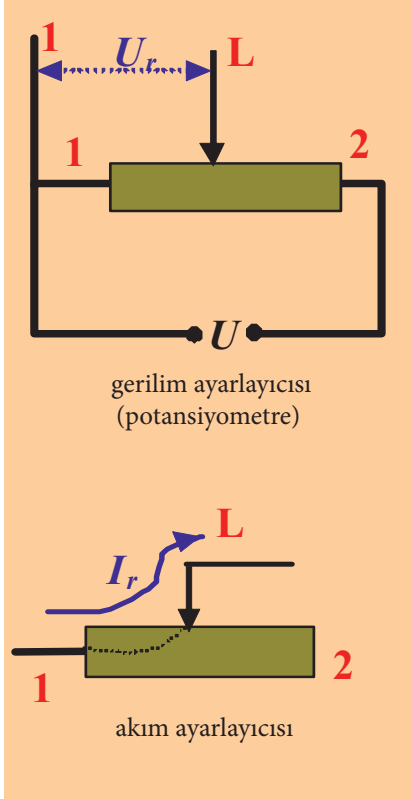
Tablo 1.

Renk	Renk	Çarpan	Tolerans
Siyah	0	10^0	
Kahverengi	1	10^1	
Kırmızı	2	10^2	
Portokal	3	10^3	
Sarı	4	10^4	
Yeşil	5	10^5	
Mavi	6	10^6	
Mor	7	10^7	
Külrengi	8	10^8	
Beyaz	9	10^9	
Altın		10^{-1}	5%
Gümüş		10^{-2}	10%
renksiz			20%

15. Elektrik akımı



Şekil 3. Kaydırıcı mekanizmalı değişken direnç

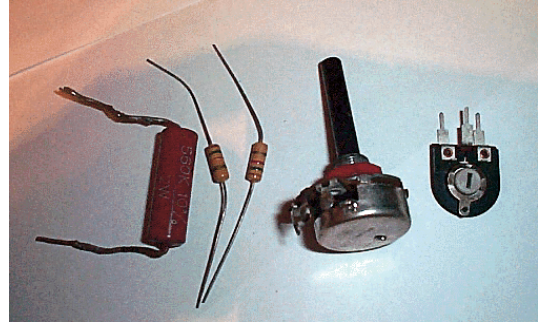


Şekil 4. Kaydırıcı mekanizmalı direnç, gerilim ayarlayıcısı ve akım ayarlayıcısı

Şekil 4'te kaydırıcı mekanizmalı direncin bağlanması şematik olarak verilmiştir. 1 ve 2 noktalarında sargılı telin uçları ve kaydırıcı mekanizması L sağa sola hareket edebilir.

Kaydırıcı mekanizmalı direnç **gerilim ayarlayıcısı** gibi kullanılır. Herhangi bir kaynaktan Am gerilimi herhangi bir elemanın devreye girmesi için Am gerilimi daha büyüktür. O zaman bu elemanı 1 ve 2 noktayla bağlıyoruz. Devrenin tüm gerilimini U ayarlamak için kaydırıcı mekanizması hareket ettirilir. Kaydırıcının pozisyonuna bağlı olarak 1 ve 2 noktalarını (U_r) ayarlayıcı gerilimle eşde edebiliriz. Bu şekilde gerilimin sadece bir bölümü 2 ve 1 noktasına düşer, fakat aynıısı kullanılmaz. Bu yüzden bu araca **potansiyometre** denir. Bunun uygulanması geniştir, örneğin televizyonlarda sesin ayarlanması yapılıır vb.

Kaydırıcı mekanizmalı direnç birde **akımın ayarlanmasında** da kullanılabilir. Bu durumda sadece bir taraf (örnek 1) ve kaydırıcı (2) bağlanır. Eğer kaydırıcı (2) durumu getirilirse akım en düşük değerdedir-Om Kanunu'na göre $I=U/R$. Kaydırıcıyı (1) duruma yaklaştırılırken akım yükselir.



Şekil 5. Dirençler ve potansiyometreler

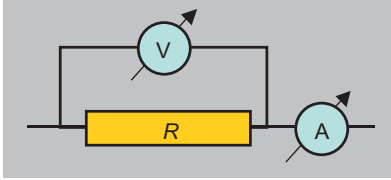
Aşağıdaki kavramların anlamları verilsin:

- renklerin okunması
- gerilim ayarlayıcısı (potansiyometre)
- akım ayarlayıcısı

15.6. KİRHOV KANUNLARI

Elektrik devrelerinde bilinmeyen büyüklükler bazı kanunlara uygun denklemlerin çözülmesiyle belirlenirler. Elektrik devrelerinde bu denklemlerin çözülmesinde **Om kanunu** kullanılır.

$$U = I \cdot R$$



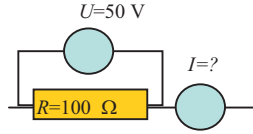
Şekil 1. Akım devresi için Om kanunu

Örnek 1. Direnci 100Ω olan kenarlarında 50 V ölçülmüştür. Bu dirençten akan akımın değeri ne kadar dır?

Çözüm.

Om kanunundan

$$I = \frac{U}{R} = \frac{50}{100} = 0,5 \text{ A}$$



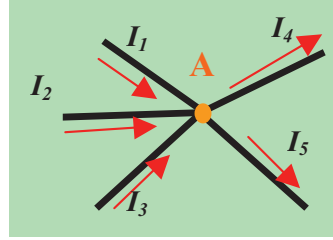
Birleşik elektrik devreleri çözmek için Kirhova kanunları gereklidir.

Birinci kirhov kanununa göre bir noktaya gelen akım şiddetlerin toplamı o noktadan çıkan akım şiddetleri toplamına eşittir.

Birinci Kirhov kanunu tanımı:

Bir düğüm noktasındaki giren ve çıkan akım şiddetlerin cebirsel toplamı sıfır dır.

Düğüm noktasına giren akımlar pozitif alınır ve düğümden çıkan akımlar ise negatif alınır.



Şekil 2. Akım dalarının düğüm noktası

Şekil 2'deki A düğüm noktası için şöyle yazılabilir:

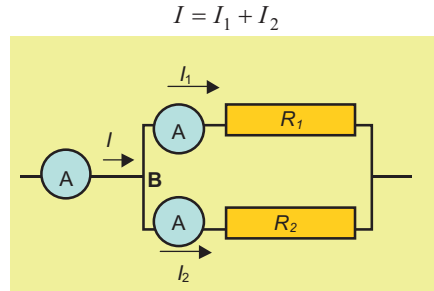
$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5 \text{ veya}$$

$$I_1 + I_2 + I_3 + (-I_4) + (-I_5) = 0$$

En geniş şekilde Birinci Kirhov kanunu şöyle yazılabilir:

$$\sum I = 0,$$

Birinci kirhov kanunu kolayca iki dallı bir basit devre ile gösterilir, çünkü onun iki düğüm noktası vardır, şekil 3'te gösterilmiştir. Ampermetreler yarımını ile akımlar ölçülür ve B noktası akımlar toplamı



Şekil 3. Birinci Kirhov kanunu (akım için kanun)

Örnek 2. R_1 direncin akım şiddeti hesaplınsın, eğer R_2 direncindeki akım şiddeti 0,5 A ve düğüm noktasından önceki akım $I=1,5$ A verilmişse.

Çözüm:

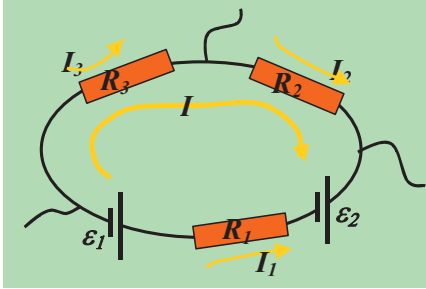
$$I = I_1 + I_2$$

$$I_1 = I - I_2 = 1,5 - 0,5 = 1 \text{ A}$$

İkinci kirhova kanunun önemi bir kaynağı olan basit devre ile gösterilir (şekil 4).

Devredeki ölçmelerin göstereceği devrenin elektromotor kuvveti devredeki dirençlerin kenarlarında gerilim düşüşlerin toplamına eşittir.

İkinci Kirhov kanunu Kapalı bir devrede kaynağın elektromotor kuvveti devredeki gerilim düşüşleri toplamına eşittir (şekil 5).



Şekil 5. Fazla sayıda dirençler akım devresi ve elektromotor kuvveti kaynağı

Şekil 5'te verilen devre için şöyle yazılabilir:

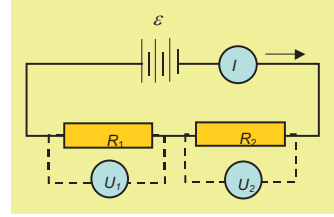
$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 = I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 R_3,$$

nerdeki I_1 , I_2 ve I_3 her dirençte akan akım dır.

İkinci kirhov kanunu geniş şekilde yazılabilir:

$$\sum \varepsilon = \sum I \cdot R$$

$$\varepsilon = U = U_1 + U_2 = I(R_1 + R_2).$$



Şekil 4. İkinci kirhov kanunu (gerilim için kanun)

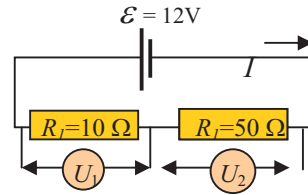
Örnek 3. Gerilim düşüşleri direnç kenarlarında belirlensin eğer $R_1 = 10 \Omega$, $R_2 = 50 \Omega$ ve kaynağın elektromotor kuvveti $\varepsilon = 12 \text{ V}$ verilmişse.

$$\mathcal{E} = U_1 + U_2 = I R_1 + I R_2 = I(R_1 + R_2)$$

$$I = \frac{\varepsilon}{(R_1 + R_2)} = \frac{12 \text{ V}}{(10 + 50) \text{ V/A}} = \frac{12}{60} \text{ A} = 0,2 \text{ A}$$

$$U_1 = I R_1 = 0,2 \cdot 10 = 2 \text{ V}$$

$$U_2 = I R_2 = 0,2 \cdot 50 = 10 \text{ V}$$

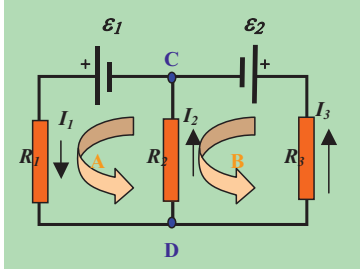


Daha birleşik devreleri çözmek ilk önce dirençler gruplandırılır ve sonra adım adım çözülür. Bu esnada birkaç noktaya dikkat edilir.

- Elektromotor kuvveti yönüne dikkat edilir (pozitif ve negatif kutubun hangisi olacak kendimiz karar veririz ve o karara uyarız). Örneğin elektromotor kuvvetin pozitif kutubu sol tarafta bulunursa pozitif olarak işaret ederiz ve diğerlerine negatif işareti veririz.

- Diğer yandan akımların pozitif ve negatif yönleri için kural kururuz. Saat akrelerin yönündeki akımlara pozitif yön veririz

Örnek 4. $R_1=2 \Omega$, R_2 ve R_3 ($R_2=R_3$)= 1Ω dirençlerden akan akımlar I_1 , I_2 ve I_3 belirlensin, eğer aşağıdaki denklemde elektromotorlar kuvvetleri bilirse ($\varepsilon_1=11$ V ve $\varepsilon_2=2$ V)



Birinci Kirhov kanunu uygulamakla D düğüm noktası için:

$$I_1 = I_2 + I_3.$$

İkinci Kirhov kanunun uygulanması ile A çemberi için:

$$\varepsilon_1 = I_1 R_1 + I_2 R_2,$$

ve B çemberi için:

$$-\varepsilon_2 = -I_2 R_2 + I_3 R_3$$

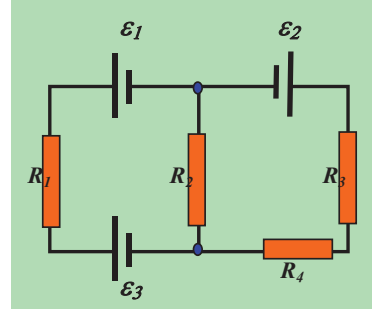
Denklemlerde uygun değişimlerden ve matematik işlemlerden sonra akımlar belirlenir. ($I_1=4$ A, $I_2=3$ A ve $I_3=1$ A)

Aşağıdaki kavramların anlamları verilsin:

- düğüm noktası
- Birinci Kirhov kanunu
- İkinci Kirhov kanunu

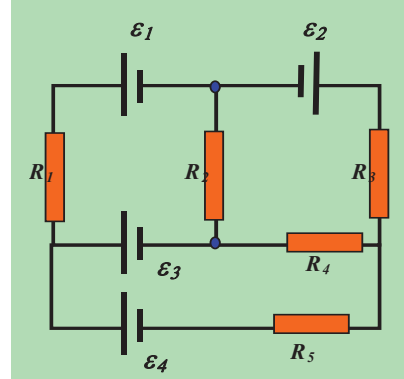
Sorular ve ödevler

1. $R_1=2\Omega$, $R_2 = R_3=R_4 =1\Omega$, dirençlerden akan akımlar belirlensin, aşağıdaki devrede elektromotorlar kuvvetleri verilmişse ($\varepsilon_1= \varepsilon_3=11$ V ve $\varepsilon_2=2$ V).



2. Elektronik devresinde akım dalı 4 diğer dala ayrılır, eğer yeni dallarda dirençler 1:2:3:4 davranırsa ozaman akımlar nasıldır?

3. Aşağıda verilen devrede dirençlerden geçen akımlar bulunsun, eğer tüm dirençlerin değerleri 5Ω ve tüm elektromotorlar kuvvetleri $1,5$ V değerleri verilmişse.



15. 7. DİRENÇLERİN BAĞLANMASI



Belki dikkatinizi çekmiştir odanızdaki ışık veren lambalardan biri yanınca yani bozulunca diğerleri çalışır. **Bunlar nasıl bağlı bulunurlar?**

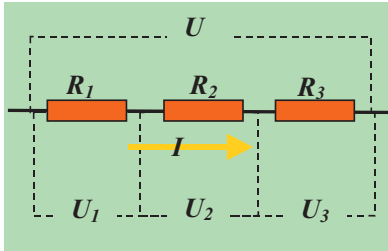
Lambalar paralel bir şekilde bağlıdır.

Evlerde her harcıyıcı birer direnç gibi kabul edilir. Lambalar volfram maddesinden yapılmıştır. Şofbenin ısıtıcısı da bir direnç gibi alınır. Ütü de bir direnç gibidir ve sayı.

Elektronikte dirençlerin ve harcıyıcıların aynı akım kaynağına bağlanmaları için ihtiyaç duyulur. Bundan dolayı dirençlerin veya harcıyıcıların seri veya paralel bağlanmaları ile toplam bir değer varılır.

Dirençlerin seri bağlanması

Dirençleri bir sırada bağlayalım
Şekil 1'de olduğu gibi



Şekil 1. Dirençlerin seri bağlanması

İkinci Kirhov kanununa göre dirençlerin seri bağlanma şeklindeki kenarları arasındaki gerilim düşüşü (U), tüm dirençlerin kenarlarındaki gerilim düşüşlerinin toplamına.

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

Eğer gerilimi ($U=IR$) akım ve direnç çarpımı olarak alırsak, İkinci Kirhov kanunu şöyle elde edilir:

$$IR = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

Dirençlerin seri bağlanması için iki yada üç direncin eşdeğer direnci şöyle yazılır:

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

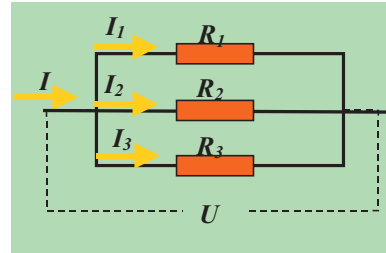
Genel olayda dirençlerin seri bağlanması için eşdeğer direnç ($R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$) şöyle yazılır:

$$R = \sum R_n$$

Seri bağlanan dirençlerin toplam direnci tüm dirençlerin toplamına eşittir.

Dirençlerin paralel bağlanması

Birkaç direncin paralel bağlanması şekil 2'de verilmiştir



Şekil 2. Dirençlerin paralel bağlanması

15. Elektrik akımı

Paralel bağlamada toplam direnç şöyle elde edilir: Birinci Kirhov kanununa göre bir daldaki akım ondan ayrılan dallardaki akımların toplamına eşittir.

$$I = I_1 + I_2 + I_3.$$

Om kanunu yardımı ile her akım ayrı ayrı yazıl-
sın:

$$I = \frac{U}{R} ; I_1 = \frac{U}{R_1} ; I_2 = \frac{U}{R_2} ; I_3 = \frac{U}{R_3}.$$

Akımlar ne zaman ki Birinci Kirhov kanununda
değiştirilirler, şöyle elde edilir:

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$$

veya gerilim U sağda ve solda sadeleştirilince

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3},$$

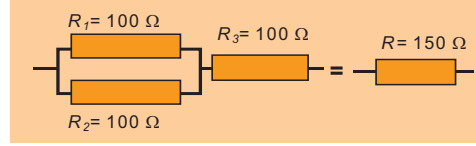
Genel şekilde dirençlerin (R_1, R_2, \dots, R_n) paralel
bağlanması için şöyle yazılır:

$$\frac{1}{R} = \sum \frac{1}{R_n}$$

Dirençlerin paralel bağlanma şeklinde eşdeğer
direnç için evrik değeri tüm dirençlerin evrik de-
ğerleri toplamına eşittir.

*Eşdeğer direnç R paralel bağlamada her zaman her
ayrı dirençten (R_1, R_2, \dots, R_n) küçüktür.*

Örnek 1. Aşağıdaki resim için eşdeğer direnç bu-
lunsun.

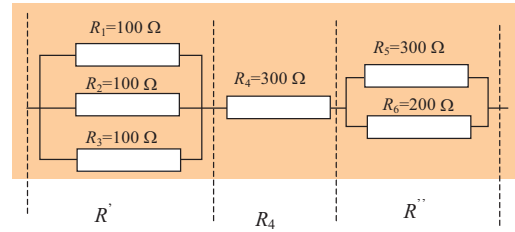


$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \text{ 'den elde edilir.}$$

$$R' = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 50 \Omega.$$

$$R = R' + R_3 = 50 + 100 = 150 \Omega.$$

Örnek 2. Aşağıdaki şekilde verildiği gibi 6 diren-
cin eşdeğer direnci hesaplınsın:



Bu birleşik devreyi üç kısma ayırırız. Her kısım
için toplam direnç bulunur, R', R_4, R'' ve bunlar
birbiri ile seri şekilde bağlıdır:

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{100} + \frac{1}{100} + \frac{1}{100} = \frac{3}{100}$$

Buradan R'

$$R' = 33,3 \Omega$$

Şimdi R'' direncini belirleyelim:

$$R'' = \frac{R_5 \cdot R_6}{R_5 + R_6} = \frac{300 \cdot 200}{300 + 200} = \frac{60000}{500} = 120 \Omega$$

En sonunda seri bağlanmanın toplam direnci şöyledir:

$$R = R' + R_4 + R'' = 33,3 + 300 + 120 = 453,3 \Omega .$$

Örnek 3. Canlı varlıklardan.

Elektrikli yılan balığı (şekil 3) Güney Amerika ırmaqlarında yaşıyor ve avını ustalıklı aldatır, kısa vadeli 1 A elektrik akımı ile avını öldürür. O esnada yılan balığı birkaç yüzlük voltlu gerilim kullanır ve onu kafataı ve kuyruğu arasındaki kısmıyla oluşturur. Böyle bir balık bu kadar gerilim nasıl üretebilir? Böyle bir akım kendisine nasıl zara vermez.



Şekil 3. Elektriksel yılan balığı

Biyologlara göre yılan balığın vücudunda yüzlerce biyolojik hücre bulunur ve bunlardan herbiri 0,15 V gerilim üretirir. Bunlar 140 paralel dizisinde yerleşmiş bulunurlar (şekil 4). Her dizide 5000 hücre bulunur ve toplam gerilim

$$U = 5000 \cdot 0,15 \text{ V} = 750 \text{ V}$$

Her hücrenin kendi iç direnci vardır $r = 0,25 \Omega$, toplam direnç her dizide bu dirençlerin toplamına eşittir:



Şekil 4. Elektrik yılan balığın elektrikselsel modeli

Böyle 140 dizi paralel bağlıdırlar, toplam elektrik direnci (R_v) tüm açın şöyle olacak:

$$R = 5000 \cdot 0,25 \Omega = 1250 \Omega$$

Suyun direnci 800Ω olduğuna göre gözününe alınırsa, suda akan akım şiddeti yılan balığından üretilen

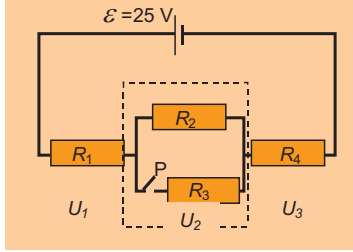
$$\frac{1}{R_v} = \frac{1}{1250 \Omega} + \dots + \frac{1}{1250 \Omega} = 140 \cdot \frac{1}{1250 \Omega}$$

$$R_v = 8,93 \Omega$$

140 birleşen dizi (seri) 0,93 A dallara ayrılır 140 paralel dala, böylece her hücredeki akım.

$$I_s = \frac{I}{140} = \frac{0,93 \text{ A}}{140} = 0,0066 \text{ A} = 6,6 \text{ mA}$$

Örnek 4. Şekilde verildiği devredeki akan akım şiddeti hesaplınsın: a) kapalı anahtar; b) açık anahtar P.



a) kapalı anahtar esnasında:

$$R' = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = \frac{100 \cdot 100}{100 + 100} = 50 \Omega$$

$$R = R_1 + R_4 + R' = 100 + 100 + 50 = 250 \Omega$$

Elektromotor kuvveti dalındaki akım:

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{25 \text{ V}}{250 \text{ V/A}} = 0,1 \text{ A}$$

b) açık anahtar esnasında eşdeğer direnç

$$R = R_1 + R_3 + R_4 = 100 + 100 + 100 = 300 \Omega$$

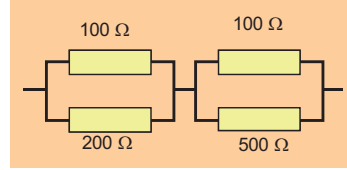
$$I = \frac{E}{R} = \frac{25 \text{ V}}{300 \text{ V/A}} = 0,083 \text{ A}$$

Aşağıdaki kavramların anlamları verilsin:

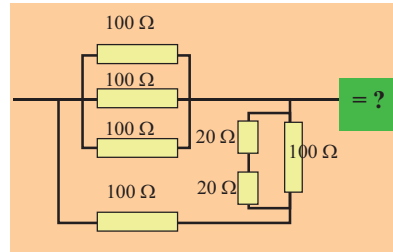
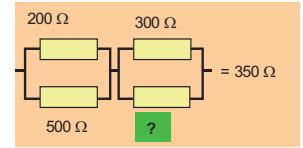
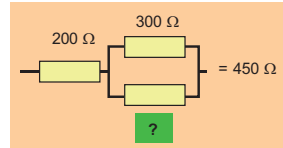
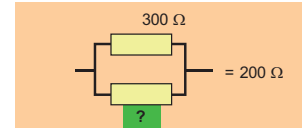
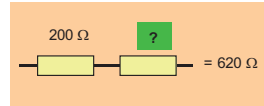
- dirençlerin seri bağlanması
- dirençlerin paralel bağlanması
- Elektrik yılan balığı

Sorular ve ödevler

1. Toplam direnç nekadardır eğer seri şekilde iki 100 Ω, bir 200 Ω ve üç 300 Ω bağlıysalar?
2. Nekarad direnç şekilde gibi bağlanan dört direnci değiştirebilir?

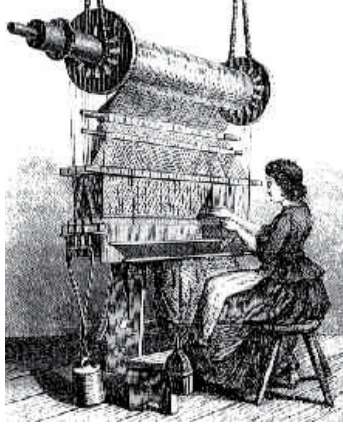


3. Dört direnci 1 Ω değerinde her iki türlü bağlayın ve eşdeğer direnç her bağlanma şekli için hesaplınsın.
4. Bilinmeyen dirençler bulunsun eğer toplam direnç verilmişse?



15.8. ELEKTRİK AKIMIN İŞ VE GÜCÜ

Elektrik akımın akması esnasında elektriksel yükleri hareket ederler, böylece iş yaparlar. Akım mekaniksel hareket neden olabilir ve o esnada mekanik veya diğer iş olabilir. İnsan el işini değiştirerek elektriksel makineler hızlı gelişmeyi sağladı.



Daha önceden öğrendiğimiz gibi elektrik gerilimi bir elektrik miktarın bir noktadan diğer bir noktaya götürülmesi için yapılan işe eşitti. Buna benzer, iletkende iki nokta arasındaki potansiyel farkında U elektriksel miktarın Q taşınması için yapılan iş, şöyle verilir:

$$A = UQ,$$

Demek ki akım iş yapar. Diğer taraftan akım şiddeti elektriksel miktarın (Q) zaman biriminde (t) iletkenin geçmesine denirdi,

$$I = \frac{Q}{t}.$$

Bunu önceki denklemde değiştirmekle, iş A şöyle elde edilir:

$$A = U \cdot I \cdot t.$$

Elektrik akımın yaptığı iş gerilimin, akımın ve akma zamanının çarpımına eşittir.

Diğer sözlerle elektrik akımı dirençten geçerken iş yapar o esnada elektrik enerjisi azalır $A = UI t$ değeri kadar. Bu enerji kristal kafezin iç enerjisine dönüşür. Elektrik işin ölçü birimi Jul (1 J) dır.

Örnek 1.

Bir elektromotor $U = 220$ V gerilim kaynağına bağlıdır. Ondan geçen akım şiddeti $I = 2$ A dir. Bu motor ne kadar iş 6 dakikada yapar?

$$A = U I t = 220 \cdot 2 \cdot 360 = 158\,400 \text{ J}$$

$$A = 158,4 \text{ kJ}$$

Elektrik akım enerjisini hergünkü yaşamda çoğu makinelerin döndürülmesinde rastlarız. Elektrik akımın iş yapma kabiliyetine **elektrik enerjisi** denir.

Zaman biriminde elektrik akımın yapabileceği işe elektriksel gücü denir.

$$P = \frac{A}{t}.$$

Eğer bu denklemde iş denklemini değiştirirsek

15. Elektrik akımı

O zaman gücü şu şekilde elde ederiz:

$$P = \frac{A}{t} = \frac{U \cdot Q}{t} = \frac{U \cdot I \cdot t}{t}$$

Kısaltmakla

$$P = U \cdot I$$

Elektriksel güç gerilim ve akımın çarpımına eşittir.

Elektriksel güç mekaniksel güç gibidir ölçü birimi Vat (1 W) dır. Elektriksel güç tanımına göre

$$1 \text{ W} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A.}$$

Bir harcamacı 1 V gerilime bağlı iken ondan 1 A akım geçmesine 1 W güce sahiptir.

Bundan mada diğer daha büyük birimler kullanılır:

İsim ve simge	Temel ile bağlantısı
1 kW (kilovat)	1 kW= 1 000 W
1 MW (megavat)	1 MW= 1 000 000 W
1 GW (gigavat)	1 GW= 1 000 000 000 W

Pratikte 1 W küçük birimdir, bundan dolayı ondan büyükleri kullanılır. Elektrik enerjisi birimi Jul (1 J dür) fakat buna bir vat saniye (Ws) denilebilir. Çünkü 1 J = 1 W1s.

$$1 \text{ J} = 1 \text{ W} \cdot 1 \text{ A}$$

Eğer güç kilovat (kW) verilirse zaman ise saatler (h) ile verilirse, elektrik enerjisi için uygun birim (kWh) elde edilir ve

$$1 \text{ kWh} = 1 \text{ kW} \cdot 1 \text{ h} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3\,600\,000 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ.}$$

Evlerdeki elektrik enerjisini ölçmek için kullanılan enstrümana **elektrik sayacı** denir. Onda harcanan elektrik enerjisi için sayaç bulunur.

Her evin aracında onungücü yazılı bulunur ve her saniyede harcanan elektrik enerjisi bildirir. *Akımın sıcaklık etkisi sıcaklık araçları için uygundur fakat elektriksel araçları için zararlı bir olayı oluşturur.*



Şekil 1. Elektrik sayacı (akım ölççeği) 2943,1 kWh gösterir

Akım elektrik aracın sargılarını ıstır ve burada enerji kaybı olur. Sıcaklık etkisinden dolayı elektrik aracı hasar görebilir.

Eğer elektrik akımı iletkeninden geçerse ozaman Om kanunu $U=IR$, güç denkleminde değiştirilir ve üç farklı şekli elde edilir.

$P = U \cdot I$	$P = \frac{U^2}{R}$	$P = R \cdot I^2$
-----------------	---------------------	-------------------

15. Elektrik akımı

Elektrik akımı evimize şehrin elektrik şebekesinden gelir. Bundan sonra bizler elektrik akımını fazdalı enerjiye dönüştüren makineleri çalıştırırız.

Örnek 2. Mutfak için bir fanın gücü nekadardır eğer ki 220 V geriliminde çalışırsa ve ondan 0,5 A akım akarsa. 5 saat zaman süresinde nekadardır enerji harcar?

$$P = U \cdot I = 0,5 \text{ A} \cdot 220 \text{ V}$$

$$P = 110 \text{ W}$$

$$A = P \cdot t = 110 \cdot 5 \cdot 60 \cdot 60 = 198 \text{ kJ}$$

Aşağıdaki kavramların anlamı verilsin:

- elektrik akım işi
- elektrik enerjisi
- Jul
- Güç
- elektrik sayacı
- vat
- kilovatsaat

Sorular ve ödevler

1. Bir ailenin bir günde kullandığı araçlar aşağıda verilmiştir. Her araç için kullanım güç ve zamanı tabloda verilmiştir. Bu aileye harcanan elektrik enerji miktarı nekadardır hesaplınsın eğer bir kilovatsaat 1,4 denar değeri varsa?

		
60 W (5 h)	120 W (3 h)	600 W (0.25 h)
0,3 kWh	0.36 kWh	0,15 kWh
		
4000 W (2 h)	1200 W (2 h)	
8 kWh	2,4 kWh	

Toplam enerji tüm araçların enerjiler toplamına eşittir ve 11,21 kWh değerinde dir.

Eğer bu değer para değeri ile çarpılırsa

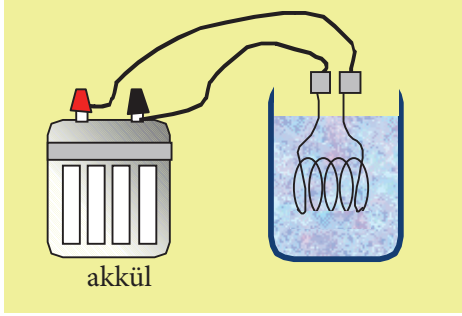
$$11,21 \text{ kWh} \cdot 1,4 \text{ denar/kWh} = 15,6 \text{ denar}$$

2. Akül 12 V değerinde bir harcıyıcıya 2 Ω bağlı bulunur. Akkülden 10 dakika zaman süresinde enerji harcanır.

$$A = Pt = \frac{U^2}{R} t = \frac{12^2 \text{ V}^2}{2 \Omega} 600 \text{ s} = 43 200 \text{ J} = 43,2 \text{ kJ}$$

15.9. ELEKTRİK ENERJİNİN SICAĞIĞA DÖNÜŞMESİ

Büyük dirençli iletkenen elektrik akımın akması sağlandığı zaman, kısa zaman süresinde ısınacaktır. Eğer akım şiddetli ise iletken kızarır yada erir. Burada elektrik enerjisi iç enerjisine dönüşmüştür sıcaklık vermektir.



Şekil 1. Elektrik şöfbeni prensibi

Eğer büyük dirençli iletken tel suda batırılır ve ondan elektrik akımın akması sağlanırsa, iletken telden serbeslenen sıcaklık su tarafından götürülür (şekil 1). İletken telden geçen tüm elektrik akımı sıcaklığa dönüşür (W). Bu şöfben prensibini oluşturur

$$A=W=I^2R \cdot t$$

Yukarıdaki denklem Jul kanunu yada **Jul-Lens kanunu bilinen oluşturur.**

Sıcaklık miktarı iletkenen akan akımın karesi, direnci ve ondan akım zaman çarpımı ile doğruorantılıdır.

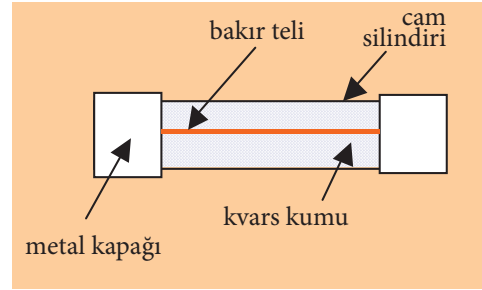
Eğer iş denklemi ve güç denklemi ele alınırsa ve şöyle bir durum elde edilir

$$P = U \cdot I = \frac{U^2}{R} = I^2 R$$

Serbeslenen sıcaklık miktarı için şöyle Jul kanun şekilleri elde edilir:

$W = P \cdot t$	$W = U \cdot I \cdot t$	$W = \frac{U^2}{R} \cdot t$	$W = I^2 R \cdot t$
-----------------	-------------------------	-----------------------------	---------------------

Isıtıcı araçlarından mada Jul kanunu **sigortalar-da** da kullanılır, nerdeki elektrik devrelerinde kısa devre ihtimali varsa orada da kullanılırlar. Sigortalar ince bir tel ile yapılmış devreye seri şekilde bağlanırlar (şekil 2).



Şekil 2. Sigortanın yapısı

İç kısmı kvars kumu ile doludur ve sıcaklığı götürür. Elektrik sigortasının çalışma prensibi şudur: daha kuvvetli akım geçerse, telden yüksek miktarda sıcaklık serbestlenecek ve telin erime olayı gerçekleşecek. Tel eriyince akım devresinde akım duracaktır.



Şekil 3. Sıcaklık sigortaları

Sigortalar akımın farklı şiddetleri için yapılmaktadırlar. Sigortalar yandıkları zaman uygun ve benzer değiştirilmesi gerekir. Eğer eriyen tel yerine daha kalın tel kullanılırsa büyük zararlara sebep olabilir.

Sigortalar akımın farklı şiddetleri için ve farklı bakar telciklerin genişliğine göre yapılmaktadırlar. Sigortalar, kullanacakları tüketicilere (aparatlara) uygun olarak yapılmaktadırlar. Sigortalar yandıkları zaman uygun ve benzer değiştirilmesi gerekir. Eğer eriyen tel yerine daha kalın tel kullanılırsa büyük zararlara sebep olabilir. Bu durumlarda, daha daha yüksek şiddeti telden geçerse, sigorta patlamaz-yanmaz, böylelikle şiddet elektrik cihazına kadar gelerek cihazı bozar.

Örnek 1.

Bir televizyonun gücü 120 w değerinde dir. Hangi sigorta kullanılması uygundur eğer 0,5 A, 1 A ve 3 A değerlerinde sigortalar varsa.

$$I = \frac{P}{U} = \frac{120}{220} = 0,55 \text{ A}$$

En uygun olanı 1 A sigorta dır.

Evlerin elektrik sebekesi için sigortalardan (şekil 3) mada elektrik araçları için sigortalar vardır.

Uygun sigorta için seçim nasıl yapılmalıdır?

İlk önce araçtan geçen akım şiddeti hesaplanır onun etiketinden gücü öğrenilir ve gerilim ile bölünür $U=220 \text{ V}$, denklem $I=P/U$ akım hesaplanması için.

Buna göre ekımın değeri de etiketinde verildiyse ona uygun sigorta seçilir.

Şimdi kullanılan sigortalar otomatiktir yanmaz sadece otomatik kesilir.

Örnek 2.

Hürrem suyu ısıtmak için özel elektrik ısıtıcısı kullanır, ısıtıcı 0,2 litre suyu çay yapmak için ısıtır. Suyun temperaturü oda sıcaklığında (20°C) dır, ve (100°C) temperaturde ısıtılması gerekir ve aniden ısıtıcıyı kaptacak. Hürrem günde iki çay içerse bir yılda harcanan enerji nekadardır? Suyun şzel sıcaklık kapasitesi $4200 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ ve bir kilovatsaat 1,4 denar değerinde dir.

Çayın yıllık hacmi

$$365 \cdot 2 \cdot 0,2 = 146 \text{ litre}$$

Çayın kütlesi yaklaşık 146 kg.

146 kg suyu ısıtmak için 20°C den 100°C (80°C), gereken sıcaklık

$$W = 4200 \text{ J/kg}\cdot\text{K} \cdot 146 \text{ kg} \cdot 80 \text{ K} = 49\,056\,000 \text{ J} = 49,056 \text{ MJ}$$

Bir kilovatsaat fiyatı 1,4 denar dır.

Eğer alınırsa:

$$1\text{kWh} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3\,600\,000 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ}$$

ve 1,4 denar, ozaman 1MJ elektrik enerjinin fiyatı 0,39 denar/MJ.

Toplam harcanan 4,032 MJ, yıllık harcama:

$$49,056 \text{ MJ} \cdot 0,39 \text{ den/MJ} = 19 \text{ denar}$$

Aşağıdaki kavramları açıklayın:

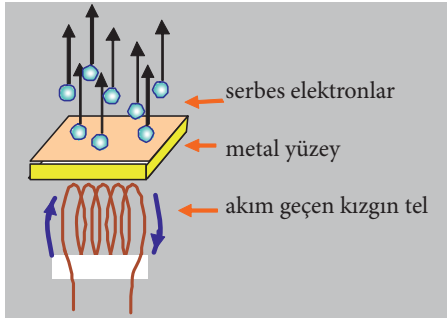
- Jul-Lens kanunu
- sigorta

15.10. TERMOELEKTRONİK YAYIMI VE UYGULANMASI

Amerikan bilim adamı Tomas Edison ışık veren lambanın kızgın ince kılı yakınında elektrikleşmiş çubuk getirilince hareket eder. Daha sonraları ise lambanın kızgın teli serbes elektronlar yaydığı öğrenilmiştir.

Elektronların metal yüzeyinden sıcaklık etkisinden serbeslenmeleri olayına **termoelektronik yayımı** denir.

Elektronların metallere serbeslenmeleri çeşitli yollardan yapılabilir. Metal ışık altına tutularak elektronun metal yüzeyine çıkması olayına fotoelektron yayımı denir. Eğer hızlandırılmış elektronlarla çarpışmaları yapılarak metal yüzeyine çıkmaları olayına sekonder elektron yayımı denir. Yayımın özü elektronların metal yüzeyine çıkmaları onlara yeterli enerji vererek metaldaki bağdan kurtularak onu terkederler.

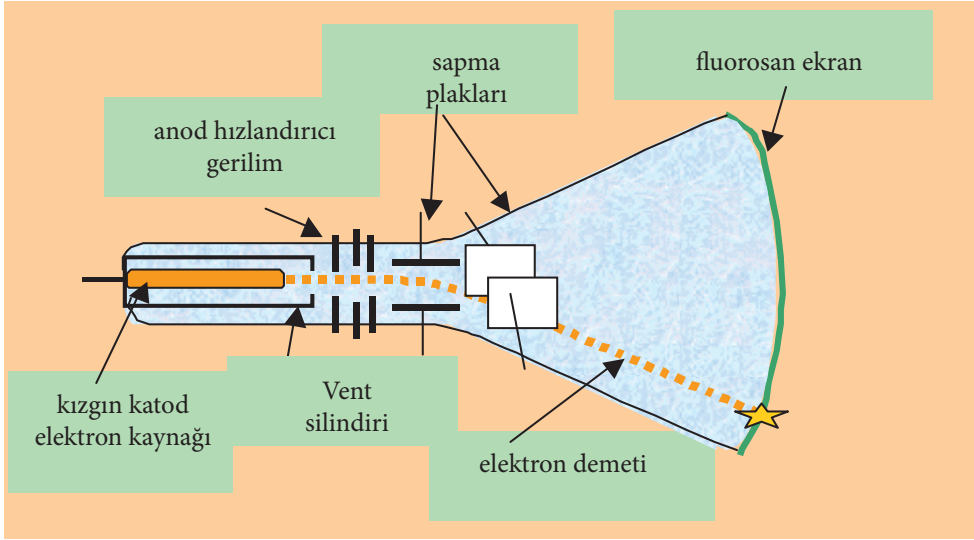


Şekil 1. Metal yüzeyden elektronların yayımı

Yüzeyi A olan metal plak (katod denilen) ısıtıcı tel yardımı ile ısıtılır (şekil 1). O esnada sıcaklık metaldeki serbes elektronlara taşanır. Elektrota getirilen sıcaklık enerji miktarı yeterli büyük olacak metaldeki bağı yenmek için (**elektronun çıkmak için işi**) ve onu terketmesi için. Bu elektronlar elektrik alanında bulunursalar yönlü hareket ederler, elektronların çıkmak için işi sabittir ve her metal için farklıdır.

Serbeslenecek elektronlar sayısı kime bağlı olduğunu bilmek önemlidir çünkü akım bu termoelektronlardan yönetilebilir. Bu en fazla metal yüzeyi ısıldığı temperatüre bağlıdır, demek ki yayım ısıtıcı akım şiddetine bağlıdır. Yayımlanan elektronlar sayısı ise metal yüzeyine S ve metalden çıkma işine bağlıdır.

Çok sayıda elektron araçları termoelektron yayımı ile çalışırlar. Onlar metal elektrodlardan yapılmışlardır (katod, anod ve diğer yardımcı elektrodlar) ve havası çıkarılan cam balonu içine yerleşmiş bulunurlar. Buna elektrik akımı salmakla ısınır ve termoelektron yayımı yapılır. Katod ve önünde bulunan silindirik elektroda elektronik tüfek denir. Pozitif anod elektronları anoda hareket etmelerini zorlar. Vakum ise anoda hareketleri esnasında daha az sayıda çarpışmalar olmasını sağlar.



Şekil 2. Osiloskop katod lambasının kesiti

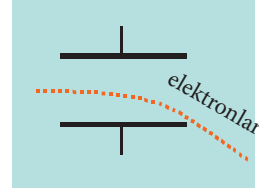
Katod lambası

Her televizyonun katod lambası vardır, bilgisayar monitörlerin, osiloskopun ve ölçü araçlarının. Diğer vakum lambaları bulunur fakat onlar hergünkü kullanımda rastlanmazlar.

Osiloskop

Osiloskopun yapısı şekil 2'de verilmiştir. Elektrodlar kızgın katottan Vent silindirindeki (W) gerilim ile yönlendirilirler katod (K) ile anod (A) arasında. Ekran ise öyledir elektron ona çarptığı zaman ışık yapar. Böyle ekran fluorosan ekran denir.

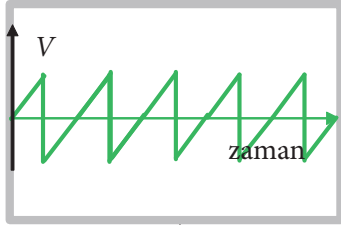
Elektron demetinin ekrana düşmesi ile ekran ışık verir. Ekran yolunda elektron demeti saptırma plakaları arasında geçer. Bunlar yatay ve düşey plaklardır (şekil 2a).



Şekil 2a. Yatay sapma plakaları yukarı aşağı (düşey) hareket ettirmek için

Düşey plaklara getirilen gerilim yatay hareket ettirmek için (şekil 2b).

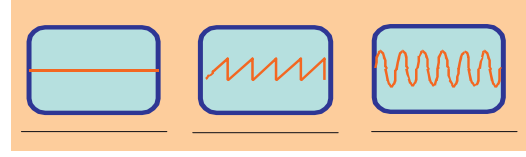
15. Elektrik akımı



Şekil 2b. Saptırma plakların testere şekli gerilimi

Katod lambasının çalışma prensibi (şekil 4), osiloskopa benzer. Buradaki fark saptırma sisteminde dir öyleki ikişer çift plaklar kullanılır. Plaklardan geçen akım mıknatıs alanı oluşturur ve elektron demetini saptırır.

Öyle gerilim elektron demetini sağa sola hareket ettirir. Yatay plaklara getirilen gerilim yazı yazacak, düşey plaklara getirilen gerilim eğri çizer. Şekil 3b. Araştırılan gerilimin zaman değişimi verşmiştir. Şekil 3b. Osiloskop fotoğrafı gösterilmiştir. Katod lambasının çalışma prensibi (şekil 4), osiloskopa benzer. Buradaki fark saptırma sisteminde dir öyleki ikişer çift plaklar kullanılır. Plaklardan geçen akım mıknatıs alanı oluşturur ve elektron demetini saptırır (Biraz sonra bu konuya değineceğiz). Öyle gerilim elektron demetini sağa sola ve tersine hareket ettirir. Yatay plaklara getirilen gerilim yazı yazacak, düşey plaklara getirilen gerilim eğri çizer. Şekil 3b. Araştırılan gerilimin zaman değişimi verşmiştir. Şekil 3b. Osiloskop fotoğrafı gösterilmiştir.



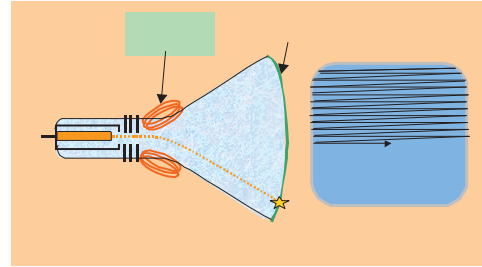
Şekil 3b. Osiloskopta zaman değişimi doğru, testere ve sinusoidal



Şekil 3b. Osiloskop



Şekil 4. Televizyon aracın ve bilgisayarın katod lambası

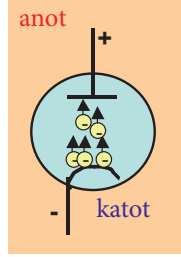


Şekil 5. Katod lambasında mıknatıs saptırmalı plaklar

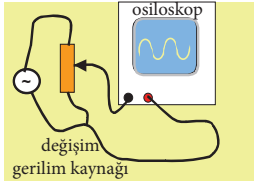
İki çift saptırma plakı ile (şekil 5) elektron demetinin aşağı yukarı ve sağa sola hareketleri sağlanmıştır. Böylece tüm ekran adreslenebilir öyle bir hızla ki göz bile farkedemz. Venelt silindrindeki gerilim yardımı ile elektron demetinin yoğunluğu değiştirilir öyleki resim formasını alır.

Vakum diyodu

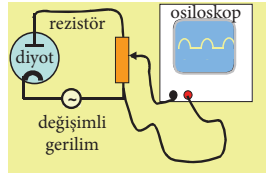
Vakum diyodu havası çıkarılmış cam balonunda iki elektrod yerleşerek oluşmaktadır, elektrodlerden anot ve katod (şekil 6). Katod ısıtılır ve elektron serbesletirir. Anoda pozitif gerilim getirilir ve elektronlar ona doğru hareket ederler. Elektronlar anoda çarptıkları zaman akım akmağa başlıyor. Anod ve katod arasında değişen gerilim bağlanırsa (şekil 7a), ozaman elektronlar anodun sadece pozitif olduğu zaman hareket ederler (şekil 7b).



Şekil 6. Diyot



Şekil 7a. Değişen gerilimin zaman değişimi, osiloskopta gösterilen

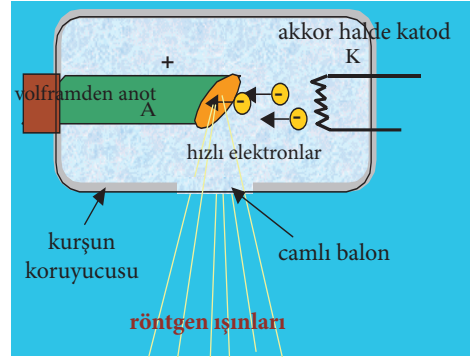


Şekil 7b. Vakumlu diyota tekyönlü gerilim, osiloskopta gösterilen

Pozitif yarıperiyod esnasında anod pozitif olunca elektronlar ona ulaşır. Anod negatif olunca ona elektronlar ulaşmaz. Bundan dolayı vakumlu diyod değişken gerilimin doğrultucu gibi uygulanır gerilimi tek yölye dönüştürür.

Röntgen lambası

Röntgen lambası tıpta kullanılır ve vakum diyoduyla benzerdir.



Şekil 8. Röntgen lambası

Onda anot gerilimi çok büyüktür, birkaç bin volt bundan dolayı elektronlar akkor katodten yayılan anode büyük hızla çarparlar (şekil 8). Anoda vurma esnasında aniden dururlar ve enerji serbesletirler röntgen ışınları şeklinde ve insan vücudunu serbes geçerler. Tıpta kullanılır (şekil 9).



Şekil 9. Röntgen lambasının tıpta kullanılışı: akciğerlerin kaydı ve akciğerde kanser resmi

Aşağıdaki kavramların anlamı verilsin

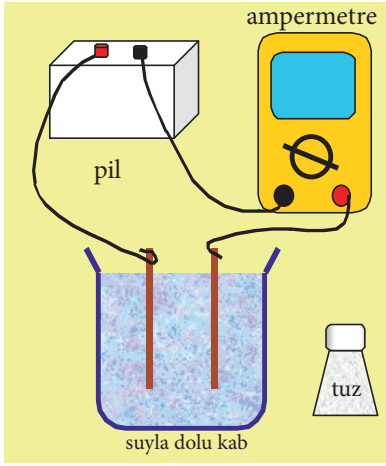
- termoelektron yayımı
- elektronun çıkma içi işi
- osiloskop
- sapma plakları ve tester gerilimi
- katod lambası Tv ve bilgisayar için
- vakum diyodu
- röntgen lambası

15. 11. SIVILARDA AKIM – ELEKTROLİTLER

Organizmamızda tüm fiyolojik süreçleri vücudumuzdaki sıvılar arcılığı ile yapılır.

Saf sıvılar kötü elektrik akım iletkenleri dirler. **Bundan dolayı asitlerle, bazlarla ve tuzlarla karışımları olur ve elektrik akım iletkenleri olurlar. Bu tür iletkenlere elektrolitler denir.**

Bunun kanıtlanması şöyle bir deney ile yapılır: bir kabda damıtılmış su konulur. Suda iki elektrod batırılır, elektrodların uçları gerilim ve ampermetreye seri şekilde bağlanır.



Şekil 1. Saf su akımı iletmez

Kaynak bağlandığı zaman ampermetrede akım değeri sıfır olduğu gösterilir, demek ki saf su akımı iletmez. Eğer suya biraz sirke karıştırmış olursak ozaman ampermetre akımı gösterecek.

Elektrolitlerde akım taşıyıcıları pozitif ve negatif elektrikleşen atomlar, iyonlar gibi bilinen.

Metallerde elektronlardır, pozitif iyonlar ise hareket etmez.

Metallerden farklı akımın iletilmesi süpstansta bazı kimyasal değişimlere sebep olur, elektrolitlerde akımın akmasıyla kimyasal değişimleri takip eder ve kütleinin taşınması elektrolitteki elektrodalara yapılır.

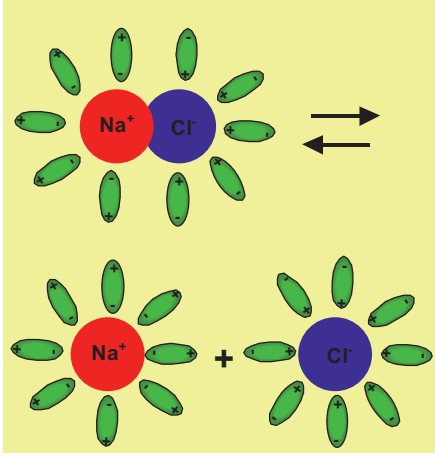
Bütün çözeltilerin iletkenler olmadığını vurguluyoruz. Örneğin, şekel çözeltisi su içerisinde iletken değildir.

Elektrolit ayrışması

Böyle sıvıların akımı iletmesi nedeni moleküllerin iyonlara ayrılmasıdır, buna da **elektrolit ayrışması** olayı denir. Aynı zamanda çözücü moleküllerin rolü çok önemlidir. Bu moleküllerin dipol özelliği vardır, bütünlükle neutral olmalarına rağmen pozitif ve negatif kenarları vardır. Suyun küçük kutup molekülleri, belirli iyonların elektrolitinden molekülleri ayırma rolü vardır.

Örneğin, yemek tuzu (NaCl) molekülünü alalım. Kendisi bir dipoldur. Onun etrafında suyun kutuplu molekülleri toplanır ve böylelikle olumsuz tarafları (Na⁺) molekülünün olumlu tarafına çevrilirler, olumlu tarafları ise (Cl⁻)'in olumsuz tarafına çevrilirler. Bu olay (şekil 2)'de verilmiştir. Suyun yönlendirilmiş molekülleri elektrostatik çekme kuvvetlerin zayıflamasına yardımcı olur.

NaCl birleşimi yapı kısımlarına ayrılabilir Na⁺ ve Cl⁻.

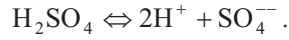


Şekil 2. Suyun dipol molekülleri etkisinden NaCl ayrışması

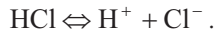
Şekil 2'de birbirine ters yönlü iki ok görülür. Bu demektir ki süreç iki yönde gelişir, ayrılan molekül belli iyonlarda tekrar birleşirler. Ayrışma ve tekrar birleşme aynı karışımda gelişir.

Ayrışma reaksiyonları bazı özel asitlerin, bazların ve tuzların örnekleri

Sulfurik asiti:



Hidroklorik asiti:



Natrium hidroksid:



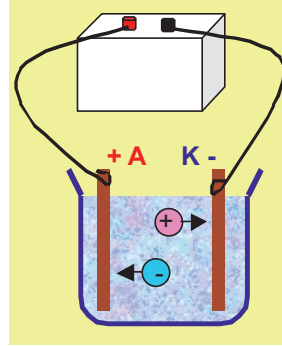
Tuzl:



Asiylerde ayrışma esnasında her zaman pozitif hidrojen iyonları elde edilir, bazlarda negatif OH iyonları.

Elektroliz

Bir elektrolitte iki metal yada karbonlu elektrodlar konulduğu zaman ve akım kaynağına bağlanırsalar, ozaman karışımda elektrik alanı oluşur ve ayrışma ile oluşan iyonlar hareket etmeğe başlarlar, pozitif iyonlar (katyonlar) negatif elektrodta (katoda) ve negatif iyonlar (anyonlar) pozitif elektrodta (anoda), şeki 3'te gösterildiği gibi.



Şekil 3. İyonları hareketi uygun elektrodla

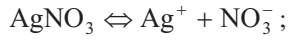
Bir valanslı pozitif iyon katoda ulaşır ondan bir elektron alır ve nötralleşir. Akım devresinin dış kısmında akım akar çünkü katoda eksik anoda ise fazla elektronlar bulunur. İyonların taşınması ve takip eden kimyasal reaksiyonlar elektrolit yapısında kimyasal değişiklikler oluşur.

Bu olayın geniş çapta önemi metal endüstrisinde görülür. Elektroliz yardımı ile gümüş kaplama, altın kaplama, bakır kaplama ve sayı. Bu yöntem ile çok sayıda metallerin elde edilmesi için kullanılır.

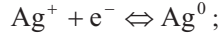
Örnek 1. Gümüş kaplama

AgNO₃ karışımı hazırlanır. Pozitif elektrod (anot) olarak gümüş plaka bağlanır. Negatif kutup pilin katoda bağlanır yada gümüş kaplama yapmak istediğimiz cisime (şekil 4). Sonra aşağıdaki elektrolit reaksiyonları gelişir:

Molekül gümüşnitratın ayrılır:



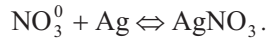
Negatif elektroda pozitif iyonlar gümüşten gelir ve neutralleşir. Onlar elektrodta kalırlar ve kaşık üzerinde ince düzgün gümüş katman oluşur:



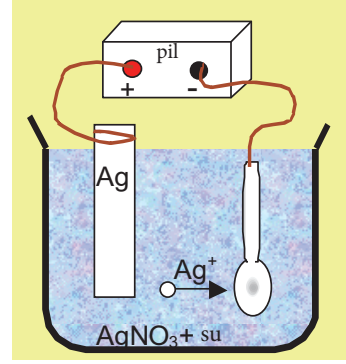
Pozitif elektrodta NO₃ iyonları gelirler ve neutralleşirler bir elektron vererek



bu neutral gruba gümüş atomları birleşerek tekrar AgNO₃ moleküllerini oluştururlar;



Yeni oluşan AgNO₃ karışımında tekrar ayrılabilir ve döngüyü tekrar sürdürebilir.



Şekil 4. Kaşığın gümüş kaplaması

Faradey kanunları

Bir elektrodta yoğunlaşan kütle kime bağlı olduğu yüksek ilgi çekmektedir.

Yük Q_j iyonların taşıdıkları valans (z) ve temel elektrik yük (e) çarpımına eşittir, çünkü iyonlar elektron kabul eder ve serbesletirir

$$Q_j = ze$$

Neutralleşen iyon sayısı elektrodta yoğunlaşır ve toplam yük elde edilir ve bir iyon yükü ile bölünür

$$N = \frac{Q}{Q_j} = \frac{Q}{e \cdot z}$$

İyon kütlesi atom kütlesi ile eşittir (atom kütlesi A^* Avogado sayısı N_A bölünür) daha doğrusu bir mol süpstans kütlesi bir mol'da atom sayısı ile bölünür:

* Eğer iyon atomlar grubundan oluşmuşsa, o zaman A atom kütlesi yerine F -da M moleküler kütle yer almalıdır.

15. Elektrik akımı

$$m_0 = \frac{A}{N_A}$$

Elektrotda yoğunlaşan kütle yoğunlaşan atomlar sayısı ve onun kütlesi çarpımına eşittir:

$$m = m_0 N = \frac{A}{N_A} \cdot \frac{Q}{ze}$$

Q akım şiddeti ve zaman akımında belirlenir ($Q = It$).

$$m = m_0 N = \frac{A}{N_A} \cdot \frac{I \cdot t}{ze}$$

Bu denklem iki kanunu içerir ve onun kurucusu 1832 yılında Maykıl Faradey dir, ona karşı saygıdan ötürü elektroliz için Fardey kanunları denir.

Birinci Faradey kanunu:

Elektrotda yoğunlaşan kütle elektroliz esnasında elektrik miktarı ile doğru orantılıdır:

$$m = kQ = ItQ,$$

k **elektrokimyasal eşdeğeri** bir süpstanın dır, bir süpstanı ayrılan kütle için ne kadar olduğunu açıklar (1 A şiddetli akımın 1 s zamanında akması).

İkinci Faradey kanunu:

Elektrokimyasal eşdeğeri (k) kimyasal eşdeğer (A/z) ile doğru orantılıdır

$$k = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{z}$$

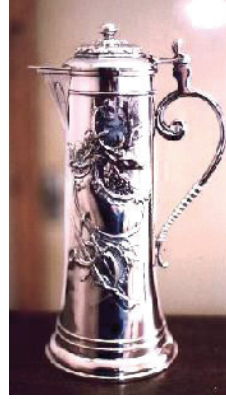
doğru orantılı sabitesi sayıdır

$$F = 9,65 \cdot 10^4 \text{ C/mol,}$$

ve buna **Faradey sabitesi** denir.

Bu sayı bir mol bir valanslı süpstanın ayrılması için ne kadar elektriksel miktarı geçmesi gerektiğini gösterir.

Uygulama



Şekil 5. Gümüşlenmiş sürahi

Galvanizasyon. Gümüş kaplama yöntemini gösterdik (şekil 5) yada genel olarak elektrolit metalleşme. En ünlü takı tasarımcıları kendi tasarımlarını elektrolit altın kaplama yöntemi ile bütünlendir.

Galvano plastik

Elektroliz metal baskıların yapılması için kullanılır. İlk önce model parafinden yapılır grafit tozu serpilir iletken olmak için uygun polarizasyon esnasında model üzerinde metal kaplanır.

Aşağıdaki kavramların anlamları verilsin:

- iyon iletkenliği
- ayrışma
- elektroliz
- metalleşme
- Faradey kanunları
- Galvanizasyon
- Galvano plastik

15.12. GAZLARDA AKIMIN AKMASI

Normal şartlarda havada ve diğer gazlar akımı iletmezler. Normal şartlarda gazlar yalıtkan gibidirler.

Kendi kendine olmayan ve kendi kendine boşalma (deşarj)

Elektrikleşen balonu sürtünme yaptıktan sonra duvara yapıştırılm, o durumda uzun süre kalacaktır. Bunun sebebi hava kötü iletken olduğu için yükler onda gidemezler. Fakat eğer yağmurlu bir gün varsa ozaman balon kısa uzun vadede kalamaz. Deme ki yük boşalmıştır.

Havanın iletken olması için şartlar oluşturmak için onun iyonlaştırılması gerekir. Akımın akması ile boşalmanın oluşması, gaz iletken karışımı iyonlaşan gaz atomları, elektronlar ve nötral atomlardan oluşması gerekir, buna plazma denir.

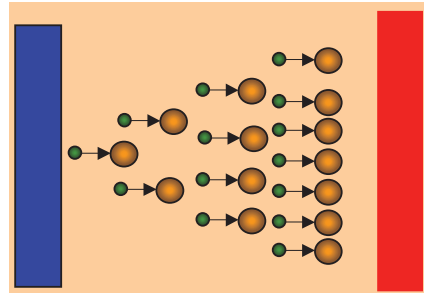
Havnın iyonlaşması için çok sayıda yöntemler var. Havada iyon kaynağı bir mum olabilir. Öyle yanması ile etraftaki moleküllere iyonlaşmaları için enerji verir.

Gazın iyonlaşması etki altında yapılı ultraviole yada radyoaktif ışımaya ile yapılır. Zayıf elektrik alanı şartlarında belli elektronlar ve iyonlar karşı elektrodalara geçerler ve orada nötralleşirler. Buna **kendi kendine olmayan boşalma** denir.

Şiddetli elektrik alanının olmasında, gaz boşalma mekanizması taşıyıcıların çoğalması ile

oluşur. Eğer havada elektrikleşmiş parçacık bulunursa, alanın kuvvet çizgileri yönünde hızlandırılır. Yol esnasında nötral parçacıklarla çarpışır ve yeterli kadar hızlı ise (elektrolitler arasındaki dirençe bağlı olarak) onları iyonlaştırır. Bu yöntem **çarpışmalı iyonlaşma** denir. Ortamın iletkenliği büyür ve bir kritik anda şiddetli akım akar ve buna **kendi kendine gaz boşanması** (deşarjı) denir.

Bunun için tipik bir örnek yıldırım boşanması, kıvılcım ve diğerleri.



Şekil 1. Çarpışma iyonlaşmasında taşıyıcıların çoğalması

Atmosfer boşalması – yıldırım

Dünyadaki hiçbir laboratuvarında öyle şiddetli ve güzel gösteri elektrik akımının gazlarda akması doğa olayı – yıldırımda olduğu gibi.

15. Elektrik akımı

Daha önceleri çok sayıda fizikçiler yıldırım oluşmasını aratırmaktaymışlar. Bugün onun oluşması çok basit açıklanır.

Araştırmalara göre Dünya'nın fazla elektronları vardır, etrafında elektrik alanı oluşur. Diğer yandan havadaki moleküller iyonlaşırlar atmosferin yüksek tabakalarında ve pozitif elektrikleşmiş katman oluşur. Dünya etrafında şiddetli elektrik alanı oluşur, iyonosfer hava atom ve moleküllerin iyonlaşmasına yardımcı olur ve iletkenliğini çoğaltırır.

Bulutlar atmosferde hızlı hareket ederler ve o esnada hava katmanları ile sürtünme yaparlar. Böylece bir bulut kolay elektrikleşir (şekil 2). O induksiyon yardımı ile diğer cisimleri zıt yükle elektrikleştirir. Böylece potansiyel farkı oluşur. Bazı şartlarda elektrikesl boşalma olabilir yada yıldırım gibi onu kabul ederiz.

Bulut ve Dünya arasında atmosferik boşalma olduğu zaman ona şimşek (şekil 3) deriz.



Şekil 2. İkit bulut arası ve bulut ile Dünya cismi (yıldırımsavar) arası boşalma

Yıldırım yada şimşek esnasında insan saklanmalıdır ve ateş veya diğer iyonlaştırıcı nedenlerden uzak durmalıdır.



Şekil 3. Atmosfer boşalması (yıldırım)

Kullandığımız tüm objelerin topraklanmış olması gerekir. Yıldırımsavar da sifri efekti kullanılmıştır, çünkü orada şiddetli elektrik alanı bulunur ve yıldırım o yöne gidebilir.

Uygulama

Gazlarda boşalma düşük basınçta neon fluorosan lambalarında kullanılır. Bunlarda gazda akımın akması esnasında atomlar uyarılırlar ve neutral duruma döndükleri zaman ışık yayarlar. Işığın rengi borunun dolduğu gaza bağlıdır. Şekil 4'te fluorosan lambaların kıyaslanması yapılır.



%5 verimlilik



%20 verimlilik

Şekil 4. Normal volfram lambası fluorosan gaz boşalması ile kıyaslanması

Yay boşalması

Gerilimin etkisinden siviri şekilde iki yakın iletken yakınında atmosfer iyonlaşır ve iletken ortama dönüşür. O esnada akım geçer elektrik yayı gibi (şekil 5). Yay boşalması esnasında şiddetli ışık yayılır. Yay boşalması kaynaklamada uygulanır ve iki metal birleştirilir.



Şekil 5. İki çivi arasında yay



Şekil 6. Kaynaklama. Metal kısımları birleştirmek için kullanılır

Aşağıdaki kavramların anlamını verin:

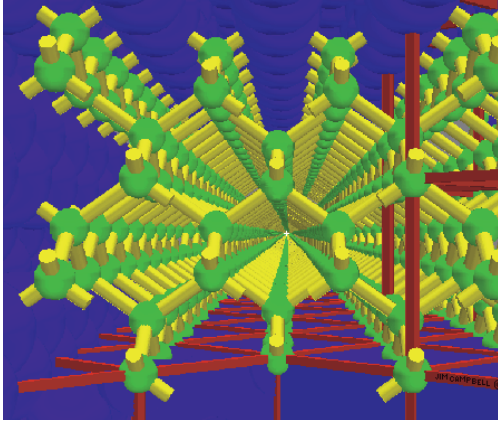
- çarpışmalı iyonlaşma
- boşalma
- kendi kendine boşalma
- kendi kendine olmayan boşalma
- yıldırım
- şimşek ve yıldırımsavar
- neon lambası
- elektrik yayı

16.1. YARIİLETKEN MALZEMELER



Şekil

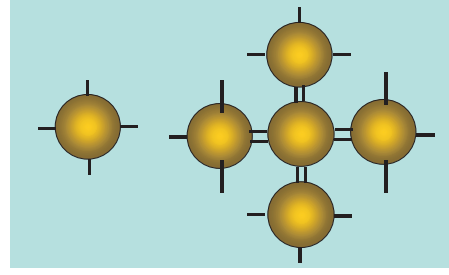
Yarıiletkenlerin özellikleri dış şartlara çok bağlıdır (dış gerilim, ışık, temperatur, basınç). Bunların geniş çapta uygulanması yapılıdır. Yarıiletkenler çok hızlı bir gelişmeyi sağladılar ve vakum lam-balarını hızlıca değiştirdiler.



Şekil 1. Saf silisyumlu üçboyutlu kristal. Silisyum atomları yeşil renkte topucuklardır. Sarı renkteki sopacıklar ise valen bağlarıdır.

Elektrostatikte yalıtkanlardan elektrik akımını daha iyi iletkenler ve metallere daha zayıf iletkenler vardır bunlar **yarıiletkenlerdir**.

Katı cisimlerin kristal yapısı vardır alanda atomlar düzeni için düşünülür (şekil 2).



Şekil 2. Saf silisyum ikiboyutlu kafezi. Her atomdan 4 bağ çıkar.

Metallerde serbes elektronlar sayısı metale bağlı olan atomlar sayısına eşittir ve onun valansı ile çarpılarak, yarıiletkenlerde bu sayı çok küçüktür ve şartlara göre değişir. Bazı şartlarda yarıiletkenler iletken gibidirler, bazı şartlarda ise yalıtkan gibidirler.

Elektronikte kullanılan yarıiletkenlerden kimyasal elementi silisyum dur.

Silisyum dört valanslı element olarak katı cisim gibi 4 silisyum komşusu ile bağlıdır. Saf silisyuma **öz iletkenli iletken** denir.

Öz iletkenliği

Yarıiletkenlerde elektronların bölgesel dağılımı şekil 3'te verilmiştir. Saf iletkenin elektronları valans bölgesini kaplarlar ve kısmen iletkenlik bölgesini kaplarlar. Bu iki bölgeyi yasak bölge E_g ayırır. *Dıştan enerji verilirse, valanslı bölgenin elektronları yasak bölgeyi geçerek iletkenlik bölgeye yerleşirler. Orada onlar iletken elektronlar olurlar.*

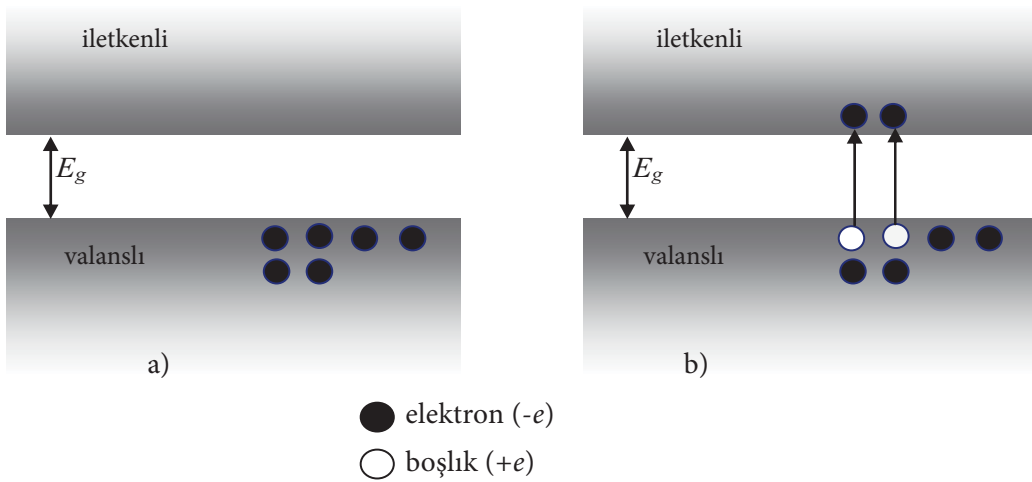
16. Yarıiletkenler

Valanslı bölgede boş kalan yerler (Diyagram 3b'de beyaz renkte topçuklar) pozitif yükleri gibi davranırlar ve bunlara **boşluklar** denir. Saf yarıiletkende iletkenlik **elektron-boşluk** çiftine borçludur.

Valens bölgesinde boşlanmış yer (36 diyagramla beyaz toplar) olumlu yük ve boşluk olarak adlandırılır. Demek ki, temiz yarıiletkenlerde iletkenlik elektron-boşluk çiftlerinin **oluşmasına** dayanır. Temiz yarıiletkenler kendi tür iletkenliği vardır.

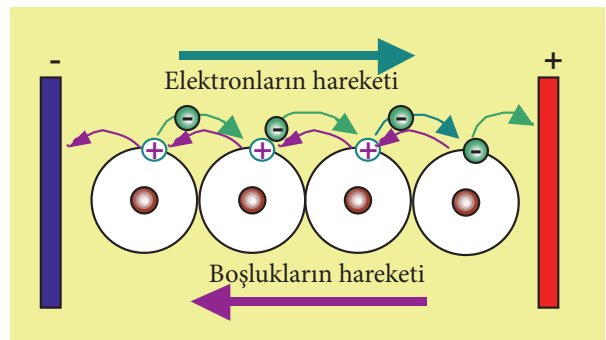
feze bağlıdır (şekil 4). **Boşluklar** komşu atomların elektronları ile doldurulurlar. Buna göre elektronlar bir yönde boşluklar ise ters yönde hareket ederler.

Demek ki akım taşıyıcıları yarıiletkenlerde elektronlar ve boşluklardır.



Şekil 3. (a) Yarıiletkenler enerjetik bölgesi. (b) Elektronlar verilen şartlarda valanslı bölgeye geçerler

İletkenlik mekanizmasını anlamak için kristal kafesin atomlar düzeninin elektrik alanında düşünelim. Elektronları yönlendirmek için elektrik alanı gereklidir ve anoda (+) yönlenecektir. Elektron atomdan serbeslenir ve arkasında boşluk bırakır, boşluk bir pozitif yükü gibi davranır ve ka-



Şekil 4. Gerilim altında bulunan yarıiletkenin elektron ve boşluk akımı

16. Yarıiletkenler

Elementlerin periyodik sistemi)

1	2																	10	11
1	H	He																	
2	3	4																	10
2	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne											
3	11	12	13	14	15	16	17	18											
3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar											
4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
5	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
6	55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	
6	Cs	Ba	*La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
7	87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113						
7	Fr	Ra	+Ac	Rf	Ha	Sg	Ns	Hs	Mt	110	111	112	113						

* Lanthanide Series

58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu

+ Actinide Series

90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

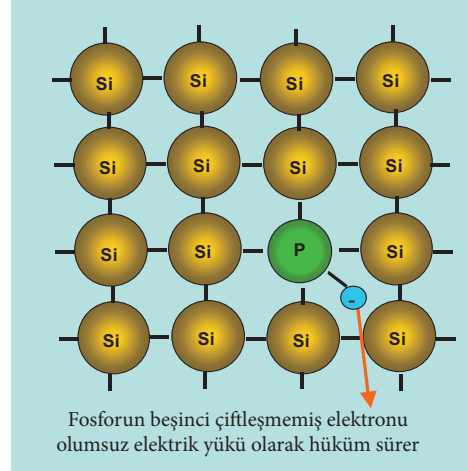
Şekil 5. Peryodik sistemde temel durumda yarıiletkenler IV-grup elementleridir, Si, Ge ve Sn (sarı çerçeve). Si atomuna üç valanslı atomlar katmakla P-tip Silisyum (mavi çerçeve) elde edilir. Si atomuna beş valanslı atomlar katmakla N-tip Silisyum (kırmızı çerçeve) elde edilir.

Yarıiletkenler kendi temel durumunda olabilirler yada iki yada üç atomlu birleşik de olabilirler. Temel yarıiletkenlerden en tanınışları periyodik sistemde yer alanlar (şekil 5) Si (silisyum), Ge (Germanyum) ve Sn (Kalay).

Karışım iletkenliği

Saf silisyumun iletkenliği küçüktür, karışım atomları vermekle iletkenlik büyütülebilir. Böyle iletkenliğe karışım iletkenliği denir. Yarıiletkenler **P-tip** (pozitif) ve **N-tip** (negatif) olabilirler.

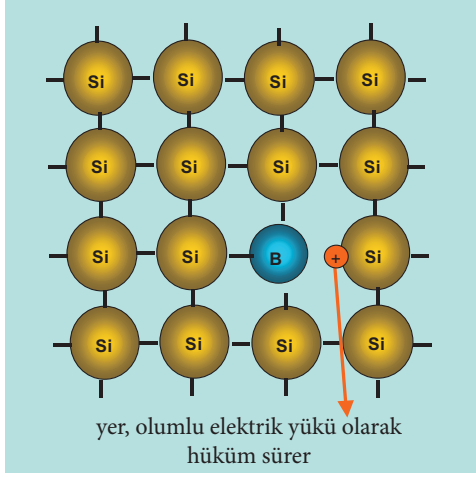
N-tip (negatif) silisyum, silisyumdan daha büyük valanslı atomların katılması ile elde edilir, örneğin fosfor (şekil 6).



Şek. 6'da N-tip silisyumda serbest elektron

Silisyum kristalin yapılmasında bir silisyum atomun yerine fosfor atomu zorunlu değiştirilir. Böylece fosforun çiftleşmeyen elektronlarından biri serbeslenir. Böylece serbes elektronlar miktarı büyük olduğu için bunlara negatif (**N**)-tip yarıiletkenler denir.

P-tip (pozitif) silisyum elde edilmesi için silisyumdan düşük valanslı atomların karışmasıyla elde edilir, örneğin üçvalanslı Bor.

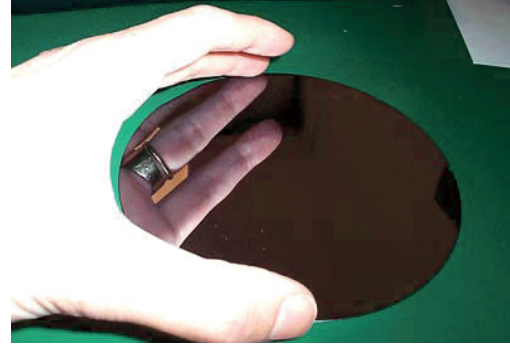


Şekil 7'de P-tip silisyumda boşluklar

Silisyum kristalin yapılmasında bir silisyum atomun yerine üçvalanslı bor atomu zorunlu değiştirilir (şekil 7). Böylece silisyumun elektronlarından biri çifleşmeza çünkü bor atomun üç bağlantısı sadece var. Böylece eksik elektronlar yada daha fazla sayıda boşluklar olduğu için bunlara pozitif (P)-tip yarıiletkenler denir. Silisyum karışımları hala eriyik halde iken yapılır, çünkü katılaştığı zaman P yada N tip silisyum elde edilir.

Diğer başka yöntem temel silisyum süpsansına bombarde etmekle karışımların verilmesi sağlanır ve bu yöntem mikroelektronik endüstride uygulanır.

Yarıiletkenler elektronikte ve mikroelektronikte kullanılır, diyotlar, tranzistörler ve entegre devreleri yapmak için. Şekil 8. saf silisyum diski verilmiştir ve entegre devreleri üretmek için kullanılır.



Şekil 8. Silisyum yarıiletkeni. Bundan entegre devreleri yapılır.

Aşağıdaki kavramların anlamları verilsin:

- yarıiletkenler
- boşlukların yapılması
- öz tip iletkenlik
- karışım iletkenliği
- eklemeli (P-tip ve N-tip)

16.2. PN-TEMAS

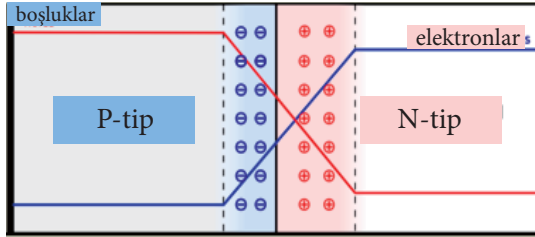
PN-temasın elde edilmesi

İki yarıiletkenin oluşturulmasını kendi ismi de belirtir. Onlardan biri P-tipi ve diğeri N-tipidir. P-tipi (bu yarıiletkende fazlalık olumlu boşluklar vardır) ve N-tipi (fazla elektronların olduğu) yarıiletkenin teması ile elektrik yükü sabitliğini kaybeder-hareketliğe geçer. PN kontaktı basit fiziksel birleşmeyle veya iki tür yarıiletkenin yapışmasıyla oluşamaz. PN kontaktın oluşması yarıiletkenin uydurulmasıyla sadece gerçekleşir.

Örneğin. Saf silisyumun (Si) bir tarafını bor iyonları (B) ile bombardı ederek P-tip silisyum, diğer tarafına fosfor (P) atomları ekleyerek N-tip silisyum elde edilir, böylece PN-teması oluşturulur. PN temasın elde edilmesi için çok sayıda yöntemler vardır. Fakat ideal PN teması elde edilmesi için yarıiletkenin ince katman halinde olması ile sağlanır.

PN-temasında iç değişimler

P-yarıiletkenden boşluklar fazla miktarda bulunur, N-yarıiletkende elektronlar fazla miktarda bulunur böylece temas kısmında temel taşıyıcıları hamlesi yapılır. P-tipten boşluklar difüzyon yoluyla N-tipe geçerler ve N-tipten elektronlar P-tipte yerleşirler.



Şekil 2. Temasın sınırında oluşan katmanda taşıyıcı yetersizliği görünür. Orada iletkenliğin düşüşü var ve buna bariyer katmanı denir. Kırmızı çizgi ile boşlukların yoğunluğu tüm PN temasında gösterilmiştir, mavimsi çizgi ile elektronların yoğunluğu tüm PN temasında gösterilmiştir.

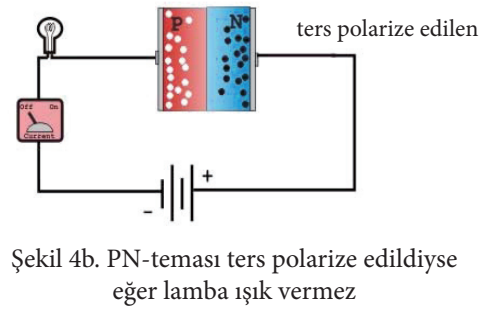
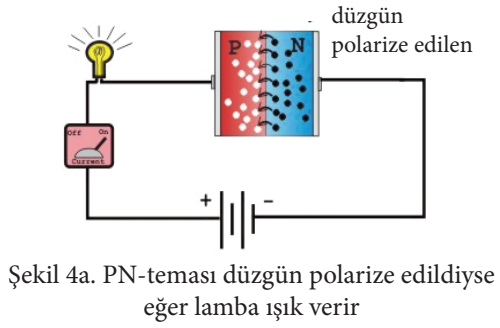
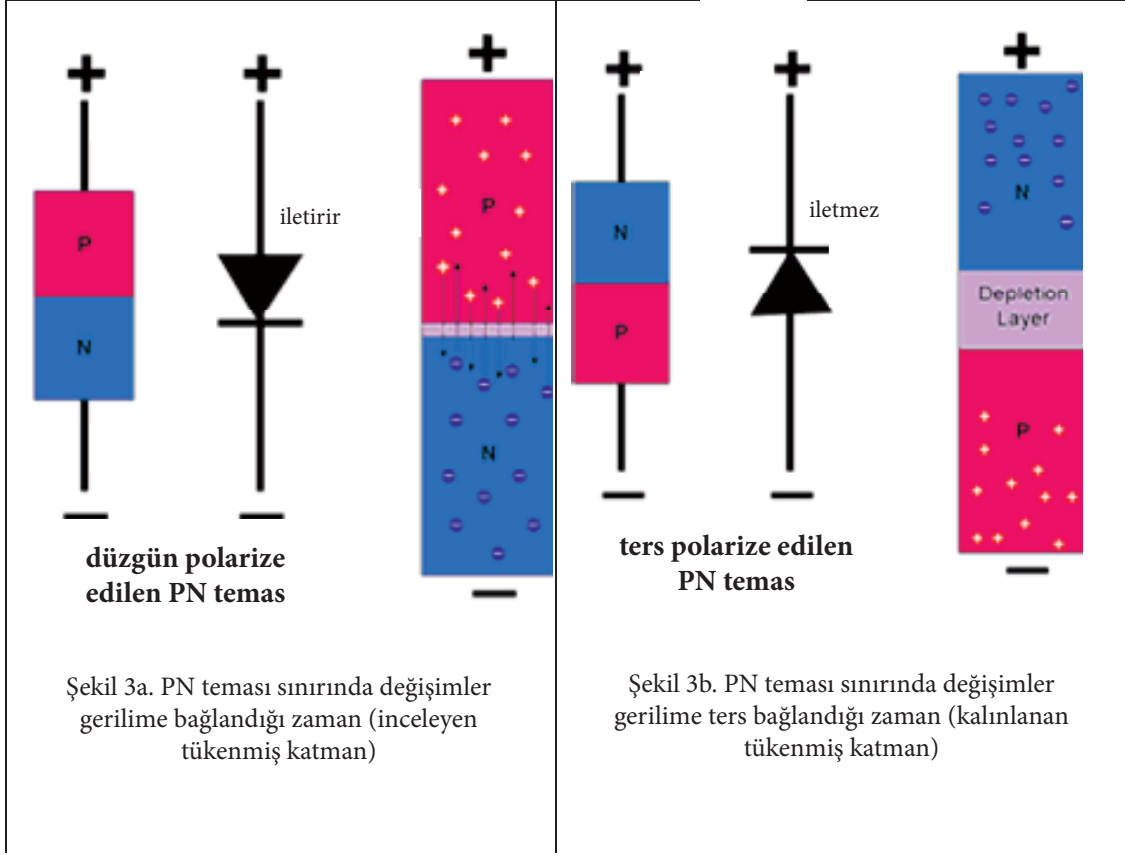
P ve N sınırında taşıyıcı eksikliği görünür. Sınır bölgesinde taşıyıcılar difüzyon yoluyla sınır ötesi geçerler. Bu bölgeye taşıyıcı yetersizliği katmanını yada bariyer katmanını denir.

Dış gerilimin PN-teması

Eğer $P (+)$ potansiyele bağlanırsa ve $N (-)$ potansiyele bağlanırsa o zaman düzgün polarizasyon yapılır, elektronlar kaynaktan N kısma gelirler ve boşlukları sınır katmanında nötralleştirirler (Şekil 3a). Aynı anda elektronlar sınır katmanındaki P kısımdan kaynağın pozitif kutubuna kaçarlar, temas kısmı çok incecik kalacaktır. O anda PN temastan akım akacaktır ve lambası ışık verir (Şekil 4b).

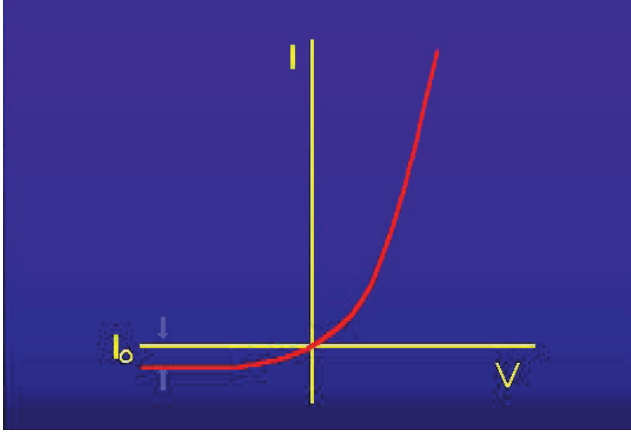
Eğer PN kontaktı ters gerilime bağlanırsa (Şekil 3b), yani P kısım olumsuz, N kısım ise olumlu olacaktır ve elektronlar bariyer tabakadan geçemeyecekler. Çünkü bariyerdeki bulunan elektronlarla çarpışacaklar. Bu durumda PN kontaktından akım geçmeyecek ve C lambasına akım gelmeyecek (Şekil 4c).

Diyot vakum diyodu gibi kullanılır değişen gerilimin doğulayıcısı gibi. Diyodun iletkenlik yönü ok ile işaretlidir (Şekil 3a), iletmeyen yönü ise ters yönde (Şekil 4b).



Diyodun Volt-amper (VA) karakteristiği

Akımın (I) bir medyum kenarlarında gerilimin değişmesi bağlılığına **volt-amper (VA) karakteristiği** denir. PN-temasın volt-amper karakteristiği lineer değildir. Negatif gerilimler için (şekil 5) akım küçüktür, fakat pozitif gerilimler için akım daha büyüktür.

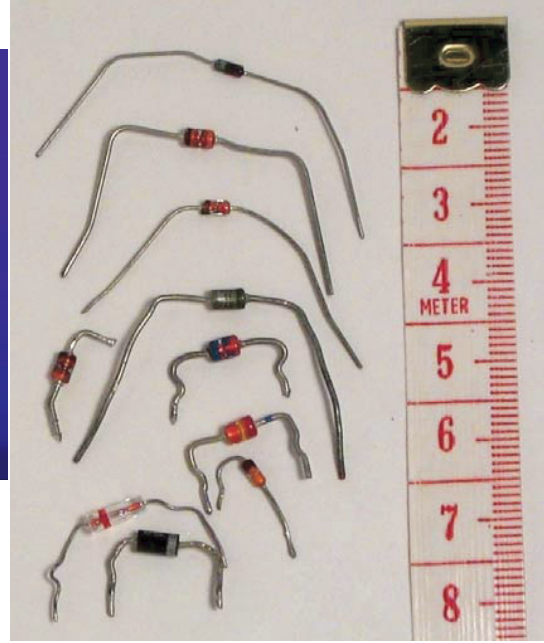


Şekil 5. Yarıiletken diyodun lineer olmayan VA karakteristiği

PN temasın volt-amper karakteristiği şöyle verilir

$$I = I_0 (e^{eV/kT} - 1),$$

Burada I_0 doymuş ters (inverz) akım (şekil 5). Büyük ters gerilimlerde meydana gelir. Denklemden elektron yüküdür, k -Bolçman sabitesi ve T mutlak temperatur.



LABORATUVAR EGZERSİZİ

PN-yarıiletkenin diyodun volt-amper karakteristiğinin kaydı

Gerekenler:

- 1) 4,5 V pil
- 2) potansiyometre yada kaydırıma mekanizmalı direnç
- 3) PN-diyot
- 4) anahtar
- 5) voltmetre
- 6) ampermetre

16. Yarıiletkenler

Bağlama

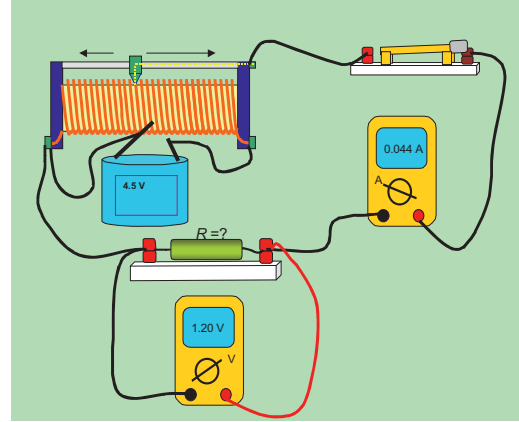
Pil direnç ile bağlanır potansiyometre katmanında. Sonrasında kaydırıcı mekanizmanın gerilimi ve potansiyometre kenarı anahtarlı devre ile bağlanır, ampermetre PN-diyotla. Ensonunda voltmetre diyodla paralel bağlanır.

Ölçme

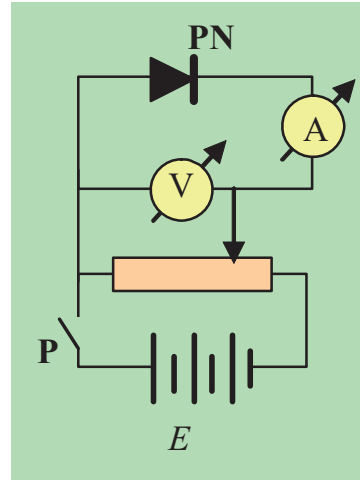
Potensiyometrede kaydırıcı mekanizması ile şu değerlere kaydırılır 0 V; 0,5 V; 1,0 V; 1,5 V; 2,0 V; 2,5 V; 3,0 V; 4,5 V. Aynı zamanda bu değerlerde akım ampermetreden okunur. Değerler tabloya yerleştirilir. Aynı egzersiz PN-diyoda ters gerilim için tekrarlanır.

Tablo ile sonuçları gösterme

Ölçme sayısı	Gerilim V[V]	Akım I[A]
1	-4,5	
2	-4,0	
3	-3,5	
9	0	
10	+0,5	
11	+1	
18	+4,5	



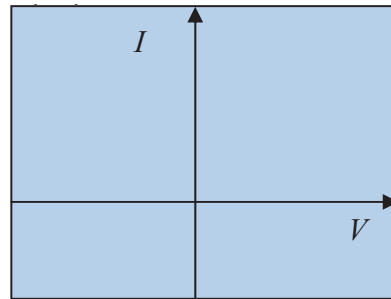
Şekil. Bağlama şebekesi



Şekil. Başlama şebekesi

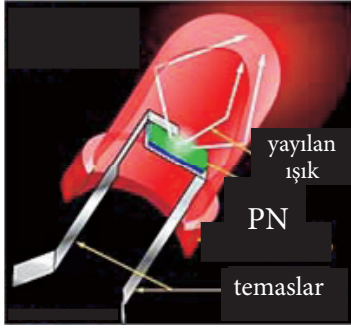
Sonuçların grafiksel gösterilmesi

(V , I) değerler çifti grafiğe işaretlenir şekildeki eksenlere göre:



16.3. DİYODLAR, FOTODİYODLAR, LED-DİYODLAR

Light Emmiting Diode (LED) öyle aynen PN-temasından oluşmaktadır (şekil 1). Bazı diyodlar ışık yayabilirler bazıları ise ışığı yakalayabilirler bundan dolayı bunlara fotodiyodlar denir. Atomların neutral hale dönmeleri esnasında ışık verme prensibi ile çalışır. LED diyodları elektronik araçlarda indikatör ışıkları gibi kullanılırlar.



Şekil 1. LED diyot yapısı

LED diyodların geleceği parlıyor. Bilim adamları ışık verebilme becerikliği ile halojen lambalara yakınlştırılır (şekil 2) yakın zamanda onları değiştirebilirler, çünkü aynı ışınlandırma ışın LED diyodlar 50 kez daha az enerji harcarlar.



Şekil 2. LED lambaları normal lambaları değiştirecekler

Bunlardan mada, PN-teması ile senzürler üretilmiştir ve ışığa çok hisli dirler.

Fotodiyodlar ve fotovoltatik hücreler (PV)

Eğer PN-teması ışınlandıysa ozaman ışık kuantumları ek enerji verirler, elektronlar valanslı bölgeden iletken bölgesine geçerler. Böylece ışık kuantumu ($h\nu$) yardımı ile valanslı bölgedeki elektronlar yasak bölgeye geçerler, gerilim oluşur. Eğer harcayıcı bağlı bulunursa akım da oluşur. Bu özelliğin iki uygulanması vardır: fotodiyodlar ve fotovoltatik hücreler.

Fotodiyodlar ışık, infrakırmızı ve UV ışımının senzörleri gibi kullanılır.

Televizyonun uzaktan kumandalı yönetilmesi fotodiyodla yapılır.



Şekil 3. Fotovoltatik hücreleri Makedonya'nın birinci güneş (solar) santrali "SİETO" Kadino'da Üsküp'ün yakınlığında

PN-teması fotovoltatik hücrelerin yapılaması kullanılırdı. Bugünkü hücreler silisyum teknolojisi ile PIN-temasları (P-tip, I-öz tipi ve N-tip) yardımı ile yapılır.

16. Yarıiletkenler

Şekil 3'te silisyum yarıkristalden fotovoltaik hücreleri verilmiştir, güneş enerjisini elektriğe çevirir. Gelişmiş ülkelerde günden güne sayıları çoğalır, makedonya'da ise Kadiño'da Üsküb'ün yakınlığında bir tanesi vardır.

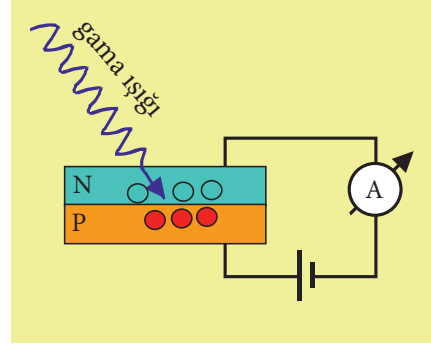
Aşırı derecede karbon dioksit yüzünden küresel ısınmadan korunmak için karbondioksitli enerji üreticilerden Güneşli enerji üretimine geçilmesi dünyaya gerekir.

Yarıiletkenli yakalayıcılar ve iyonlaştırıcı ışımaya

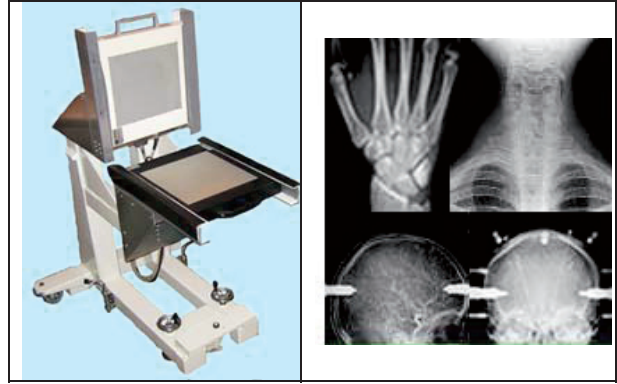
Yarıiletkenli yakalayıcılar silisyumlu PN-diyoten oluşmaktadırlar, röntgen ve gama-ışınlarını yakalamak için kullanılır.

PN-temasına iyonlaştırıcı ışımaya düştüğü zaman elektronlar-boşluklar üretir (şekil 4). Bunların çoğalması ile PN-temanın iletkenliğini hızlandıracaktır ve akım akacaktır. Akım yakalanır ve yardımcı elektronik devresi ile ışımaya şiddeti ölçülür.

PN kontaktı yerinde bariyer tabakanın oluşmasını gördük. Bu tabaka elektron ve boşlukların geçişini ve akımın elde edilmesini engeller. Her zaman PN kontaktında gama ışınları geldiğinde iyonizasyon yüzünden elektron ve boşluklar elde edilecek (Şekil 4). Onların bulunuşu PN kontaktının iletkenliğini artıracak ve elektrik akım geçebilecek. Akın kaydedilir, ek elektronik ile büyüklük belirtilir.



Şekil 4. Gama ışınının yarıiletken yakalayıcısının basit şeması



Şekil 5. Bioscan SA şirketinin dijital röntgen kaydı için yarıiletken yakalayıcısı

YARIİLETKEN DOĞRULAYICISI

Diyodlar değişen gerilim doğrulayıcıları gibi kullanılırlar. Diyodun iletim yönü ok sembolü ile işaretlenmiştir (önceki dersin şekil 3.).

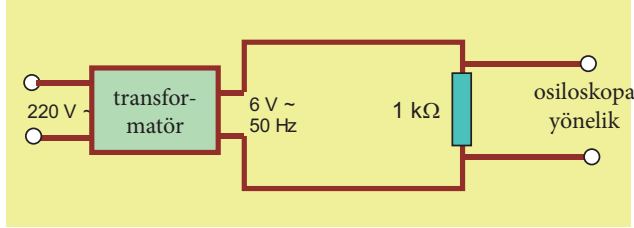
Doğrulayıcı tek bir yarıiletken diyodla, elektrolit kondenzatörü (kapasitesi 10 μ F), bir direnç ve iletken teller ile yapılabilir. Bunun etkisini görebilmek için 6 V gerilim kaynağı ve osiloskop gerekir.

16. Yarıiletkenler

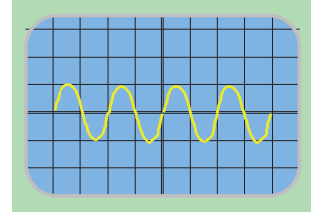
(a) değişen akımın değişimlerini okuyabilmek için birinci devre bağlanır. Direncin kenarları osiloskopa bağlanır.

(b) tekyönlü doğrulama elde etmek için

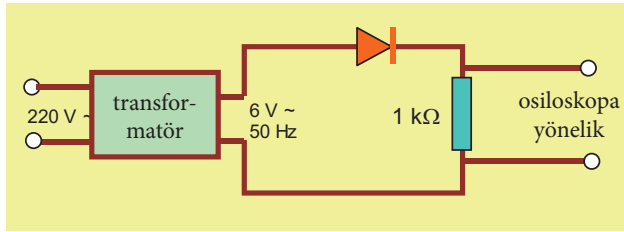
(c) Akım değişimlerini azaltmak için filtre rölnü yapacak kondenzatör gerekir ve yarım peryotta dolacak ve o anda diyot iletir, diyot iletmediği anda kondezatör boşanır. Böylece dirençte kesintisiz akım akar.



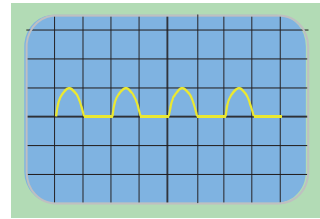
Şekil 1a. Transformatör değişen akımının doğrulanması



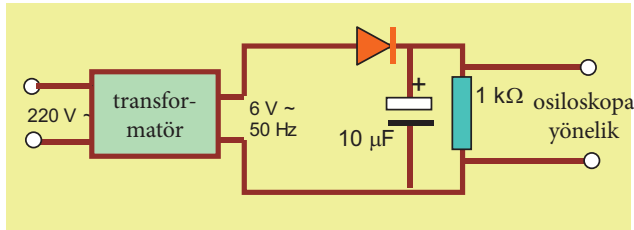
Doğrulanmamış değişen akım



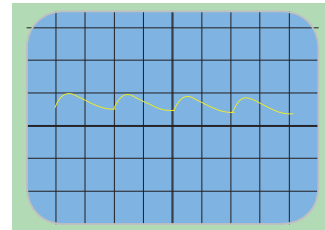
Şekil 1b. Değişen akım bir diyodlu doğrulayıcı



Doğrulanmış değişen akım



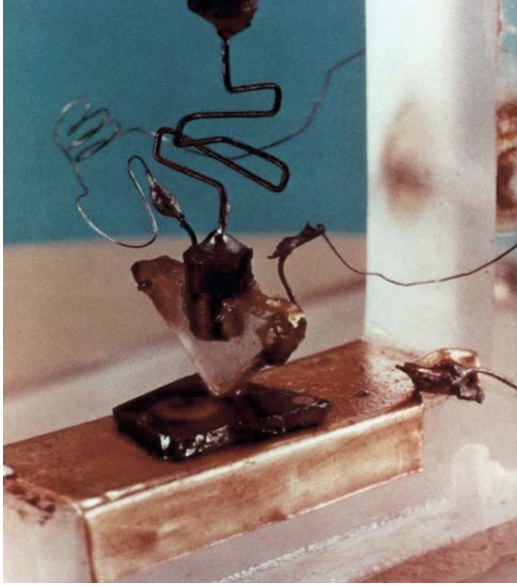
Şekil 1c. Bir diyodlu ve bir kondenzatörlü değişen akım doğrulayıcısı ve filtresi



Doğrulanmış ve filtrelenen değişen akım

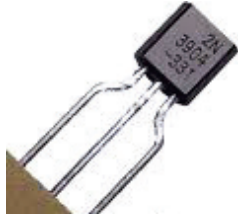
16.4. TRANZİSTÖR

İlk tranzistör



Şekil 1. İlk tranzistör

İlk tranzistörün 1948 yılında bulundu ve elektronikte elektronik lambalarını hızlıca değiştirdi. O günden bugüne hayatı kolaylaştırdılar ve onun faydalarını her gün kullanırız. Hızlı iletişim için imkanlar sağladı.



Birinci tranzistör MOSFET (şekil 1), onun teorik temelleri daha geç zamanlarda Şokli tarafından yapılmıştır. Küçük boyutlarından dolayı elektrik enerjisi harcarlar. İkinci Dünya savaşından sonra yarıiletkenli elementler ile bilgisayarların yapılması başlandı ve odalarda küçük boyutlu bilgisayarlar süslemeğe başladı.

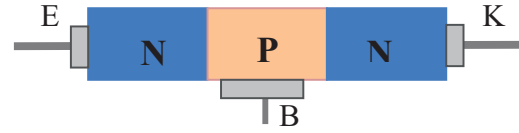
Birinci tranzistör MOSFET (şekil 1), onun teorik temelleri daha geç zamanlarda Şokli tarafından yapılmıştır. Küçük boyutlarından dolayı elektrik enerjisi harcarlar. İkinci Dünya savaşından sonra yarıiletkenli elementler ile bilgisayarların yapılması başlandı ve odalarda küçük boyutlu bilgisayarlar süslemeğe başladı.

İki kutuplu katmanlı tranzistör

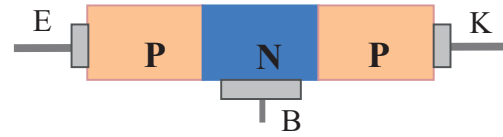
Daha geç zamanlardan noktali ve katmanlı tranzistörler vardır. Katman temaslı BİPOLAR tranzistörler iki türlü P ve N yarıiletkenlerden oluşmaktadır.

Katmanlı bipolar tranzistör iki diyodun seri şekilde bağlanması bir sistemi oluşturur. Bunların üç elektrodu var baz, emiter ve kolektör.

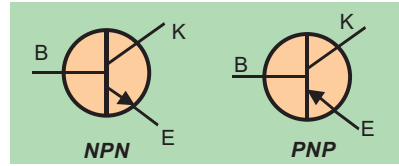
Bipolar tranzistörlerin iki kombinasyonu var NPN (şekil 2a) ve PNP (şekil 2b).



Şekil 2a. NPN tranzistör



Şekil 2b. PNP tranzistör



Şekil. PNP ve NPN şematik simgeler

Bipolar tranzistör katmanları

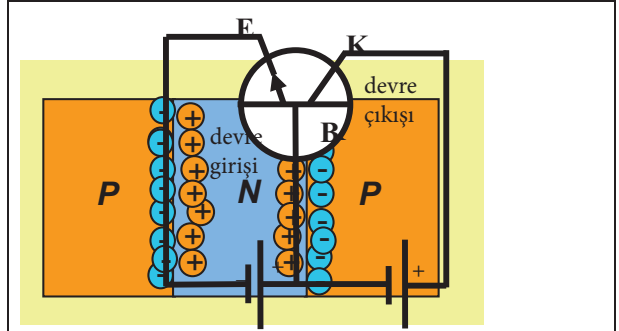
Bipolar tranzistör üç katmandan (Baz, Emiter, Kolektör) oluşmuştur. Tranzistörde PN ve NP temasları bulunur ve bariyeri vardır (şekil 3). Böylece elektronlar için bir bariyer (geçiş) iletkenidir diğeri ise iletken değildir.

Tranzistörün birinci PN diyodu devrenin girişini (emiter ve baz) temsil eder. İkinci diyot (baz ve kolektör) devrenin çıkış kısmını oluşturur. Devrenin bu iki kısmı düzgün gerilim kaynağı ile bağlanmaları gerekir, öyleki giriş iletir yönünde çıkışı ise iletmez yönünde. Böylece birinci bariyer incelenir ikinci bariyer ise kalınlanır. Böyle şartlarda tranzistörde güçlendirici efek (tranzistör efekti) oluşur.

NPN tranzistör için geçerli olanlar PNP tranzistörü için de geçerlidir sadece polarizasyon kaynakları işaretleri değişmesi gerekir.

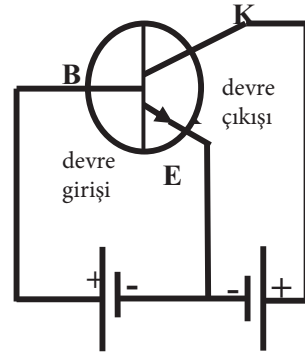
Tranzistörlerin önemi güçlendirici element olduğundan dolayıdır. Demek tranzistörün girişine küçük akım getirilirse çıkışında güçlendirilmiş akım oluşacaktır.

Şekil 4'te NPN tranzistörün polarize edilme yöntemi gösterilmektedir. Tranzistörün düzgün polarize edilmesi gerekir güçlendirici etkisi oluşmak için.

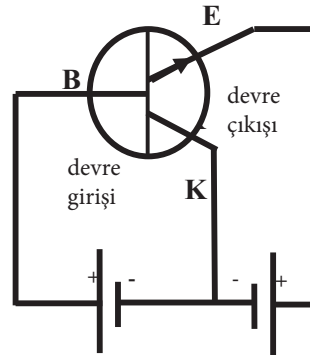


Şekil 3. PNP tranzistör

(a) NPN tranzistör topraklanmış bazlı



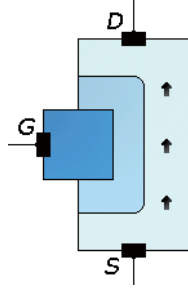
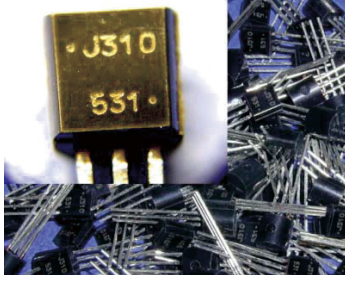
(b) NPN tranzistör topraklanmış emiterli



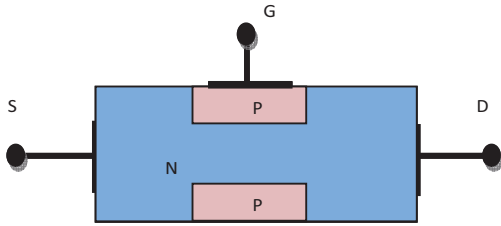
(c) NPN tranzistör topraklanmış kolektörlü

Şekil 4.

FET tranzistör



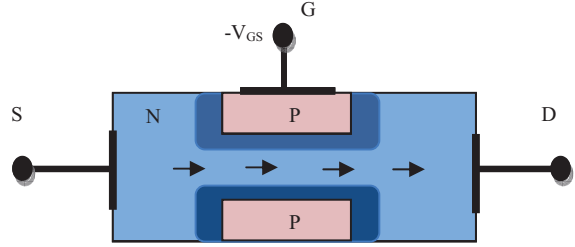
İsmi çalışma prensibinden almıştır, daha doğrusu elektrik alanın induksiyon efekti ile çıkış akımı kontrol etmek. Üç elektrodu var kapı (gate), kaynak (source) ve akıntı (drain). FET tranzistörler girişinde (G) gerilim yoksa maksimum çıkış akımı sağlarlar. Eğer her iki tip yarıiletken temasları birleşirse, o zaman JFET (Junction FET) tranzistörü denir.



Şekil 1. JFET yapı prensibi

JFET tranzistörü N-tip yarıiletken kısından oluşmuştur (şekil 1) ve buna kanal denir. Bu tranzistörde kaynak (source) ve akıntı (drain), N-tip yarıiletken direnç gibi davranır.

FET tranzistörde akımın yönetimi kaynak (source) ve akıntı (drain) arasında ters (inverz) gerilim getirmekle sağlanır. JFET bir araç gibi kayna (S) ve kapı (G) arasındaki gerilim ile kayna (S) ve akıntı (D) akım yönetilir.

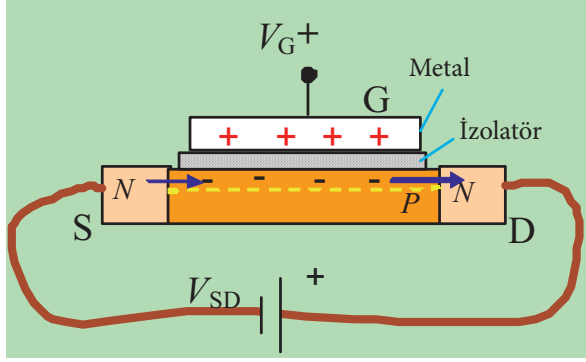


Şekil 3. N-kanallı FET ters polarize edilmiş. Koyu katmanlı bölge kalınlamış bağlı katman ters polarize edilmiş PN temasta

MOSFET

Bu tür tranzistör metal, oksit ve yarıiletken temasından oluşmuştur, alan etkili tranzistör (FET). Şekil 4'te NPN-temasından oluşmuştur. MOSFET tranzistörde de aynı üç elektrod vardır: kaynak (S), akıntı (D) ve kapı (G)

MOSFET'in kapısı (G) katmanlı metal elektrodu (şekil 4) temsil eder, P-yarıiletkenden yalıtılmış katmanla ayrılmış bulunur (beyaz renkli).



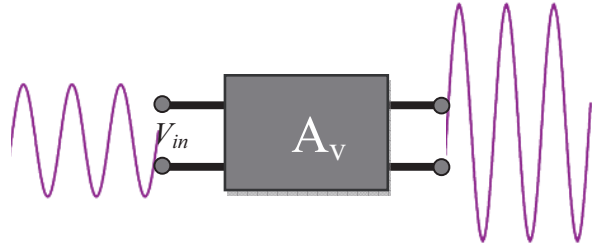
Şekil 4. MOSFET tranzistörünün kesiti

Kapıda (G) gerilim yoksa eğer, ozaman kaynak (S) ve akıntı (D) arasında bariyerler bulunur ve her iki PN-temasta NPN strüktürünün. Eğer kapıya (G) pozitif gerilim V_g getirilirse, ozaman induksiyon etkisi ile P katmanında ters polarite oluşturur. Böylece yalıtılmış katmanda elektrik alanı oluşturur ve dıştan gerilim V_g ile yönetilir. Diğer tranzistör gibi MOSFET de güçlendirici gibi kullanılır.

16. 5. BİPOLAR TRANZİSTÖR GÜÇLENDİRİCİ GİBİ

Tranzistörün önemli rollerinden biri onun güçlendirici etkisi dir. Basit devre bir tranzistör ve birkaç element ile gerilimin ve akımın güçlendirilmesi sağlanır. Buna göre gerilim, akım ve güç güçlendiricileri mevcuttur.

Genel olarak, gerilim güçlendiricisi bir siyah kutu gibi temsil edilir ve buna gelen küçük amplitüdü gerilim çıkınca büyük amplitüdü gerilim dir. Giriş sinyalli amplitüd V_{in} güçlendirilen sinyal V_{out} (şekil 1).

Şekil 1. Güçlendirici siyah bir kutu ile temsil edilir ve ondan güçlendirilen sinyal A_v kez.

Giriş ve çıkış sinyalinin amplitütleri arasındaki ilişkiye voltaj amplifikasyonun katsayısı denir, yani

$$A_v = A_{out} / V_{in}$$

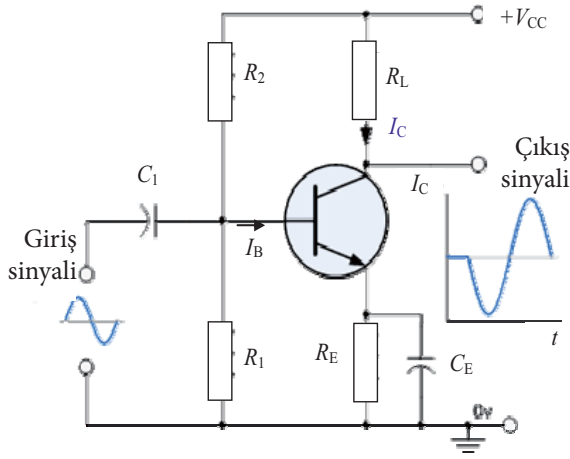
Topraklanmış emiterli gerilim güçlendiricisi

Eğer gerilim güçlendiricisi topraklanmış emiterli bir tranzistörden yapılmışsa, buna bir dereceli güçlendirici denir.

O ideal değildir birçok eksikliği vardır ve enbasit güçlendirici aracı tek gerilim kaynağına bağlanmasını temsil eder. Tranzistör tipini bilmemiz gerekir PNP yada NPN. Tranzistör parametreleri üretici katalogundan öğrenilir. Onlardan bazıları tranzistörün gerilim kaynağı (V_{cc}), akım güçlendirme sabitesi (H_{fe} yada β) ve diğerleri

İdeal tranzistörde güçlendirme biçimlendirilmemiş çalışır.

Normalde böyle tranzistörler yoktur, bu efekt ek devreler yardımı ile elde edilir.



Şekil 2. Topraklanmış emiterli güçlendirici tranzistörü

Şekil 2'de topraklanmış emiterli güçlendirici tranzistörün şematik gösterilişi verilmiştir. Şekilden tranzistörün bir gerilim $+V_{cc}$ kaynağı ile bağlandığını görebiliriz.

Devre girişinin polarize edilmesi iletim yönünde potansiyometre yardımı ile yapılır, V_{cc} gerilimi R_1 ve R_2 dirençlere ayrılır. Kondansatör C_1 devre girişinde gerilimin polarize edilmesini engeller. R_E direnci temperatur dengesini sağlar ve kolektörün yanmamasını korur. Çıkış sinyali güçlendirilmiş halde dir ve şiddetli kolektör akımı R_L direncinde akar.

Tranzistörün en önemli parametresi güçlendirici akım sabitesidir. O, elektronik gerilimdeki akımın çıkışındaki (ΔI_C) değişmeyi ve girişteki (ΔI_B) değişmeyi belirtir ve H_{FE} ile kaydedilir.

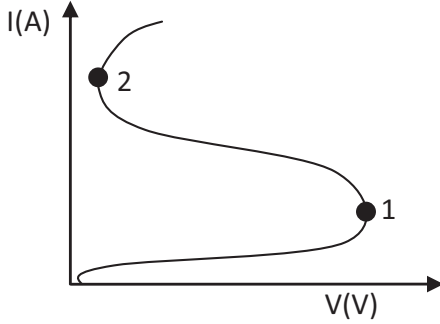
$$H_{FE} = \Delta I_C / \Delta I_B$$

Aşağıdaki kavramların anlamları verilsin:

- gerilim güçlendirme sabitesi
- akım güçlendirme sabitesi H_{FE}
- topraklandırılmış emiterli bir dereceli tranzistör güçlendiricisi
- biçimlendirilmemiş güçlendirme

16.6. DİĞER YARIİLETKENLİ ELEKTRONİK BİLEŞENLER

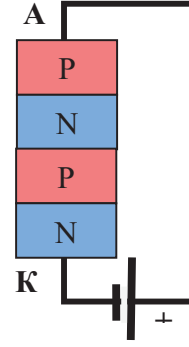
Tiristör



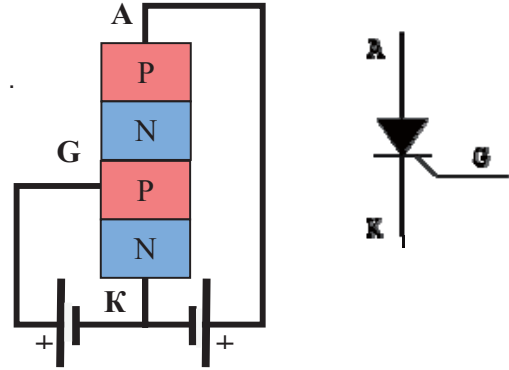
Şekil 1. S-şeklinde voltamper karakteristiği

Tiristör karakteristiği lineer olmayan bir yarıiletken aracı oluşturur. Bunun karakteristiği "S" şeklindedir, gerilim yüklemesi ile akım azalma bölgesi vardır ve bu bölgeye negatif diferensiyel direnci denir. S-şeklinde volt-amper karakteristiğinde iki nokta bulunur, biri düşük akım akan maksimum gerilime uygundur ve diğeri minimum gerilimde maksimum akıma uygundur (şekil 1). Noktalardan birincisi açık anahtardır ve ikincisi kapalı anahtardır. Böyle özelliklerden dolayı tiristörler impuls tekniğinde elektronik anahtar gibi kullanılır. İki türlü tiristörler vardır: *iki kutuplu* (dinistör, diyak) ve *üç kutuplu* (tiristör, triyak). Her ikisinin yapıma yöntemi aynıdır, dört yarıiletken katmanları sıralanarak PNPN. Dinistörlerin birinci elektrodu birinci katmandır (birinci durum-katod) ve ikinci elektrodu (anot) sonuncu katmandır (şekil 2a). Dinistörde gerilim açılması (durum 1) ve geri-

lim kapanması (durum 2) ve dıştan kontrol edilemezler. Tiristörde üçüncü elektrod kapı (Geyt) de bulunur, bu da ikinci katman (katod) dur. Tiristörlerde gerilimin açılıp kapanması dışardan kontrol edilebilir.

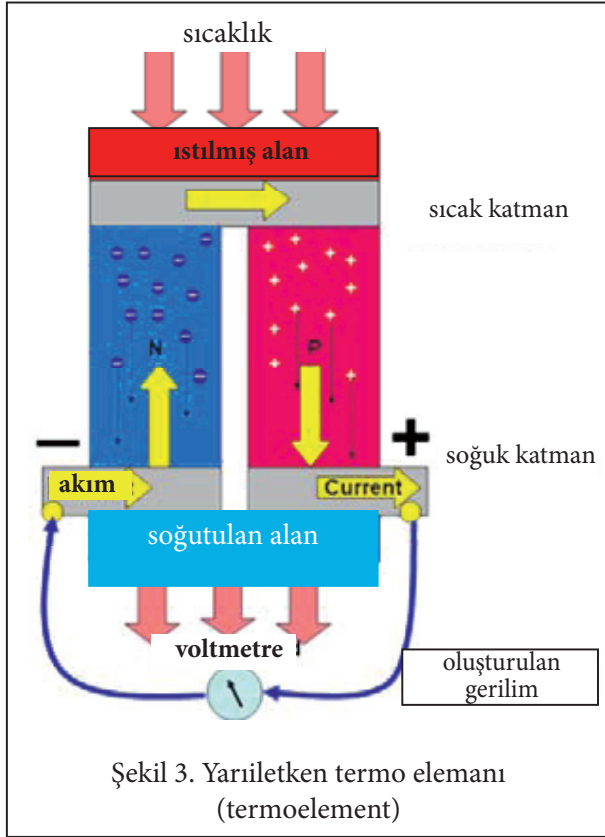


Şekil 2a. Dinistör ya da diyak



Şekil 2b. Tiristör ya da triyak ve simgesi

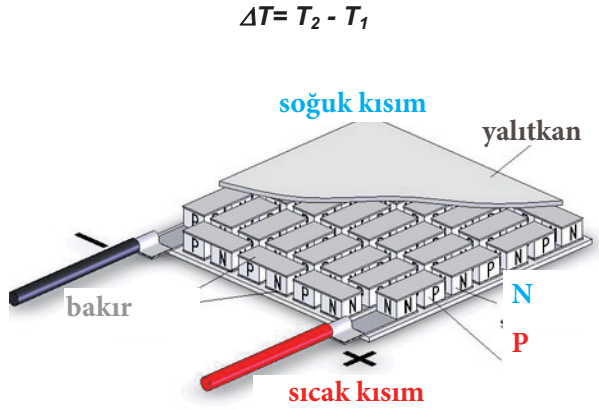
Yarıiletken termo elemanı



Yarıiletken termo elemanı p ve n yarıiletkenlerinden oluşan araçtır ve sıcaklığı ölçmek için kullanılır. Sıcaklık farkından dolayı elektrik akımı üretir.

Çalışma prensibi şöyledir: bir tarafına sıcaklık getirilince (şekil 3) sıcaklık elektronları n-tip yarıiletkende uyarılır ve iletken bölgeye getirir boşluklar ise p-tip yarıiletkende valanslı bölgede getirir.

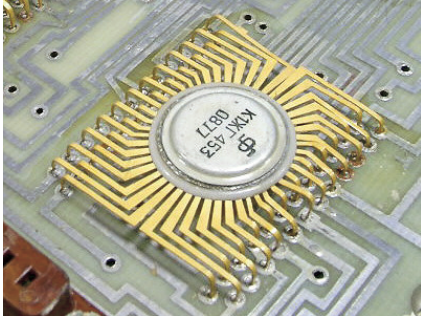
Taşıyıcı miktarları n ve p tip yarıiletkenlerin sıcak taraflarda yoğunlaşır difüzyon yoluyla bunların hareketi daha soğuk kısımlara yapılır (şekil 3). Taşıyıcıların hareketi demek akımın akması demektir. Yarıiletkenlerde potansiyel farkı oluşur ve ölçülecek gerilim sıcaklık farkı ile doğru orantılıdır



Aşağıda verilen kavramların anlamı verilsin:

- S-şeklinde volt-ampmetre karakteristiği
- dinistör (diyak)
- tiristör (triyak)
- yarıiletken termo elemanı

16.7. ENTEGRE DEVRELERİ



Şekil. Rus üretimi entegre devresi

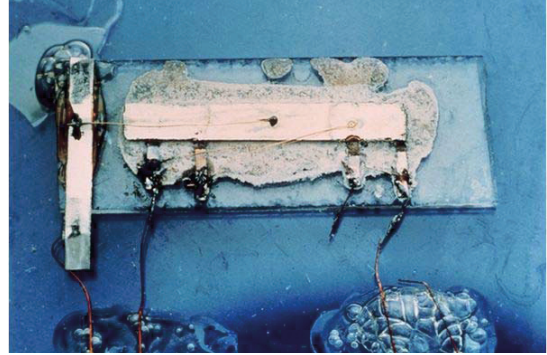
Entegre devreleri elektronikte mikro devreler gibi bilinirler. Minyatür elektronik devrelerini oluştururlar. Günümüzde her elektronik aracın yapısında bulunurlar.

Çok sayıda tranzistörü ve diğer elektronik parçasını bağlayacak yerde entegre devresi yarıiletken plak üzerinde kullanılır. Diğer fiyatı ucuz olduğu için devrelerde entegre edilir. Böylece elektronik araçların da daha küçük boyutta olmaları sağlarlar. Entegre devresinde sayısı bir milyon tranzistörler 1mm² alan kaplarlar. Bir birimlik alanda elektronik parçası sayısına **entegre yoğunluğu** denir.



Şekil. Amerikan üretimi olan entegre devreleri

Entegre devrelerin icat edilmesi



Şekil 1. İlk entegre devresi germanyum cisminde Cek Kilbi tarafından 1958 yılında yapılmıştır

İlk entegre devrenin yapılması için en büyük payı Texas Instruments şirketinde çalışan Cek Kilbi ve FC Semiconductors şirketinde çalışan Robert Noys kişilerdir. Temmuz 1958 yılında Cek Kilbi düşüncelerini yazıp ve germanyumdan yapılacak şemasını çizerek Eylül 1958 yılında tanıtımını yaptı. 1959 yılının başlangıcında diğer bir elektronik parçasının tanıtımını yaptı ve daha çok buluşları olduğu için 2000 yılında Kilbi'ye Nobel ödülü Fizikteki buluşları için verildi. Robert Noys Cek Kilbi'nin yaptığını bitkaç ay sonra yapmış ve silisyumu kullanarak daha gelişmişini yapmıştır.

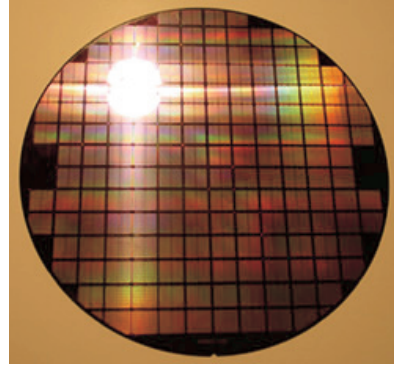
Entegre seviyesi

Altmış yıllarında yapılan entegre devreleri birkaç tranzistörü içermiş. Böyle entegreye düşük seviyeli entegre (Small Scale Integration - SSI). Bugün ise ultrayüksek seviyeli konsantrasyon üçboyutlu mimari entegrasyonu kullanılır ve bir milyar parçaların cm^2 civarında yerleştirilmesi sağlanır. Aşağıdaki tabloda tarihi sıralam yapılmıştır.

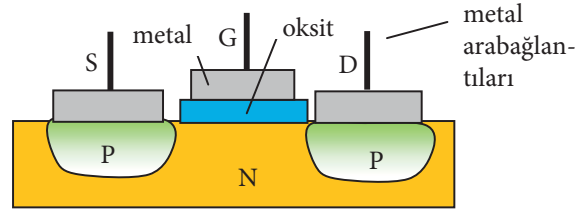
1958	Düşük entegre seviyesi	Birkaç tranzistör	
1960 ve sonrası	Orta entegre seviyesi	Yüzlerce tranzistör	
1970 ortası	Yüksek entegre seviyesi	Birkaç bin tranzistör	
1980	Çok yüksek entegre seviyesi	1 milyon	486 işlemciler
1980 sonrası	Ultrayüksek entegre seviyesi	1 milyar üzeri	pentium
2008	Üçboyutlu entegre mimarisi	1 milyar üzeri	Quad-core

MOSFET tranzistörü entegre örneği

Silisyum monokristal örneği Çohralski metoduyla üretilir ve sonradan disk şeklinde kesilirler kalınlıkları 1mm civarındadır. Şekil 3'te öyle disklerden bir tanesi gösterilmiştir ve 1cm^2 lik entegre devreleri yapılması gösterilmiştir. Bundan sonra entegre devreleri kesilirler ve plastik kutularda yerleştirirler.



Şekil 3. Entegre devreleri 1cm^2 yüzeylerde monokristal diskte

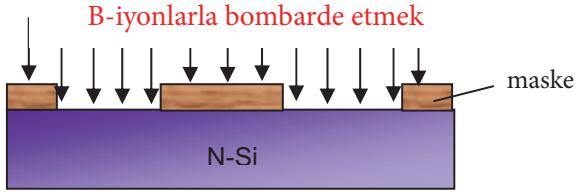


Şekil 4. N-tip Silisyum ana plak üzerinde yapılan MOSFET

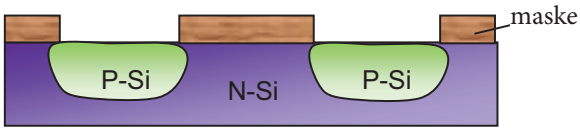
16. Yarıiletkenler

Entegre edilmiş MOSFET üretimi Şekil 4'te kısaca açıklanabilir:

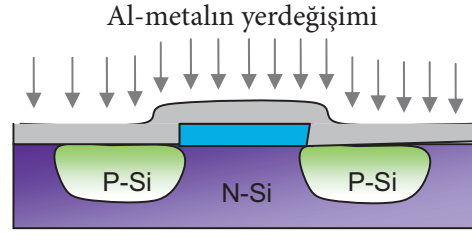
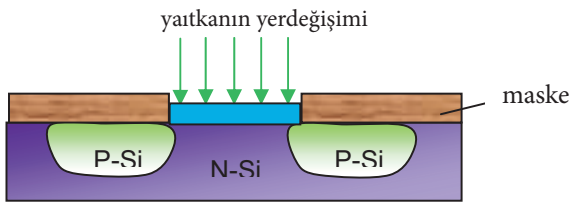
N-tip silisyum plakı p-tipe dönüşür alıcı atomlarla bombarde edilerek.



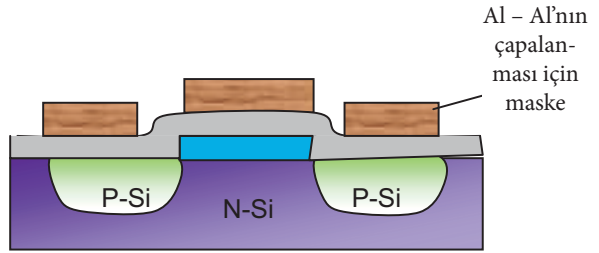
Alıcı atomlarda oluşan boşluklar sayesinde elektronlar sayısını geçerler ve N-Si'yi P-Si'ye dönüştürürlü.



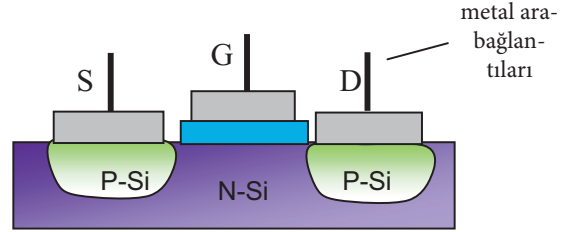
Yalıtılmış katman çökeltilir. Maske ise yalıtılmış katmanın sadece N-Si kısmında çökeltilmiş olmasını sağlamış



Plak yüzeyi saklanılır Al-katmanı durması gerekir. Sonra kimyasal birleşik açık metal yüzeyleri çapalar.



Metal arabağlantıları bağlanılır



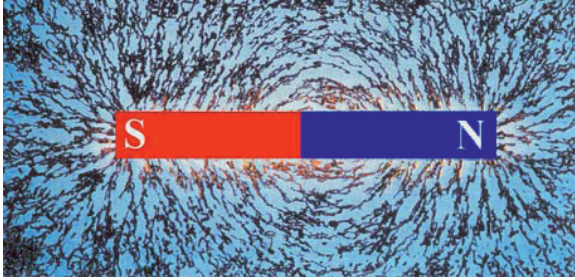
Metal arabağlantıları bağlanır.

Aşağıdaki kavramların anlamları verilsin:

- entegre devresi
- entegre seviyesi
- MOSFET entegrasyonu

17.1. KALICI (GERÇEK) MIKNATISIN MIKNATIS ALANI

Şöyle bir deney yapalım. Mıknatıs yakınında çivi getirelim. Mıknatıs çiviye kendine çeker. Demir cismi yerin çelikten, nikelten veya kobalttan cisim getirelim. Bir mıknatısın etrafında diğer bir mıknatıs getirelim bazı durumlarda birbirini çekerler bazı durumlarda ise birbirini iterler. **Mıknatısın iki kutubu vardır, biri kuzey diğeri güney dir.**

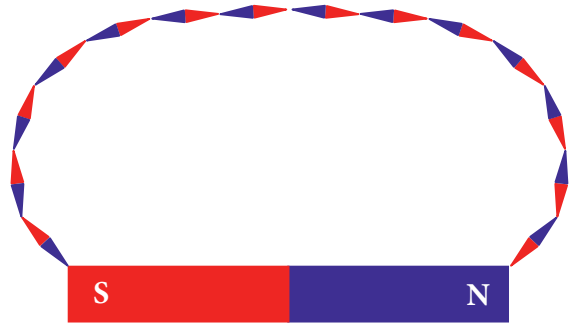


Şekil 1.

Gerçekleştirdiğimiz deney mıknatıs uzaktan da çekebildiğini bize gösterdi. Burada **mıknatıs alanı** var olduğunu anlarız. Mıknatıs alanını etrafta diğer cisimleri etki etmekle görebiliriz. Bir mıknatıs üzerinde cam koyalım ve demir tozu serpelem, demir tozu eğri çizgiler oluşturur (şekil 1). Bu çizgiler mıknatıs alanının **kuvvet çizgileridir**. Görebiliriz ki çizgilerin yoğunluğu her yerde aynı değildir. **Çizgilerin daha yoğun oldukları bölgede (mıknatısın sonları) alan daha şiddetlidir, daha seyrek olduğu bölgelerde (mıknatısın ortası) şiddet daha azdır. Kuvvet çizgilerin yönünü** da belileyebiliriz. Bunu

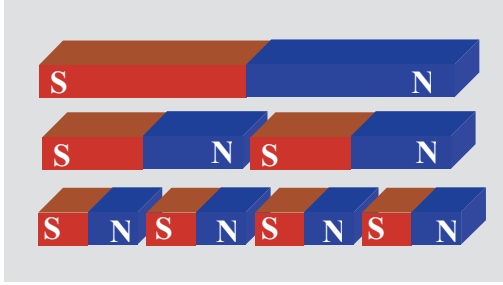
nasıl elde edebiliriz? Mıknatısın bir kutubunda dairesel hareketi yapan diğer bir mıknatıs getirelim. Bu noktada mıknatıs iğnesi kuzey kutubu gösterir ve alanın yönü olarak alınır (şekil 2). Bunu çok sayıda nokta için tekrarlırsak şöyle bir sonuca varırız, **mıknatıs kuvvet çizgileri kapalı çizgilerdir, kuvvet çizgilerin yönü kuzeyden güneye dir.**

Elektrik yükleri hakkında bahsettiğimizde görüyoruz ki olumlu ve olumsuz yükleri ayırabiliriz



Şekil 2.

Mıknatısta kuzey ve güney kutupları ayırmamız mümkün değildir. Mıknatıs alıp ve onun her parçasını yarıya ayıralım göreceğiz ki her ayrılmadan sonra tekrar kuzey ve güney kutubu var olduğunu (şekil 3). **Mıknatısın iki kutubu var ve ayrılmazlar.**



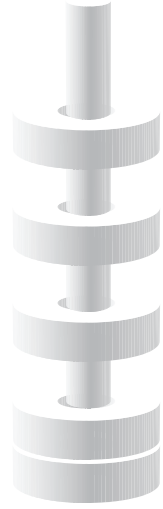
Şekil 3.

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Mıknatıslar cisimleri çekerler doğru mudur?
2. Her mıknatısın mecburi kuzey ve güney kutubu var mıdır?
3. Mıknatıs veya mıknatıs alanı farklı yerlerde aynı şiddetli midir?
4. Mıknatıs kuvvet çizgilerin yönü kimdir?
5. Sağdaki resimde yüzük şeklinde 5 mıknatısın bir çubukta konuldukları görünür. Eğer en alttaki mıknatıs güney kutubu üzerinde yatarsa, en üstteki mıknatıs hangi kutupla yukarıya döndürülmüştür?

6. Çubuk şeklinde mıknatıs alın ve çok sayıda küçük çiviler. Bir çivi mıknatısa asılı dursun. Çiviye bir çivi daha ekleyin ve tekrar bireir çivi daha sıralayın ve tüm çivileri hep böyle tekrarlayın ta ki mıknatısdan ayrılınsınlar. En sonunda çivileri sayın. Aynı deneyi farklı bir yerde tekrarlayın.

Nasıl bir sonuç bu deneyden çıkarabilirsiniz?



Aşağıdaki kavramların anlamlarını verin. Gerekirse örnekler verin

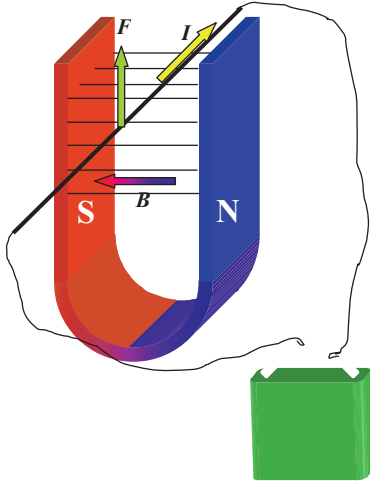
- mıknatıs
- mıknatıs alanı
- kuvvet çizgileri
- kuvvet çizgiler yönü

Mıknatıs, ismini Küçük Asya'daki Magneziya bölgesinde ilk kez mıknatıs maddeni bulunduğu yerden almıştır.

17.2. MIKNATIS ALANI VE AKIM AKAN İLETKENDEN BİRBİRİNE ETKİSİ

Her ileken etrafında miknatis alanı oluşur. Bunu kanıtlamak için iletkeni nal şeklinde bir miknatis alanında (şekil 1) bulduralım ve iletken kenarlarına elektrik enerji kaynağı olan pil bağlansın ve hareket etmeğe başlar. **Akım akan iletkene kuvvet etki eder ve miknatis alanına normal gelir ve akım akma yönüne de normal gelir.** Miknatis alanı iletkene etki ettiği kuvvete **Amper kuvveti** denir. Amper kuvvetin yönünü Fleming kuralı sol el ile verilen (şekil 2) gösterilir. Baş parmak, gösterme parmağı ve orta parmak biri birlerine dik durular. Baş parmak miknatis alanı gösteriri, gösterme parmağı Amper kuvveti ve orta parmak akım yönünü gösterir.

Eğer akım şiddetini iki kez büyütürsek iletkene etki de o kadar büyür.



Şekil 1.

Kuvvet akım şiddeti ile doğru orantılı bulunur. İletkenin uzunluğunu büyütürsek kuvvet tekrar büyür, bu büyüklükler de doğru orantılıdır:

$$F_m \sim I \ell \quad (1)$$

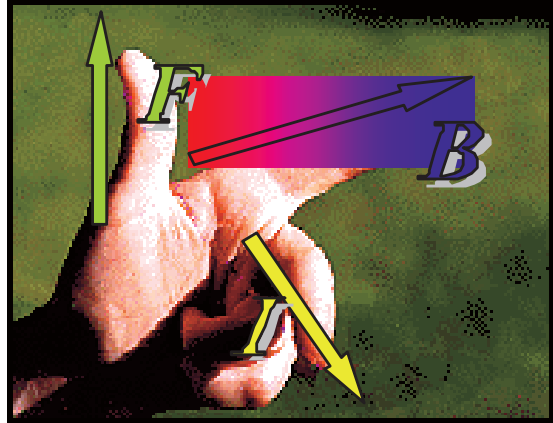
Eşitlik olmak için bir de doğru orantılı sabitesi gerekir, B:

$$F_m = B I \ell \quad (2)$$

Bu doğru orantılı sabitesine fizikte **miknatis induksiyonu** denir. Bunu değeri miknatis alanın karakteristiği dir. Genel şekilde Amper kuvveti:

$$F_m = B I \ell \cdot \sin \alpha \quad (3)$$

α açısını miknatis kuvvet çizgileri ve akımın aktığı yönü oluşturur. Bizim örneğimizde bu açı 90° değerindeydi. Açının bu değeri için kuvvet maksimum dur.



Şekil 2.

Açı azalır eğer mıknatis alanı ile akımın akma yönü dar açıyı oluştururlar. 0° değerinde mıknatis alanı ile akım yönü aynıdır kuvvet de sıfır dır. Mıknatis induksiyonu vektörel büyüklük dır. Denklem (3)'ten elde edilir

$$B = \frac{F_m}{I \ell} \quad (4)$$

Denklem (4)'ten **mıknatis alanı 1 A akım akan 1 m uzunluğunda alana dik duran iletkeneye etki eden kuvvete mıknatis induksiyonu denir.** Mıknatis induksiyonu ölçü birimi tesla (T) dır. Denklem 4'ten birim elde edilir:

$$T = \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ A} \cdot 1 \text{ m}} \quad (5)$$

1 N kuvvetle 1 A akım akan mıknatis alanında dik duran iletkeneye 1 T mıknatis induksiyonu oluşturur.

Daimi mıknatis ve mıknatis alanın kuvvet çizgileri hakkında bahsettiğimizde dedik ki çizgilerin daha yoğun yerlerinde mıknatis alanı da daha şiddetlidir. Mıknatis alanları verildiği resimlerde kimi yerlerde kuvvet çizgileri verilmemiştir. Mıknatis alanın her noktasında mıknatis induksiyonu bulunur, fakat tüm kuvvet çizgileri çizmeyiz. Bu hususta anlaşma var, kuvvet çizgileri çizilsin ne kadar mıknatis induksiyonun modül (büyüklük) değeri varsa. Kuvvet çizgilerin yoğunluğu mıknatis alanın şiddeti için birimi olabilir. Eğer Φ (fi) bir alandan normal geçen kuvvet çizgileri sayısını oluşturursa, S'le alanı işaret edelim o zaman:

$$\Phi = B \cdot S \quad (6)$$

Büyükölük Φ mıknatis flüksü oluşturur. Mıknatis induksiyonu buradan

$$B = \frac{\Phi}{S} \quad (7)$$

Mıknatis flüks birimi veber (Wb) dir, denklem 7'den:

$$1 \text{ Wb} = 1 \text{ T} \cdot 1 \text{ m}^2$$

1 T mıknatis induksiyonu kuvvet çizgileri normal geçen 1 m^2 yüzeyden 1 Wb mıknatis flüksünü oluşturur. Alan normal gelen mıknatis induksiyonu

$$B_n = B \cdot \cos \alpha \quad (8)$$

denklem (10) genel şekilden elde edilir

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha \quad (9)$$

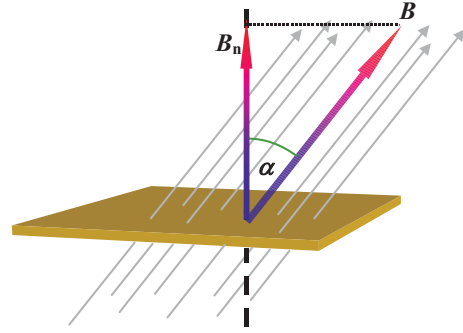
burada α açısı kuvvet çizgileri ile alanın normal arasındaki açıdır (şekil 3).

17. Mıknatis alanı

Aşağıda verilen kavramların anlamı verilsin.

Gerekirse örnek verilsin

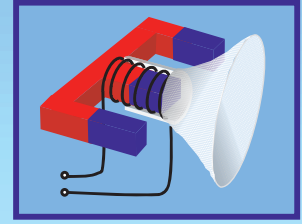
- Amper kuvveti
- Mıknatis induksiyonu
- Feleming kuralı sol el için
- tesla
- mıknatis flüksü
- veber



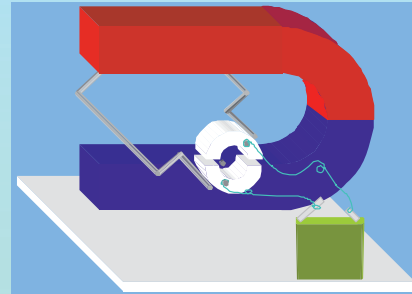
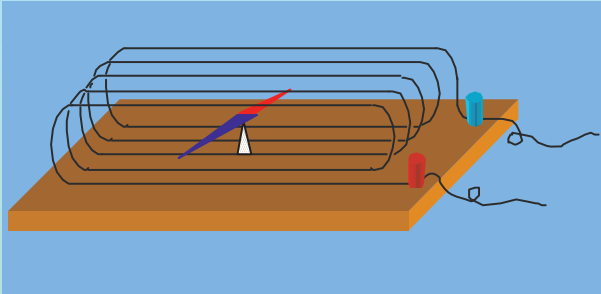
Şekil 3

Mıknatis alanı ve akım geçtiği iletken birbirine etkisi teknikte kullanılırlar.

Tüm hoparlörler bu olayı kullanırlar. Hoparlör membranı bir induktans kalemine bağlıdır. Bu kalem mıknatis alanda bulunur. Kalemden akım tekyünde geçtiğinde, mıknatis alanı kuvvetle kaleme etki eder, bununla membranı da bir yönde etki eder. Kalemden akım bir yönde aktığı zaman kuvvet de yönünü değiştirir, kalem daha doğrusu membranı diğer yönde hareket eder. Böylece akımın değişimi membranın titreşimine dönüşür, daha doğrusu sese.



Ölçü enstrümanları akım geçen iletken ile mıknatis alanın birbirine etkisini kullanırlar. Şekilde aşağıda solda bir ölçü aleti verilmiştir. Bunun çalışma prensibini açıklayın.



İkincisimde bir motor verilmiştir. Motorun çalışma prensibini açıklayın?

Yardım: ölçü araçlarda elektrik sinyali taşıyan temaslara dikkat edin. Yarı silindir sistemi motorlarda kullanılan komutator temaları denir. Komutatorun temalarda dönmesi ile, motorun çerçevesinde polarite değişir. Bu neden böyle dir?

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Mıknatis kendi mıknatis alanı yardımı ile iletken ekiye eder. İletken herhangi bir kuvvetle mıknatisa ekiye eder mi? Bunu açıklayan kanun kimdir?

2. Verilen yüzeyden normal olarak 100 kuvvet çizgisi geçer. Bu yüzeyde flüks eşit midir eğer 100 kuvvet çizigisi bu yüzeyden 30° açı üzere geçerse?

3. Verilen yüzeyden normal şekilde 100 kuvvet çizigisi geçer. Eğer yüzey kuvvet çizigilerine göre eğik şeklini alırsa flüks değişir mi?

4. Galvanometre ve motorlar arasında temel fark nedir? Bir galvanometre motora dönüşür mü ve tersi?

5. İletken 0,5 m uzunluğunda ondan 8 A akım şiddeti geçer ve homojen alanın kuvvet çizgilerine normal şekilde konulmuştur. Alanın iletken ekiye ettiği kuvvet 0,4 N dur. Mıknatis induksiyonu nekadardır? (Cevap: 0,1 T)

6. Mıknatis induksiyonu bir hoparlör alanının 0,15 T değerinde dir. Silindir çekirdeğinin diya-metresi 2,5 cm olan onun üzerine telden 250 sargı sarılıdır ve bir elektromıknatisi temsil eder. Eğer telin direnci 8 Ω verilmişse, hoparlör 15 V gerilime bağlıdır, hoparlörün membranını hareket ettirecek kuvvet hesaplınsın.

(Cevap: 5,5 N)

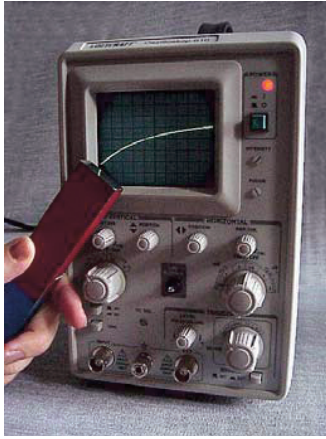
İlginç olaylar

Bazı özel mıknatis alanların mıknatis induksiyonları nekadardır?

Mıknatis alan kaynağı	B (T)
Neutron yıldızın yüzeyi	10^8
Çok şiddetli elektrmıknatisler laboratuvar şartlarında kısa vadeli çıkışlar, yaklaşık	500 kadar
Şiddetli laboratuvar mıknatisleri	20 kadar
Küçük kalıcı çubuk mıknatis	~ 0,01
Dünya yüzeyinin mıknatis alanı	$3 \cdot 10^{-5}$
Yıldızlar arası boşlukta	10^{-10}
İnsan beyni	10^{-12}

17.3. MIKNATIS ALANI VE HAREKETTE BULUNAN ELEKTRİK YÜKÜN BİRİBİRİNE ETKİSİ

Mıknatis alanı ve akım akan iletken birbirine kuvvetle etki ettiklerini gördük. İletkende akım aktığı zaman ondan elektronlar hareket ederler. İletkeni harekete sokan kuvvet mıknatis alanın harekette bulunan elektronlara etki ettiği kuvvettir. Osiloskop çalışınca onun ekranında dikey şekilde doğru görünür, eğer bir mıknatis yanına yaklaştırsak bu doğru eğrilir (şekil 1). Mıknatisı tekrar çekersek doğru tekrar düzlenir ve dikey olur. Bununla mıknatis alanın harekette bulunan yüklere ki etkisidir.



Şekil 1.

Mıknatis alanın mıknatis induksiyonu (B) olan bir ortamda bir elektrik yükü (Q) hızı (v) olan hareket eder. O esnada hız vektörü ve mıknatis alan açısı α oluşturular. Mıknatis alanı harekette bulunan yüke etki ettiği kuvvet şöyle verilir.

$$F_L = qvB \sin \alpha \quad (1)$$

Buna **Lorens kuvveti** denir. Eğer açı 90° hız vektörü ile mıknatis induksiyonu arasında ise, o zaman $\sin \alpha = 1$ olduğuna göre denklem 6'dan şunu elde ederiz

$$F_L = qvB \quad (2)$$

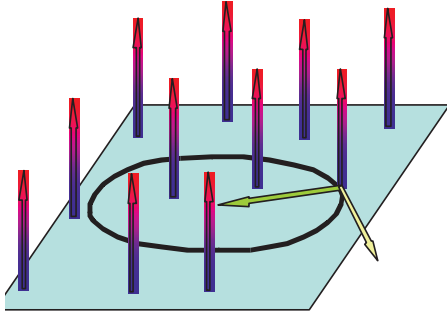
Eğer Amper kuvvetin yönünü Fleming kuralı ile belirlediyssek, Lorens kuvveti de Fleming kuralı ile belirlenir. Burada sağ el pozitif yük için geçerlidir sol el ise negatif yük için geçerlidir. Orta parmak yükün hareket yönünü gösterir, baş parmak mıknatis induksiyonu yönünü gösterir ve gösterme parmağı Lorens kuvvetin yönünü gösterir.

Eğer mıknatis induksiyonu ve yükün hareket hızı arasında açı 0° olduysa, $\sin 0^\circ = 0$ olduğuna göre $F_L = 0$, mıknatis alanı yüke kuvvetle etki etmez.

Newton'un ikinci kanununa göre Lorens kuvvetine **hızlama** uygundur:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_L}{m} \quad (3)$$

burada m yükün kütlesi dir, a hızlamasının yönü Lorens kuvveti ile aynı yönde dir. Mıknatis alanında parçacık dairesel hareket eder ve kuvvet çizgilere normal gelir.



Şekil 2.

Lorens kuvveti etkisinden parçacık **merkezcil hızlamaya** sahip olur, daha doğrusu Lorens kuvveti **merkezcil kuvvettir**. Denklem 3 değişebilir Lorens kuvveti için denklem 2'den elde edilir:

$$a = \frac{q v B}{m} \quad (4)$$

Diğer yandan merkezcil hızlamayı parçacığın hızıyla v verebiliriz, bir de dairenin yarıçapı R :

$$a = \frac{v^2}{R} \quad (5)$$

denklem 4 ve 5'ten

$$\frac{q v B}{m} = \frac{v^2}{R} \quad (6)$$

Bu denklemi düzmekle yarıçapı elde ederiz:

$$R = \frac{m v}{q B} \quad (7)$$

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Hareket etmeyen elektrik yükü etrafında nasıl alan bulunur, hareket eden yük etrafında ise nasıl alan bulunur?

2. Mıknaatıs induksiyon vektörü ile elektrik yükün hızı arasındaki açı dik açıdır, yük daire üzerinde hareket eder. Eğer açı değişirse yükün yörüngesi (yolu) nekadardır?

Yardım: hareket vektörü iki bileşene ayırınız, biri alan normal gelir v_n diğeri alanla paralel v_p dir. İlk önce yükün hareketi incelensin, bileşenlerden sadece birincisi v_n yada sonra sadece ikincisi v_p olsun. İkinci durumda kuvvet nekadardır? Bileşen v_p yörüngeye nasıl etki eder v_n bileşeni ile etki edilen. Bu iki hareketi toplayın. Ne elde edildi?

3. Bir elektron, sükunette bulunan, induksiyonu 0,5 T olan mıknaatıs alanında bulunur. Alan elektrona etki ettiği kuvvet nekadardır?

4. Elektron düzlemde $2 \cdot 10^7$ m/s hızı ile hareket eder, mıknaatıs kuvvet çizgilerine normal ve

induksiyon $B=0,1$ T verilmiştir. Yörüngenin yarıçapı hesaplınsın.

(Cevap:1,1 m)

5. Televizyon veya bilgisayar monitorü çalışsın. Bir mıknaatıs olarak ekrana yaklaştırılsın. Ne olacak? Neden? Dikkat edin!!! Eğer mıknaatıs şiddetliyse ekrana yaklaştırmayın yada uzunsüre aynı yerde tutmayın. Efekt şiddetli olabilir ve belli bir zaman için ekranın karakteristiğini değiştirebilir. Ekrana daha uzak mesafeden yaklaşın (0,5 m). Ekranda değişiklikler gördüğünüzde mıknaatısı uzaklaştırın ekrandan.

Aşağıdaki kavramlara anlam veriniz.

Gerekirse örnekler verilsin

- Lorens kuvveti
- merkezcil hızlama Lorens kuvvetinde
- daire yarıçapı Lorens kuvvetinde

17. 4. AKIM GEÇEN İLETKENİN MIKNATIS ALANI

İki miknatis birbirlerine alanlarının çekme ve itme kuvvetleri ile etki ederler. Akım akan iletken ile miknatis birbirlerine etki ederler, Amper kuvveti ile.

Akım kendi etrafında miknatis alanı oluşturur mu? Bir karton kağıdı alalım onun ortasında iletkeni batıralım ve etrafında metal tozu dağıtalım. İletkene akım getirdiğimiz zaman iletken etrafında metal tozlar çemberler oluşturular (şekil 1).

İletkenden akım aktığı zaman etrafında miknatis alanı oluşur.

Sağ el kuralı kullanarak Amper ve Lorens kuvvetlerin yönlerini belirleriz. **Eğer iletken sağ el ile tutulursa baş parmak akan akımı gösterir ve topulmuş halde olan parmaklar miknatis kuvvet çizgilerini gösterir (şekil 1).**

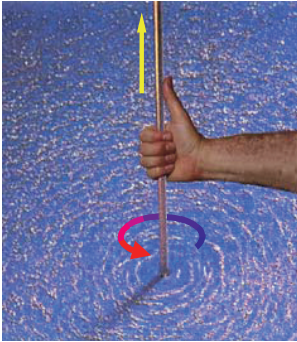
İletkenden akan akım etrafında hezaman miknatis alanı oluşur (şekil 2 ve 3).

İletkenin etrafındaki miknatis alanının induksiyonu nekadardır.

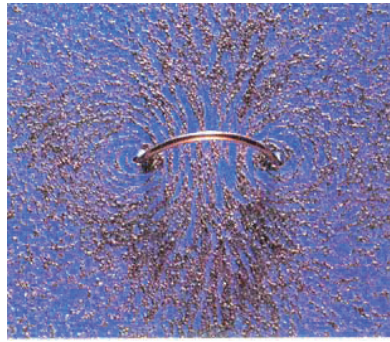
Mantıksal düşünmemiz bizi şu sonuca ulaştırır: iletkenden geçen akım ne daha şiddetliyse, miknatis ündüksiyonu da o kadar daha şiddetli olacaktır. Akımı iletkenden uzaklaşırsak induksiyon zayıflar. Daha bileşik deneyler bize miknatis induksiyon akım şiddetiyle orantılı olduğunu gösterebilir. Daha doğrusu eğer akım şiddeti iki kat yükselirse, miknatis induksiyonu da iki kez yükselir ($B \sim I$). Daha da bileşik olan bir deney ve bir teorik analiz miknatis ündüksiyonun mesafeye ters orantılı olduğunu gösterebilir ($B \sim 1/r$), demek ki:

$$B \sim \frac{I}{r} \quad (1)$$

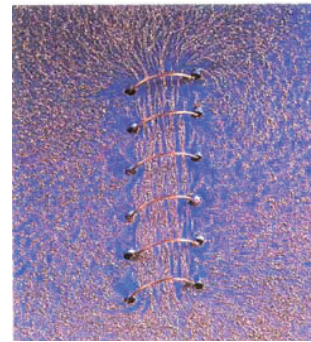
Eşitlik olması için doğruorantılı sabitesi gerekir o da şöyle dir $k = \mu/2\pi$. Bundan böyle miknatis induksiyon denklemini elde etmiş oluruz.



Şekil 1.



Şekil 2.



Şekil 3.

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (2)$$

Denklemden μ_0 vakumda **mıknatis permeabilitesi** dir ve vakum için:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{T m}}{\text{A}}$$

Mıknatis sabitesinin birimi metrede Henri (H/m) dir.

Solenoidin mıknatis alanı (şekil 3) ilgilendirmektedir, çünkü solenoid ile elektromıknatisler yapılıdır. Solenoid makarayı oluşturur, vücudu ve çekirdeği yoktur sadece sargıları vardır. Resimden görüldüğü gibi onun iç kısmında homojen mıknatis alanı oluşur ve her noktasında mıknatis induksiyonu doğru, yön ve büyüklük bakımından aynıdır. Mıknatis induksiyonun iç kısmındaki büyüklüğü şöyle belirlenir:

$$B = \mu_0 \frac{N \cdot I}{\ell} \quad (3)$$

denklemden N solenoid sargı sayısını, I akım şiddeti ve ℓ solenoidin uzunluğu dur.

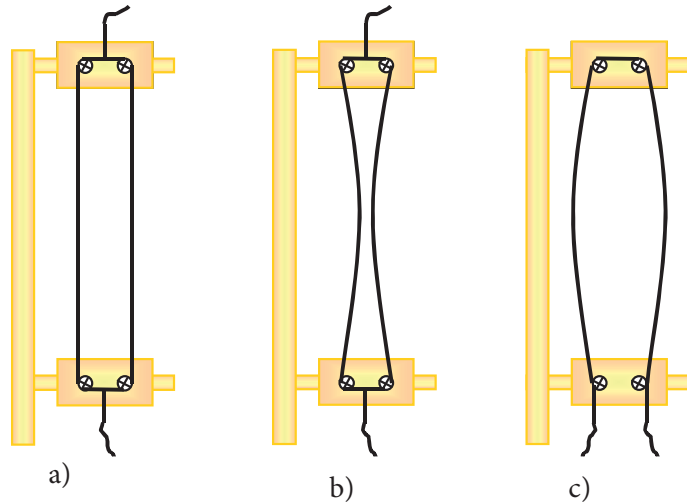
Akım geçen iki paralel iletkenlerin birbirine etkisi

Akım geçen iletken etrafında mıknatis alanın oluştuğunu gördük. Buna göre iki paralel iletken akım geçerse birbirlerine etki edebilirler iki mıknatis gibi birbirlerini iter yada çekerler. Bu hususta yapılan deney iki paralel iletkeni ile ilgili (şekil 4).

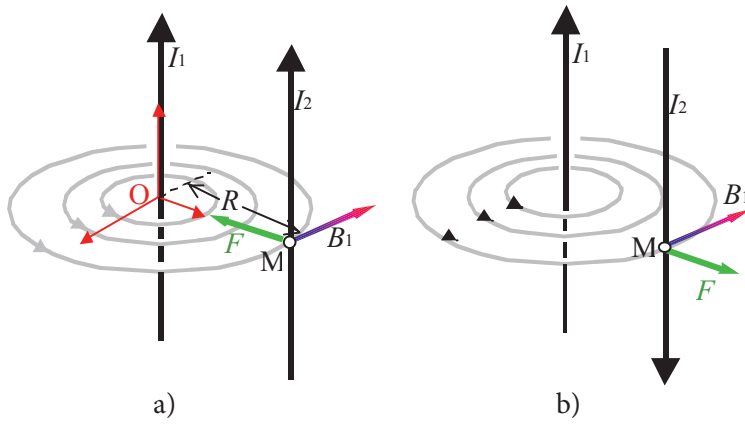
Dikkat! Deneyinizin başarılı olması için şiddetli akımların iletkenlerden akması gerekir. Bu deneyi yaptığınız an ya-

nınızda ders öğretmeniniz yada büyüklerinizden bir kimsenin bulunması gerekir.

İletkenlerin birbirine etki ettikleri kuvvetler yön ve büyüklük bakımından belirlenmesin. Birinci iletkende akım I_1 akar ve ikinci iletkende I_2 akımı akar. Birinci iletkenin etrafındaki mıknatis alanın mıknatis induksiyonu B_1 ile işaretlensin. Fleming kuralı uygulanarak ikinci iletkene etki eden kuvvetin yönü bulunur onu sol elin orta parmağı akımı gösterir, gösterme parmağı mıknatis induksiyonu gösterir ve baş parmak kuvvetin yönünü gösterir. Buradan vardığımız sonuca kuvvetin yönü ikinci iletkene doğru gösterir, aynen öyle ikinci iletkenin kuvvetin yönü birinci iletkenine yönlüdür.



Şekil 4.



Şekil 5.

İki paralel iletkenden aynı yönde akımlar akarsa birbirlerini çekerler.

Aynı deneyi iki paralel iletkenden akımlar ters yönde akarsa tekrarladığımız anda (şekil 5b), kuvvetler dışarıya doğru etki ettikleri için birbirlerini iterler.

İki paralel iletkenden akımlar ters yönde akarsa birbirlerini iterler.

İletkenler birbirlerine etki ettikleri kuvvet hesaplanmak için Bir koordinat sistemin başlangıç noktasında O birinci iletken konulur ve ondan I_1 akımı akar (şekil 5a), M noktasında ise ikinci iletken konulur ve ondan I_2 akımı akar. Her iki iletkenin manyetik induksiyonları B_1 ve B_2 olsun, ve M noktasındaki manyetik induksiyonu B_1 birinci iletkenden oluşan:

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi R} \quad (4)$$

İkinci iletkene etki eden birinci iletkenin kuvveti F, ikinci iletkenin uzunluğu l olduğuna göre kuvvet F şöyledir:

$$F = I_2 \cdot l \cdot B_1 \quad (5)$$

Eğer denklem 5'te manyetik induksiyonu denklemi 4, değiştirilirse:

$$F = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{R} \cdot l \quad (6)$$

denklemden R paralel iletkenleri arasında mesafeyi oluşturur, l ise her ikisinin uzunluklarıdır.

Akım şiddetinin birimini tanımlamak için denklem 6 alınabilir ve Amper (A) dir.

İki paralel incecik iletkenlerden akım 1 A şiddetinde akar, onlar vakumda birbirlerinden 1m uzaklıkta konularlarsa onların herbirinin 1 m uzaklığında $2 \cdot 10^{-7}$ N kuvvet ile birbirine etki ederler.

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Aşağıdakilerden hangisi doğru ve hangisi yanlış sayılır:

- akım akan bir iletkeninin manyetik kuvvet çizgileri etrafında iç içe çemberlerdir;
- akım akan daire şeklinde bir iletkenin manyetik kuvvet çizgileri paralel doğrular dır;
- solenoid etrafında manyetik kuvvet çizgileri kalıcı (gerçek) manyetikteki gibidir.

2. Solenoidin (bobin) iç kısmında manyetik induksiyonu nasıl değişir, eğer solenoidi iki katı kadar uzatırsak?

3. İki iletken birbirine paralel dir ve r mesafede bulunurlar. Birinci iletkenden I_1 akımı geçer, ikinci iletkenden $2 \cdot I_1$ akımı geçer. Birinci iletken ikinci iletkene ne kadar kuvvet ile etki eder, ikinci iletken birinci iletkene ise ne kadar kuvvet ile etki eder?

4. İki iletken hava ortamında biri diğerinin üzerinde konulmuştur. Her birinin uzunluğu 1 m, ağırlığı 1 g dır. Onlardan aynı akımlar ters yönde geçer. Akım şiddetinin değeri ne kadar olması gerekir ki üsteki iletken havada uçar gibi diğerinden 2 cm uzaklıkta dursun. (Cevap: ~31 A)

5. Kendiniz elektromıknatıs yapın. Kurşun kalemine yalıtılmış 30 sargı bakır teli sarın. Kenarlarını 4,5 V pile bağlayın. Elektromıknatısa bir demir cisim yaklaştırın. Mıknatısın şiddetini araştırın normal mıknatısta yaptığınız gibi. Bunu bir de 1,5 V için tekrarlayın. Bundan sonra her gerilim için mıknatıs şiddeti kıyaslansın? Hangi fiziksel büyüklük değişmiştir? Neden? Sargılar sayısını değiştirin ve tekrarlayarak araştırın.

6. EM Field (elektromıknatıs alanı) yazılım paketi yardımı ile akım akan iletkenin mıknatıs alanı sunu gösterilsin. Mıknatıs kuvvet çizgileri çizilsin ve mıknatıs induksiyonu vektörleri farklı noktalar için verilsin. Bu vektörlerin yönleri nasıldır? İletkenlerden farklı şiddetli akımların geçmesi sunumları yapılsın. Bunların kuvvet çizgileri çizilsin. Kuvvet çizgileri akımın şiddetine göre nasıl değişirler?

Challenge Game oyununu gizli bir iletken ile en düşük seviyede başlatın. Boş alana tıklayın vektörün büyüklüğü ve şiddeti için bilgi alınır. Bu bilgileri iletkeni bulmak için kullanın. Başarılar!

**Aşağıdaki kavramların anlamını verin.
Gerekirse örnekler verin**

- iletkenin mıknatıs induksiyonu
- iki paralel iletken arasında Amper kuvveti
- sağ elin yuvarlanmış parmaklar kuralı

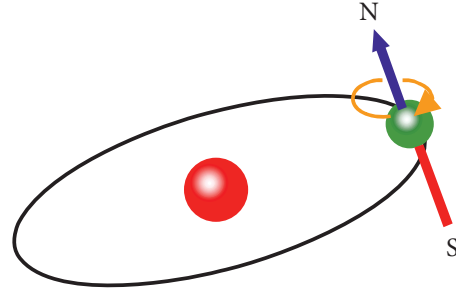
17.5. SÜPSTANSLARIN MIKNATISLIK ÖZELLİKLERİ

Yeterince bilgi mıknatıslık hakkında edinmediğimiz için mıknatısın ne olduğunu açıklayabiliriz.

Magnetizm elektrisite ile yakın olduğunu gördük. İletkenden akım akınca onun etrafında mıknatıs alanı oluşurdu. Burada elektriksel yüklerin hareketi yapıldı. Harekette bulunan elektrik yükü etrafında mıknatıs alanı vardır. Bunu ilk olarak Ceyms Klark Maksvel (James Clarck Maxwell, 1831-1879) açıklamıştır, daha geç zamanlarda bunu Albert Aynştayn (Albert Einstein, 1879-1955) geliştirerek tekrar 1905 yılında özel relativite teorisinde açıkladı.

Normal (kalıcı) mıknatıslarda mıknatıs alanı elektrik yüklerin hareketi hesabına mı yapılır? Bunu cevabı EVET tir hiç şaşırmanın.

Fakat basit bir mıknatıs çubuğunda elektriksel yüklerin hareketi nerde bulunur?



Şekil 1.

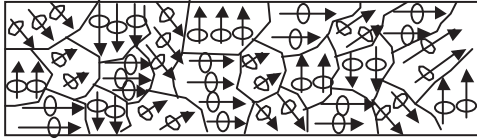
Mıknatıs atomlardan yapılmıştır. Çekirdek etrafında sürekli elektronlar hareket eder (şekil 1). Onlar dairesel yörüngelerde hareket ederler.

Elektronların bu hareketi **orbital miknatıs alanı** oluşturur. Elektron çekirdek etrafında dönerken aynı zamanda kendi eksenini etrafında da döner, buna **spin** denir. Bu hareket yeterli olarak **spin miknatıs alanını** oluşturur. Böylece elektron küçük bir miknatıs gibi olur. Elektronlar çift olarak paketlenedikleri için bunların ters spinleri vardır bunların da ters miknatıs alanları vardır ve biri diğerini yok eder. Bu da malzemelerden çoğu miknatıs olmadıklarını kanıtlar.

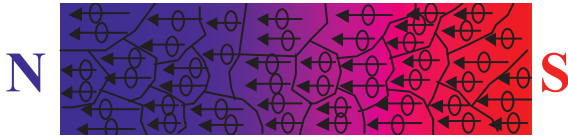
Bazı malzemelerde bu miknatıs alanları tamamen yok edilmezler, örneğin demir, her atomun dört elektronu var ve spinleri aynı yöndedir ve onların miknatıs alanları yok edilmezler.

Feromagnetikler, paramagnetikler, diyamagnetikler

Malzemeler spin miknatıs alanı hakim olan ve orbital miknatıs alanı hakim olan ikiye ayrılırlar. Üçüncü grup malzemeler de mevcuttur bunlarda miknatıs alanı yoktur.



Şekil 2.



Şekil 3.

Spin miknatıs alanı hakim olan malzemelere **feromagnetik** denir. Bu gruba demir, kobalt ve nikel düşer. Bunlarda miknatıs alanı çok şiddetlidir ve bunlar düzgün bir şekilde sıralanarak **miknatıs bölgesini (domenini)** oluştururlar (şekil 2). Eğer bir çiviye şiddetli miknatıs alanında koyarsak, çivi miknatıslarır. Böylece **miknatıslama** yapmış oluruz (şekil 3). Buradan iki etki oluşur. İlkönce sıralanmamış domenler sıralanırlar, ikincisi ise bütün domenler dış miknatıs yönüne göre sıralanırlar. Böylelikle bu iki alan çok şiddetli miknatıs alanı oluştururlar. Sıcak braun hareketi yüzünden dış miknatıs alanı dışlanınca, çivideki domenler yüne düzendir bir şekilde sıralanırlar.

Feromagnetikler katı ve yumuşak olabilirler. Katı feromagnetikler zor miknatıslarlar ve neutraleşirler, örneğin: çelik bir katı feromagnetik sayılır. Yumuşak feromagnetikler kolay miknatıslarlar ve kolay da neutraleşirler, burada örnek olarak: yumuşak demir alınır.

Kalıcı miknatıs yapmak için iki yöntem mevcuttur. Birinci yöntemde göre bir parça çelik alıp şiddetli miknatıs alanında konulsun. İkinci yöntemde göre bir parça çelik bir kaç kez kalıcı miknatıs ile sürtünme yapılsın.

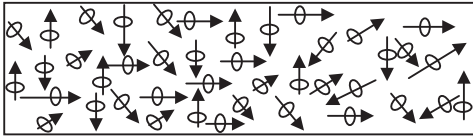
Şimdi mıknatısın kutupları ne sebepten ayrılmadığı kolayca açıklanabilir çünkü her kısmı tekrar mıknatıs gibidir (şekil 4).



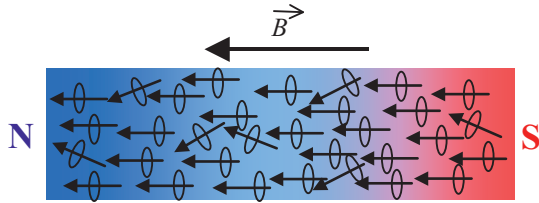
Şekil 4.

Ferromagnetiklerde mıknatıs permeabilite sabitesi sabit değildir ve dış alanın büyüklüğüne bağlıdır. Kalıcı mıknatıs ısıtıldığı zaman belli temperatüre kadar ısıtırsa mıknatıs öelliğini kaybeder ve demir parçasına döner.

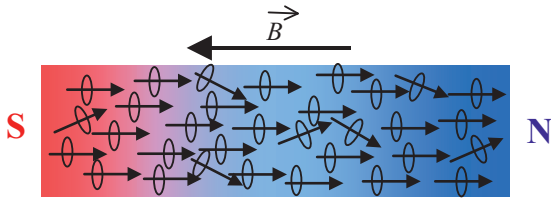
Orbital mıknatıs alanı hakim olan malzemelere **paramagnetikler** denir.



Şekil 5.



Şekil 6.



Şekil 7.

Paramagnetiklerde birbirleri arasındaki etki büyük değildir, bundan dolayı düzenli sıralanma olmadığı için mıknatıs bölgesi (domeni) oluşturmazlar (şekil 5). Dış mıknatıs alanında buldukları zaman mıknatıs alanının yönünde düzenli sıralanırlar ve o anda mıknatıslık özellikleri gösterirler (şekil 6). Dış mıknatıs alanının etkisi bittiği zaman tekrar önceki hallerine dönerler. Böyle malzemeler alüminyum, platin ve oksijen dir.

Üçüncü grup malzemelerde spin ve orbital mıknatıs alanları olmadığına göre bunlara **diyamagnetikler** denir. Mıknatıs alanında bulunmadıkları zaman mıknatıs özellikleri göstermezler. Dış mıknatıs alanında buldukları zaman atomların elektronlarında ek hareketlilik yapılır ve atom kalıcı mıknatısa dönüşür. Diğer iki gruptan farklı olarak diyamagnetiklerin temel mıknatıscıkları dış mıknatıs alanına ters yönlendirler (şekil 7). Bunlardaki mıknatıs alanı bundan dolayı dış mıknatıs alanında daha küçük tür. Dış mıknatıs alanının etkisi bittiği zaman bunlar mıknatıslık özelliklerini kaybederler. Bu gruba bizmut ve gadolinyum düşer.

Maddesel ortamda mıknatıs induksiyonu

Mıknatıs alanı özelliklerini ortama göre değiştirmektedir. Mıknatıs alanı bulunan ortamda ferromagnetik getirilirse, ferromagnetğin alanı önceki alanından birkaç kez daha büyük olur.

17. Mıknatis alanı

Bu örnekten görüldüğüne göre mıknatis alanın mıknatis induksiyonu B değişir. Bir malzemede mıknatis alanın mıknatis induksiyonu B olsun, aynı alanın mıknatis induksiyonu vakumda B_0 olsun, buna göre şöyle tanımlanabiliriz

$$\mu_r = \frac{B}{B_0} \quad (1)$$

relatif mıknatis permeabilitesi bu iki büyüklüğe bağlıdır.

Şöyle bir sonuç verebiliriz **relatif mıknatis permeabilitesi geromagnetiklerde çok büyüktür** ($\mu_r \gg 1$), **paramagnetiklerde birden büyüktür** ($\mu_r > 1$), **diyamagnetiklerde ise birden küçüktür** ($\mu_r < 1$).

Mutlak mıknatis permeabilitesi μ bir maddesel ortamın:

$$\mu = \mu_r \cdot \mu_0 \quad (2)$$

burada μ_r ortamın relatif mıknatis permeabilitesi ve μ_0 vakumda mıknatis permeabilitesi.

Aşağıdaki tabloda bazı ortamların relatif mıknatis permeabiliteleri verilir

Ortam	μ_r
Feromagnetikler	
Demir 99,9%	200 - 500
Alaşım 06,7%Fe; 3,3%Si	600 - 10 000
Permaloj 78%Ni; 22%Fe	8 000 - 100 000
Permaloj 79%Ni; 5%Mo; 16%Fe	100 000 - 800 000
Paramagnetikler	
Oksijen O ₂	1,0000018
Aluminyum, Al	1,000021
Platin, Pt	1,0003
Demir (III) hlorid	1,0025

Diyamagnetikler	
Azot, N ₂	0,9999999938
Karbon dioksit CO ₂	0,9999947
Bakır, Cu	0,9999926
Su, H ₂ O	0,999991
Gümüş, Ag	0,999974
Bizmut, Bi	0,99983

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Mıknatis alanın kökeni nerde dir?
2. Bir mıknatis demir parçasını nasıl çekebilir mıknatis değilken?
3. Demir tozu mıknatisleşmiş değilken, bir alan yönünde düzenli sıralanırlar. Neden?
4. Spini olan her elektronun temel mıknatis oluşturur. Madde atomlardan oluşmuştur. Neden her madde mıknatis olamaz?
5. Mıknatis demirden yapılmıştır. Çivicikler de demirden yapılmıştır. Demir ile mıknatis arasında fark nedir birde çivicikler arasında?
6. Bobinin (solenoid) mıknatis induksiyonu ne kadar değişir eğer onun iç kısmında demir çekirdeği yerleştirilirse $\mu_r = 10000$?
7. Tekrar elektromıknatis yapın. Önceki dersin 6^{ncı} sorusunun etkinliği gibi.

Aşağıdaki kavramların anlamları verilsin.

Gerkirse örnekler veriniz

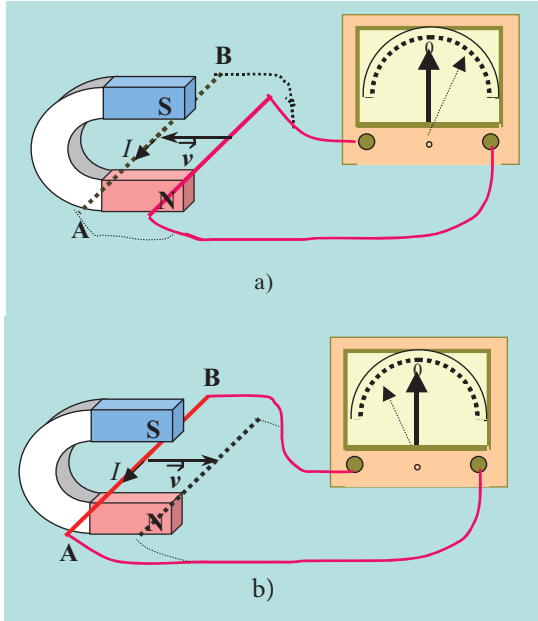
- paramagnetikler
- diyamagnetikler
- feromagnetikler
- relatif mıknatis permeabilitesi
- mutalk mıknatis permeabilitesi

18. 1. ELEKTROMİKNATIS İNDUKSİYONU

Temel deneyler

Akım geçen iletkenin etrafında oluşan mıknatıs alanını öğrendik. Böyle iletkenler zamanla sabit alanlar oluşturular. Zamanla değişen akımlar daha doğrusu zamanla değişen mıknatıs alanlar için yeni olaylar vardır. Bunlardan en önemlisi **elektromıknatıs induksiyonu** 1831 yılına Maykıl Faraday tarafından bulunmuştur.

Bulunan bu önemli olay ilerideki 50-100 yılda büyük teknik araçların yapılmasını sağlamıştır: akım jeneratörü, transformatör, telegraf, telefon, radyo, televizyon ve sayı.



Şekil 1. a) iletkenin mıknatıs alanına girmesi, galvanometre akrebi sağa kayar, b) iletkenin mıknatıs alanından çıkması, galvanometrenin akrebi sola kayar.

Bu olayı anlamak için basit bir deney yapalım. İletkenin kenarları galvanometreye bağlanarak nal şeklinde mıknatıs alanında dolaştırılır (şekil 1). Böyle iletkenin hareketi varken galvanometre akrebinin sapması olur. Diyoruz ki, devrede **indukleşmiş elektromotor kuvveti** oluşmuştur, **indukleşmiş akımın** akmasından dolayı.

Akımın yönü hareketin yönüne ve mıknatıs alanının yönüne bağlıdır.

Eğer mıknatısı ve iletkeni beraber hareket ettirsek, galvanometrede akrebin sapması görünmez.

Buna göre iletkende akımın indukleşmesi için iletken mıknatıs kuvvet çizgilerini **kesmesi** gerekir.

İndukleşmiş akımın yönü **sağ elin Fleming kuralı** ile açıklanır (şekil 2):

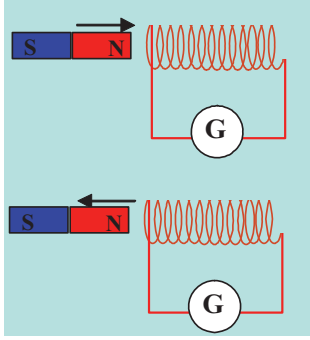
Baş parmak, gösterme ve orta parmak birbirine normal bulunarak ve şu büyüklükleri gösterirler: baş parmak hareketi, gösterme parmağı mıknatıs induktansını ve orta parmak induktans akımını gösterir.

Önceki deney daha etkili olacaktır eğer iletken mıknatıs alanına göre hareket etmesi yerine mıknatıs iletkene göre hareket etsin (şekil 3).

Galvanometre nasıl değişir iletken hareket yönünü değiştirirse incelenir.

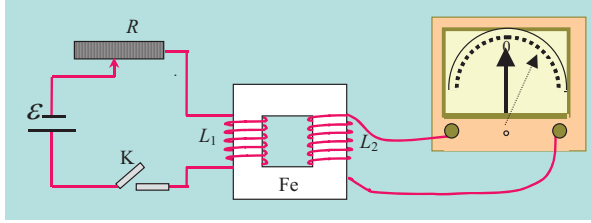


Şekil 2.



Şekil 3.

Deney yavaş ve hızlı hareket ile incelenhin. Ne kakar getirdiniz?



Şekil 4. Primer devrede direnç R ve anahtar K bağlıdır

İkinci deneyler serisini iki dvre ile yapılacak: birincisi, elektromotor kuvveti kaynağı ile bağlıdır ve primer devre adlandırılın ve ikincisi, sadece galvanometre vardır ve sekonder devre adlandırılın (şekil 4). Kalem L_1 den akım geçtiği zaman mıknatıs alanı oluşur ve onun kuvvet çizgileri L_2 kaleme ulaşır.

Primer kalemde mıknatıs alanı değişirse sekunderde indüklemiş elektromotor kuvveti oluşur ve galvanometre akrebi bir tarafa sapar. Mıknatıs induksiyonun \vec{B} değişimini akımın akması yada akımın kesilmesi direnci değiştirmekle yapalım. Her iki olayda akım şiddetinin değişmesi olur, kalem L_1 mıknatıs induksiyonu şöyle verilir:

$$B = \mu_r \mu_0 \frac{NI}{l}, \quad (1)$$

Denklemden görüldüğüne göre mıknatıs induksiyonu da değişir. Burada μ_r mıknatıs permeabilitesi demirin, N sarfı sayısı, l kalem uzunluğudur. Akımın akması ve akımın şiddetinin büyümesi galvanometre akrebi sapar. Eğer akım kesilirse indüklemiş akım ters yönde akar.

Gördüğümüz gibi hiçbir türlü hareket yoktur fakat indüklemiş akım oluşur.

İndüklemiş akım mıknatıs kuvvet çizgilerinin kesilmesi ile yada mıknatıs induksiyon vektörünün değişmesi ile oluşur.

Elektromıknatıs induksiyonun temel kanunu

Şekil 1 ve 3 deneylerinde alan yüzeyi değişir, şekil 4'teki deneyde mıknatıs induksiyonu değişir. Bu iki büyüklüğü hangi fiziksel büyüklüğü bağlıyor?

Mıknatıs flüksi her iki büyüklüğü bağlıyor. Deneylerden şöyle karar getiririz, akımın indüklemesi esnasında **mıknatıs flüksün zamanla değişmesi** oluşur.

Mıknatıs flüksi yüzeyi S olan bir düzlemi delerse, şu denklemlerle verilir:

$$\Phi = BS \cos \alpha \quad (2)$$

denklemden α açısını düzlem normali ile mıknatıs induksiyonu (\vec{B}) yaparlar. Bu açı sıfır olduğu zaman düzlem mıknatıs kuvvet çizgilerine normaldir ve devre maksimum flüksi kapar.

Elektromıknatis induksiyonun teme kanunu şöyle verilir:

$$\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (3)$$

İndükleşmiş elektromotor kuvveti \mathcal{E}_i ters işretli mıknatis kuvvetin değışmesi hızına eşittir.

Eğer akımın indükleşmesi bir N sargılı kalemde yapılırsa, mıknatis kuvvet çizgileri onlardan her bir sargıyı delerler, böylece elektromotor kuvveti N kez büyütür:

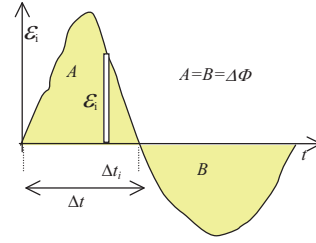
$$\mathcal{E}_i = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad \mathcal{E}_i = -N \frac{\Delta(BS \cos \alpha)}{\Delta t} \quad (4)$$

Mıknatis flüksün değışme hızı önemlidir.

Bilgisayarla etkinlik

COACH 5 yazılımı ile **indükleşmiş elektromotor kuvveti** etkinliği mıknatis çubuğu ve kalem yardımı deney yapın şekil 3'te verilen deneye benzer. Elektromotor kuvvetin mıknatis hareketini değışimine bağılılığı incelenir.

Deney fazla sayıda farklı hızlar için yapılsın. Eğri $\mathcal{E}_i = F(t)$ ile kapsanan yüzey hesaplınsın. Yüzey eğri ve yatay eksen ile kapsar (şekil 5) ve tüm dikdörtgenler ile gösterilebilir ve bir kenarı elektromotor kuvvet \mathcal{E}_i dir, diğeri zaman aralığı Δt , ozaman yüzey her bir dikdörtgenin zaman aralığındaki flüks değışimine eşittir, tüm yüzey ise flüksün değışimi iletkenin alanı kesmesi ve kesmeme.



Örnek ödevler

1. Kapalı akım devresinde mıknatis flüksü 100 Wb'den 0'a 0,2 s zaman aralığı içinde düşer. Bu devrede indükleşmiş EMK nekadardır?

Çözüm

Verilen: $\Phi_1 = 100$ Wb, $\Phi_2 = 0$ Aranılan $\mathcal{E}_i = ?$

$\Delta t = 0,2$ s

$$\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{0 - \Phi_2}{\Delta t} = \frac{100}{0,2} = 500$$

2. Uzunluğu 10 cm olan iletken 0,2 T mıknatis alanında mıknatis kuvvet çizgilerine normal 20 cm/s hızla hareket eder. Kenarlarında nekadardır EMK indükleşecektir eğer kapalı devrenin direncin 2 Ω değeri verilmişse, nekadardır akım geçecektir?

Çözüm

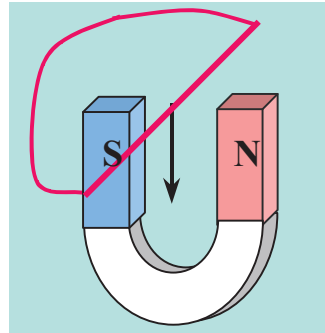
Verilen: $l = 0,10$ m, $B = 0,2$ T Aranılan $\mathcal{E}_i = ?$

$v = 0,2$ m/s $R = 2$ Ω

$$\mathcal{E}_i = lvB = 0,1 \cdot 0,2 \cdot 0,20 = 4 \cdot 10^{-3} \text{ V} ; I = \mathcal{E}_i / R = 2 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

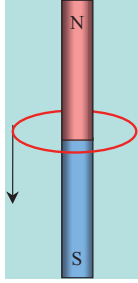
Sorular, ödevler, etkinlikler

1. İndükleşmiş akımın yönü nasıldır eğer iletkenin hareketi şekil 6'da verildiği gibi yapılırsa.



Şekil 6.

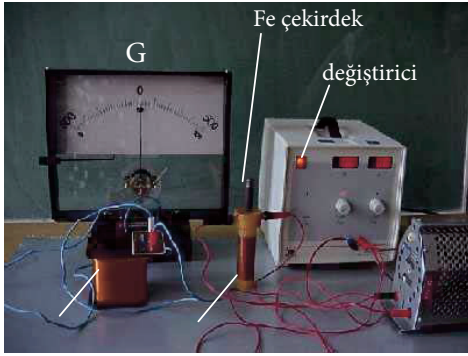
2. İndüklemiş akımın yönü nasıldır eğer iletkenin hareketi mıknatis çubuğu ile paralel yapılırsa, onun yarısı etrafında şekil 7'de olduğu gibi.



Şekil 7.

Yönü okçukla işaret edin!

3. Deneyler serisi yapın: primer devreyi küçük kesitli kaleme (1), gerilime bağlayın (şekil 8), kaydırıcı mekanizmalı direnç R ve anahtar. Kaynak gibi seri şekilde bağlanan 9 ile 12 V piller kullanılır. İkinci devreyi daha büyük kesitli kalem (2) ve galvanometre (G) bağlayın.



Şekil 8. Kırmızı iletkenlerle primer devre bağlıdır, mavimsiyahiletkenlerle sekonder devre

Deneyleri yapınız:

- primer devreye akım bağlayın ve kalem 1 kalem 2 bağlayın. Ne oluşur? Kalem 1 çıkarınca ne olacak?
- kalem 1 sonra kalem 2 iç kısmında konulur ve ona demir çekirdeği yerleştirin. Ne fark edersiniz? Demir çekirdeği çıkarın. Ne değişecek eğer çekirdeğin konulup ve çıkarılması ile.
- İki kalem sistemin, ileri-geri hareket ettirin, öyle ki kalemler arası hareket olmasın. Sapma var mı galvanometrede?
- kalem 1 kalem 2 yerleşsin. Primer devrenin akımı kaptılsın. Galvanometrenin yönüne dikkat edin. Sonra, akımı tekrar açın. Bu deneyi kalem 1 demir çekirdeği konulunca tekrarlayın.

e) Primer devrede direnç değişsin ilk önce çoğalsın sonra azalsın. Bunu hızlıca yaparsanız veya yavaşça nasıl bir gelişme var.

Aşağıdaki kavramların anlamlarını veriniz.

Gerekirse örnekler verin

- | | |
|--------------------------------------|--|
| - elektromıknatis induksiyonu | - mıknatis flüksün değişme hızı |
| - indüklemiş elektromotor kuvveti | - mıknatis kuvvet çizgilerini kesme |
| - indüklemiş akım | - elektromıknatis induksiyonu için temel kanun |
| - mıknatis flüksün zamanla değişmesi | |

18. 2. İNDÜKLEŞMİŞ AKIM İÇİN LENS KURALI

Sağ el Flemin kuralı akımın yönü için mıknatis alanında hareket eden bir iletken için kullanılır.

İndüklemiş elektrik akım yönü için evrensel kural var onu **Lorens kuralı** olarak adlandırırız. 1834 yılında E. H. Lens kurmuştur. İndüklemiş EMK zamanla değişen mıknatis flüksü bir devrede oluşur. O devrede indüklemiş akım akar. İndüklemiş akım mıknatis alanı oluşturur ve buna **indüklemiş mıknatis alanı** denir.

Bahsettiğimiz gibi indüklemiş elektrik-motor kuvveti devrede oluşur ve mıknatis flüks zaman değişimine uğrar. Devrede o zaman indüklemiş akım geçer. İndüklemiş akım mıknatis alanı yaratır ve buna indüklemiş mıknatis alanı denir.

İndüklemiş akımın yönü öyledir ki mıknatis alanı ile mıknatis flüksün değişimine karşı gelir.

Akımın indüklemiş sebebi mıknatis alanına göre iletkenin rölatif hareketi ise indüklemiş akım bu harekete karşı gelir.

18. Manyetik induksiyon

Akımın inukleşmesine neden olarak mıknatis induksiyon büyüklük değişimi ise, indukleşmiş akımın mıknatis alanı o değişime karşı gelir.



Şekil 1.

Şekil 1'de küçük "terazi" fotoğrafı verilmiştir, onda iki alüminyum yüzüğü vardır ve yatay düzlemde kolay hareket ederler. Yüzüklerin biri bütündür, ikincisinin (daha uzakta olanın) kenarı çatlaktır. Alüminyum yüzüğüne mıknatis yaklaştırılınca yüzük mıknatıstan uzaklaşır. Fakat, sistemin sakinleşmesinden sonra mıknatis sopasını yüzükten çıkardığımızda yüzük sopaya yaklaşacaktır. İlk durumda yüzükten elde edilmiş indükleşmiş akım flüksün artmasına tepki gösterir. Mıknatisin, yüzükten çekilmesi esnasında ise mıknatis flüksün azalması olur ve tepki görülür.

Eğer mıknatis çubuğu yüzükere konulur ve çıkarılırsa, ikinci yüzükte indükleşmiş akım yüzüğü kapatamaz çünkü zayıf alan üretirler ve mıknatis flüksü değişimine karşı gelemmez.

Lorens kuralı indükleşmiş elektromotor kuvvetin temel kanunu açıklar:

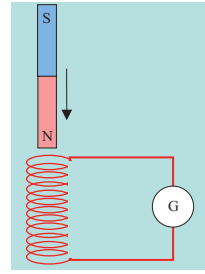
$$\mathcal{E}_i = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (1)$$

Eğer $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$ pozitif tir çünkü $\Phi_2 > \Phi_1$, flüks çoğalır ve indükleşmiş akımın EMK çoğalmaya karşı gelir. Eğer $\Phi_2 < \Phi_1$, flük azalır indükleşmiş EMK bu azalmaya karşı gelir.

Lorens kuralı indükleşme akımının yönü için tüm olaylarda geçerlidir.

Sorulari, ödevler, etkinlikler

1. Kaleme mıknatisin kuzey kutubu girer (şekil 2). Eğer kalem akım devresine bağlı ise ozaman akım yönü nasıldır? Kalemin üst kısmında hangi kutub oluşur?

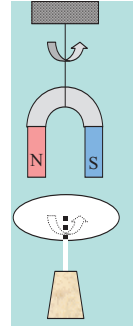


Şekil 2.

2. Önceki soruda mıknatis aşağıya düşer. Mıknatisin hızlanması eşitlidir ne zaman devre açık ve kapalıdır?

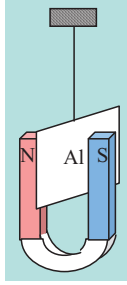
3. Şidetli elektromıknatis kutupları arası metal paranın düşmesi yapılır, onun hızlanması azalır. Efekt açıklansın.

4. Şöyle bir deney yapınız. Alüminyum folyo disk gibi kesilir. Ona dikey bir iğne koyun, onun üzerin mıknatis asılı durur ve merkezini ortalasın (şekil 3). Herhangibir mıknatis alın ve diskin merkezinden asın. Mıknatisi döndürün. Aynı yönde alüminyum diski de dönecek. Deneyi açıklayın!



Şekil 3.

7. İpliğe dörtgen şeklinde alüminyum plakı dursun. Plakı mıknatıs kutupları arasında yerleştirin (şekil 4). Eğer mıknatısı hareket ettirseniz plak da aynı yönde hareket eder. Neden?



Şekil 4.

Aşağıdaki kavramalrın anlamı verilsin.

Gerekirse örnekler de veriniz

- | | |
|------------------------------|-----------------------------|
| - indükleşmiş mıknatıs alanı | - indükleşmiş sobalar |
| - Lorens kuralı | - Fuko akımlarının azalması |
| - kasırgalı elektrik alanı | - elektromıknatıs alanı |
| - kasırgalı (Fuko) akımları | |

18. 3. ÖZİNDUKSİYON. İNDUKTİVİTE

Özindüksiyon

İletkenden akım akarsa etrafında mıknatıs alanı oluşturur. İletkenden değışken akım akarsa mıknatıs induksiyonun büyüklüğü değışir. Demek ki, ortamda öyle bir kendi mıknatıs flüksü değışen bir iletken bulunur. Faradeye göre böyle iletkende elektromotor kuvveti indükleşir ve mıknatıs flüksün değışimine karşı gelir.

Değışken akım akan iletkende elektromotor kuvvetin indükleşmesi olayına **özindüksiyon** denir. Oluşan indükleşmiş elektromotor kuvvetine **özindüksiyon elektromotor kuvveti** denir.

Akım devresinde akan akımdan oluşun mıknatıs flük denklemleri:

$$\Phi = BS \quad (1)$$

Denklemlerde B mıknatıs induksiyonu büyüklük vektörü, S akım devresi ile kapsanan yüzey.

Burada α açısı mıknatıs kuvvet çizgileri ile düzlem normali arasındaki açıyı oluşturur ve sıfır olduğu zaman $\cos \alpha = 1$.

Eğer devrede akım değışirse mıknatıs induksiyonu da değışir bundan dolayı mıknatıs flüksü de değışir.

$$\Phi = LI \quad (2)$$

denklemlerde L **doğruorantılı sabite** veya **özindüksiyon sabitesi** yada **induktivite** denir. İnduktivite akım devrelerinde devre elementlerine bağlıdır ve ortamın mıknatıs permeabilitesine. Verilen devre için induktivite sabite dir. Faradey kanununa göre indükleşmiş emk, özindüksiyonun \mathcal{E}_s elektromotor kuvveti şöyle yazılır:

$$\mathcal{E}_s = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad (3)$$

denklemlerde özindüksiyon emk akım şiddeti değışimi $\left(\frac{\Delta I}{\Delta t} \right)$ doğru orantılıdır.

Denklemler 3 şöyle yazılabilir

$$\mathcal{E}_s = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} = -L \frac{I_2 - I_1}{\Delta t} \quad (4)$$

Δt zaman aralığının sonunda I_2 akımı şiddeti ve başlangıcında I_1 akım şiddeti

18. Manyetik induksiyon

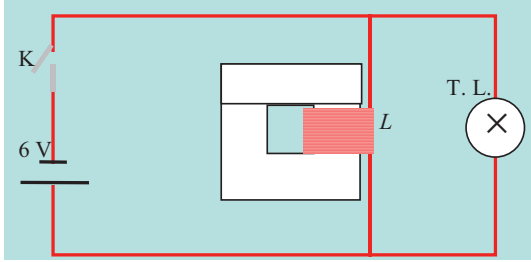
$$I_2 > I_1, \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

Eğer akım çoğalır ise özindüksiyon emk ve özindüksiyon akımının yönü devredeki akım yönüne terstir. Eğer akım azalır ise özindüksiyon emk akımın azalmasına karşı gelir, özindüksiyon akımının yönü devredeki akım yönüne eşittir.

Aşağıdaki deneyler özindüksiyonla ilgilidir, ne zaman bir devrede akımın şiddeti değişir.

Deney 1. Özindüksiyonla dah yüksek gerilim elde edilir akım kaynağının geriliminden.

Şekil 1'deki devre 6 V kaynağa, paralel bağlanan kalem L ve lamba TL bağlanır. Kapalı devrede lamba ışık verir, açık devrede ışık vermez.

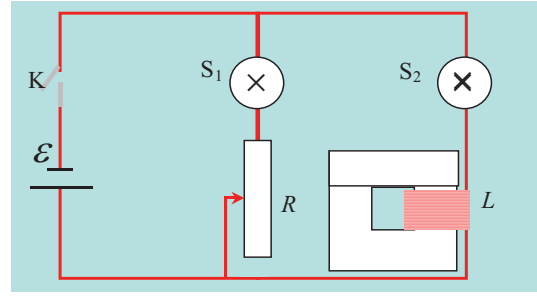


Şekil 1.

Bunu açıklayın?

Akım kapanınca kalemde mıknatıs flüksün değişimi olur, bu değişim özindüksiyon emk nedeindir.

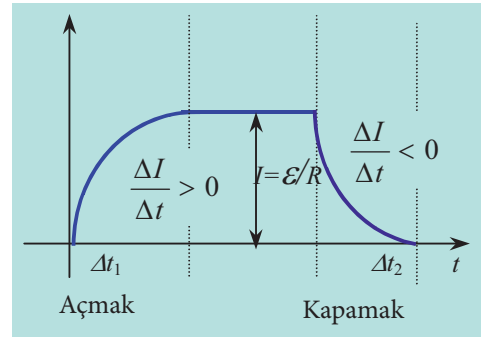
Deney 2. Gerilime iki paralel lamba bağlanır (Şekil 2). Birinci lamba S_1 dalında değişen direnç bağlıdır, ikinci lamba S_2 dalında induktivitesi L olan kalem bağlıdır.



Şekil 2.

Dirençin değişmesi ile her iki lamba aynı ışığı vermesi için ayarlanır. K anahtarı kapanınca S_1 ışık verir, S_2 lambası ise daha geç ışık vermeğe başlar. Bunun nedeni özindüksiyon emk dır.

Akımın her açılıp kapanması ile özindüksiyon emk oluşur. Kalem olana devrelerde akım zamanına bağlıdır Şekil 3'te olduğu gibi.



Şekil 3.

Akım devresi açılınca akım şiddeti hemen Ohm kanunu verebileceği değere ulaşmaz $I = \epsilon/R$, belli bir zamandan sonra Δ_{T1} özindüksiyon emk ya bağlıdır.

Akımın kapatılması ile akım yavaşça azalır ΔI_2 sonra sıfır olur çünkü özindüksiyon emk akımla aynı yönde olur.

İnduktivite

Denklemler 3'teki özindüksiyon elektromotor kuvveti kanunu kullanalım fiziksel büyüklük **induktiviteyi** açıklayalım:

$$\mathcal{E}_s = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

bu denklemden şu görülür:

İnduktivite fiziksel büyüklük gibi bir akım devresinde oluşan özindüksiyonun elektromotor kuvvetine eşittir nerdeki akım A/s hızıyla değişir.

İnduktivite elektrik kapasitesine benzer, iletkenin geometri özelliklerine bağlıdır. İnduktivite bir de ortamın mıknatıs permeabilitesine bağlıdır. İnduktivite μ_r relatif mıknatıs permeabilitesi ile doğru orantılıdır.

Sİ sistemine göre induktivite ölçü birimi **Henri** (H) dir. *Bir iletken 1 H induktivitesine sahiptir eğer değişken akımlı devreye bağlı ise ve akım şiddeti 1 A değişir 1 s zaman süresinde ve iletkenin kenarları arasında 1 V elektromotor kuvveti özindükler.*

Kalemin induktivitesi N sargılı, S kesitili ve l uzunluğunda kalemin induktivitesi:

$$L = \mu_r \mu_0 \frac{N^2 S}{l} \quad (5)$$

denklemden μ_r relatif mıknatıs permeabilitesi ve μ_0 mıknatıs sabitesinin birimi H/m dir.

(5) noktadan görülüyor ki mıknatıs sabitliği μ_0 H/m birimiyle belirtilir.

Mıknatıs alan enerjisi

Şekil 1'deki deneyde devrenin kapanması ile kalemle paralel bağlanan lamba ışık verir. Devre kapanık olunca nasıl ışık verir? Enerjiyi nerden alır? Düşünebiliriz kalemde mıknatıs enerjisi varmış onda birikmiş ve devrenin kapatılması ile lambanın ışık vermesi için haccanır.

Devreyi açtığımızda akım değişir ozaman özindüksiyon elektromotor kuvveti akımın artmasına karşı gelir. Demek kalemde akımı yerleştirmek için bir mıknatıs alanı, özindüksiyonun elektromotor kuvveti yenmesi gerekir.

Devrede akımın kapatılması ve açılması birleşik bir bağlantı oluşturur (şekil 3) mıknatıs enerjisi denklemleri:

$$W_m = \frac{LI^2}{2} \quad (6)$$

W_m **elektromıknatıs enerjisi** induktivite L ve akımın karesi ile (I^2) ile doğru orantılıdır.

Devrenin kapatılmasıyla mıknatıs enerjisi elektrik mıknatıs kuvveti için harcanılır. Böylelikle devrenin kapatılmasından bir müddet sonra da devrede akım vardır.

18. Manyetik indüksiyon

Feromagnetiklerde induktivite büyük olduğu için mıknatıs alan enerjisi de çok büyüktür.

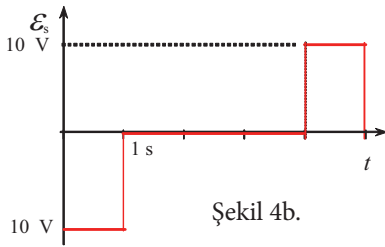
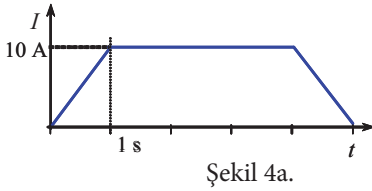
Mıknatıs alan enerjisi yoğunluğu alanın hacim birimindeki enerji oluşturur.

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Elektrik akımının hızlı kaptılması esnasında prizde kıvılcım oluşur neden?
2. Dirençlerdeki tel çiftkenarlı (bifilar) sarılır. Bununla neden kaçınılır?

Örnek ödevler

3. Eğer akım şiddeti grafiği zaman bağlı ise öyle-
si şekil 4a verilmiştir orada induktivite $L=1$ H dir,
özindüksiyon elektromotor kuvvetin grafiği çizil-
sin ve büyüklüğü hesaplınsın.



Çözüm

$$\varepsilon_s = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} = -L \frac{I_2 - I_1}{\Delta t} = -L \frac{I_2}{\Delta t}$$

Çünkü $I_2=10$ A, Δt çoğalırken ve azalırken 1 s dir, özindüksiyon emk büyüklüğü 10 V (şekli 4b) fakat büyürken negatif dir, azalırken pozitif dir akım gibi aynı. Akım değişmediği zaman özindüksiyon emk sıfır dır.

4. Kalemin $N=250$ sarısı olan, mıknatıs alan enerjisi hesaplınsın eğer onun uzunluğu 12 cm verildiyse, kesiti karedir ve kenarı 6 cm dir ve ondan 5 A akım geçer.

Enerjisi ne kadar değişir eğer kaleme çekirdek yerleştirilirse onun permeabilitesi $\mu_r=1000$?

Çözüm

Verilen: Aranılan $W_m = ?$

$$N=250 \quad l=0,12 \text{ m}$$

$$a=0,06 \text{ m} \quad I=5 \text{ A}$$

İlk önce induktivite belirlenir:

$$L = \mu_0 \frac{N^2 S}{l}$$

Değerleri yerleştirilince

$$L = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{250^2 \cdot 0,06^2}{0,12} = 23,6 \cdot \mu\text{H}$$

Enerji ozaman şöyledir:

$$W_m = \frac{LI^2}{2} = \frac{23,6 \cdot 10^{-6} \cdot 5^2}{2} = 295 \cdot 10^{-6} \text{ J}$$

Kaleme demir çekirdeği yerleştirilince enerji 1000 kez büyür o kadar da induktivitesi büyür.

Aşağıdaki kavramların anlamları verilsin.

Gerekirse örnekler de verilsin

- özindüksiyon
- özindüksiyon kanunu
- özindüksiyon
- induktivite
- elektromotor kuvveti
- henri
- kalemin induktivitesi

18.4. ELEKTROMİKNATIS İNDÜKSİYONUN UYGULANMASI

Elektromıknatıs indüksiyonun geniş uygulanması mevcuttur. Çoğu kez Faraday'ın buluşu en önemli buluşlardan biridir bugünkü medeniyetin gelişmesi için.

Değişken akım jeneratörleri

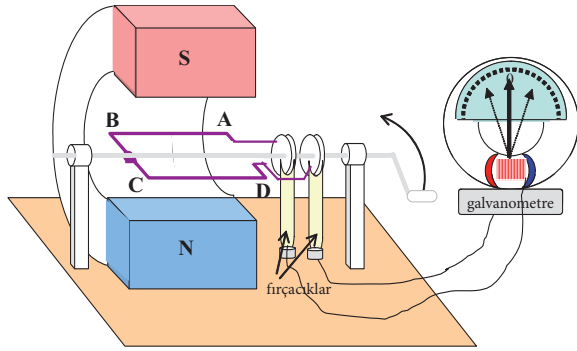
Burada bazı en önemli teknik buluşları gösterelim.

18. Manyetik induksiyon

Bugün yaşam akım jeneratörsüz düşünülemez. Santrallarda değişken akım jeneratörleri kullanılır. Çalışma prensipi şöyledir, iletken çerçeve mıknatis alanda döner ve elektromotor kuvveti oluşur.

Şekil 1'deki deney çerçevesini elle çevirdiğimizde fırçacıklarla bağlı olan galvanometre akımın daimi salınımını gösterir.

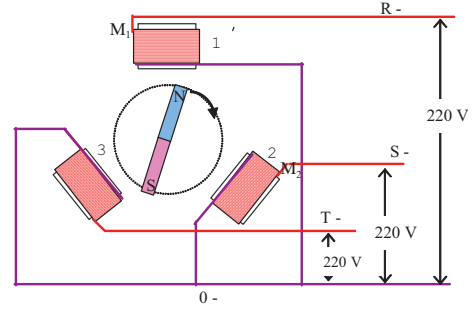
Doğal ki jeneratördeki dönme türbinlerin yardımı ile ve açı hızı daha büyüktür. Genelde jeneratörün şemasını deney gösterir.



Şekil 1.

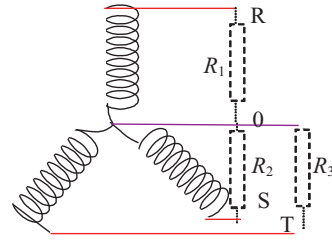
Üçfazlı jeneratörler de aynı prensip üzere çalışırlar.

Üçfazlı akımın oluşması şekil 2'de gösterilir. Üçfazlı akım jeneratörünün yapısı tekfazlı akım jeneratörünün yapısına benzer, stator ve rotordan oluşmuştur. Statorun üç kalemi var ve 120° açılar üzere yerleştirmiş bulunurlar. Her kalemin birer kenarı akımı harcıyıcıya taşır diğer kenarları ise nult (sıfır) iletkene bağlıdır.



Şekil 2.

İletkenler sayısının azalması şekil 2'de veilmiştir.

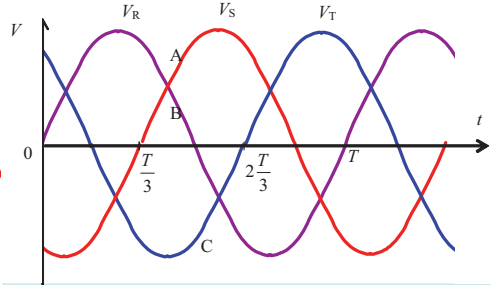


Şekil 3.

Stator kalemleri arası rotor bulunur ve elektromıknatısı oluşturur, sabit akım kaynağına bağlıdır ve orada normal mıknatısın bağlı olduğu rölünü oynar.

Rotorun dönmesi esnasında elektromıknatısın her kutubu kalem 1 yanından geçer gereken zamanda $1/3$ dönmesi kadar, sonra kalem 2 gereken zaman $2/3$ dönmesi kadar sonra kalem 3 tambir dönüş yapması oluşur.

Bir dönüş yapması için gereken periyot T, ozaman her kaleme emk indüklesir $1/3 T$ geçkalma ile öncekisinden (şekil 4). Fazlar R, S, T olarak işaretlenir. Rotorun sürekli dönmesi ile bunları hep aynen tekrarlar.



Şekil 4.

Her kalemde elde edilen gerilimler aynıdır, fakat maksimum akımlar aynı anda edilmezler. Elde edilen gerilim kent şebekesi için 220 V dur. Fazlar arası gerilim ise 380 V dur, ve onlar R ve S yada R ve T yada S ve T dirler.

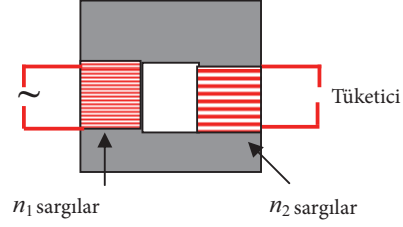
Jeneratörün yıldız bağlanmasında iki türlü gerilim elde edilir. Ağda harcıyıcılar simetrik dirler $R_1=R_2=R_3$ ve o anda her fazda R, S, T aynı akım geçer ve nult (sıfır) iletkende akım geçmez.

Transformatörler

Transformatörler elektromıknatis induksiyon prensipi ile çalışır. İki devreden oluşmuştur, primer ve sekunder. Primer devre akım kaynağı ile bağlıdır ve sekunder devre harcıyıcı ile bağlıdır.

Primer ve sekunder aynı demir çekirdeğine sarılmış bulunurlar (şekil 2). Primer devrede değişen akım aktığı zaman sekunder devrede sinusoidal büyüklüğü değişen akım geçer (şekil 5).

Primer devre U_p gerilimi ve sekunder devre U_s gerilim oranı, primer kalem n_p sargılar sayısı ve sekunder kalemi n_s sargılar sayısı oranına eşittir.



Şekil 5.

$$\frac{U_p}{U_s} = \frac{n_p}{n_s}$$

Primer devrenin gücü $P_p = I_p U_p$ sekunder devrenin gücüne $P_s = I_s U_s$ eşittir:

$$\frac{U_p}{U_s} = \frac{n_p}{n_s} \quad ; \quad U_p I_p \approx U_s I_s$$

$$\frac{U_p}{U_s} = \frac{I_s}{I_p} \quad ; \quad \frac{I_p}{I_s} = \frac{n_s}{n_p}$$

Primerde sargılar sayısı sekunderdeki sargılar sayısından küçüktür. Primer gerilimi daha büyük gerilim dir ve primerin akımı sekunder akımından daha şiddetlidir.

Teknikte elektromıknatis induksiyonu kullanan birçok araç vardır: ölçü enstrümanları, elektromıknatis dalgaların taşınması, elektrik enerji sayacıları, induksiyon sobaları, indüktörler, elektrik trenleri ve diğerleri.

Aşağıdaki kavramaların anlamları verilsin

- değişken akım jeneratörü
- üçfazlı akım
- transformatör
- üçfazlı motor

19.1 RADYODALGALARIN DOĞASI HAKKINDA

Elektromıknatis dalgalar spektrum (tayf) kavramı. Radyodalagaları o spektrumun kısmı

Elektromıknatis dalgaları hergün rastladığımız dalgalardır. Görebildiğimiz ışık elektromıknatis dalgalar geniş dizisinin küçük bir kısmıdır.

Radyoyu dinlemek, televizyon bakmak, cep telefonuyla konuşmak hepsinde elektromıknatis dalgaları kullanılır. Soğukta soba yanında ısınmak için oturduğumuz zaman elektromıknatis dalgaları kullanılır.

Tüm bu dalgaların farkı nedir?

Bunların farkı onların dalga uzunluklarında bulunur. Elektromıknatis ışınması dalga boyu değişir. Şekil 1'de elektromıknatis dalgalar dizisinin dalga uzunluğuna göre gösterilmesi verilmiştir.

Eğer dalga dalga uzunluğu ile belli edilmişse ona uygun frekans gelir:

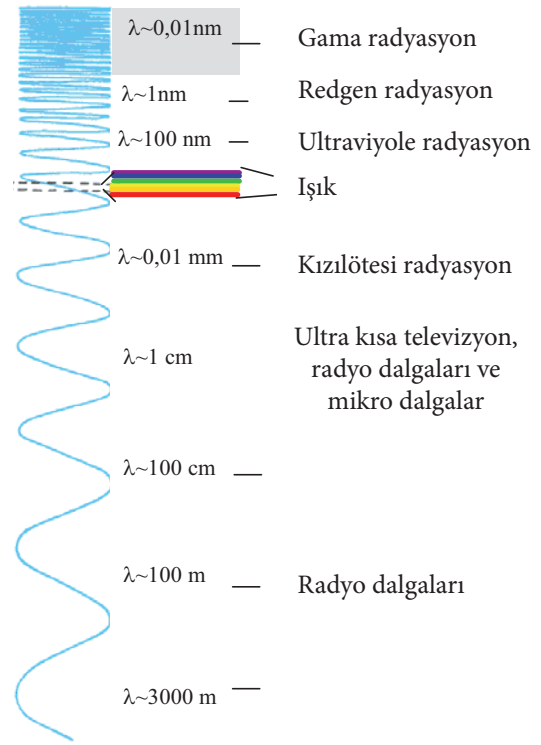
$$f = \frac{v}{\lambda} \quad (1)$$

denklemde v dalga hızı verilen ortam için dir. Vakum için bu denklem şöyledir:

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (2)$$

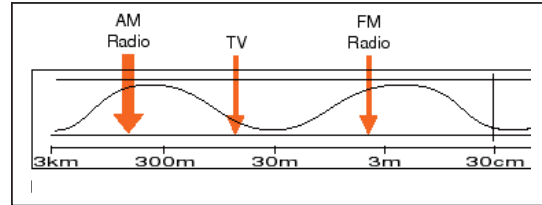
nerdeki herhangi bir elektromıknatis ışınması hızı ışık hızına c eşittir.

Elektromıknatis spektrumun bir kısmından görüldüğü gibi radyodalgalara aittir. Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1.

Radyodalgalar en uzun dalga uzunluklu elektromıknatis dalgalarıdır. Onların dalga uzunluğu 3km ila 30 cm arasında dir.



Şekil 2. Radyo dalgalar dizisi

Aramızda bulunan çok sayıda araçlar radyo dalgaları kullanır (şekil 3).

Uzaydaki cisimler gezegenler, kometler, gaz ve tozdan oluşan cin büyüklüğünde bulutlar, elektromıknatis dalgaları farklı dalga uzunluklarında yayarlar.

19. Radyodalgalar

Bazılarının dalga uzunluğu kilometre büyüklüğünde olabilir.

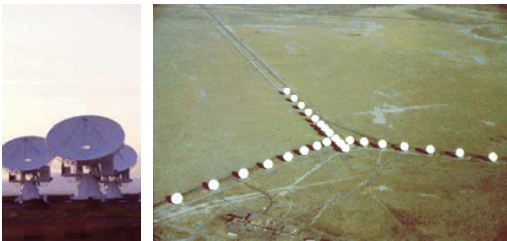


Şekil 3. Radyo, televizyon ve cep telefonu radyo dalgaları kullanan araçlar dırilar

Uzay cisimleri astronomik radyoteleskoplarla araştırılırlar. Dalga zunlukları bu dalgaların çok büyüktür, radyoteleskoplar büyük metal aynaları temsil ederler diyametreleri 10 metreden üzeridir, radyo dalgaları teleskopun odak noktasına yansıtırlar.

Daha net resim almak için birkaç yansıtıcı ayna kullanılır (şekil 4).

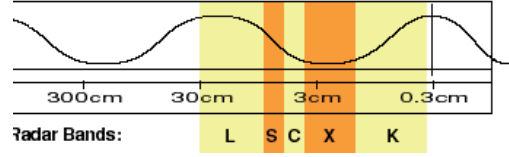
Çok sayıda astronomik cisimleri radyodalgaları yayarlar bunları astrofizikçiler 1932 yılında bulmuşlar ve radyoastronominin gelimesi başlamıştır. Radyoastronominin öncelliği var çünkü araştırmalarına hava şartları etki etmez.



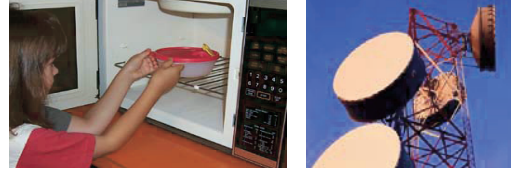
Şekil 4. Solda çok sayıda antenler; sağda Yeni Meksika VLA (Very Large Array) observatorisi 27 antenden oluşan 36 km'lik bacalarda yerleştirilmiştir

Radyo dalgalar kısmında mikrodalgalar da yer alır.

Mikrodalgalar dalga uzunlukları santimetre civarında dırilar (şekil 5). Bu dalgalar mikrodalga fırınlarından mada radarlarda da kullnılırlar (şekil 6).



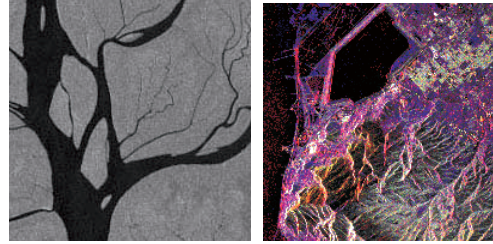
Şekil 5. Mikrodalga alanı



Şekil 6. Mikrodalga fırını; sağda - radar anteni

Radar mikrodalgayı yansıtma ile cismin resimini oluşturur.

Mikrodalgala bilgileri bir yerden diğer bir yere taşımak için uygundur, örneğin: telefon konuşması, bilgisayar bilgileri ve sayı. Taşınması esnasında enerjilerini kaybetmezler sislerden, kardan ve tozlu bulutlardan geçerken.



Şekil 7.

Şekil 7'de verilen fotoğraflarda Amazon ırmağı 20 cm dalga uzunluğu dalgaları ile uydu ve radardan yapılmıştır bir de sağda Salt Leik City uydudan yapılmıştır.

Geçen yüzyılın 60'ci yıllarında mikrodalgaları bulunmuştur, astrofizikçiler için büyük önemi var çünkü bununla Big Ben teorisi tazdıklanır.

19. Radyodalgalar

19.2. RADYODALGALAR SPEKTRUMU (TAYFI)

Radyodalgalar, elektromıknatis dalgalar spektrumundan küçük bir kısmını oluşturarak kendileri de daha küçük dizilere ayrılırlar.

Dalgalar dizi 3 Hz ile 300 GHz frekansında şöyle yerleşmiş bulunurlar

İsim İngilizce kısaltma	İsim	Frekans	Dalga uzunluğu	Teknik uygulama
ELF (Extremely Low Frequency)		3 Hz - 30 Hz	10 Mm - 100 Mm	Denizaltı iletişim
SLF (Super Low Frequency)		30 Hz - 300 Hz	1 Mm - 10 Mm	
ULF (Ultra Low Frequency)		300 Hz - 3 kHz	100 km - 1 Mm	
VLF (Very Low Frequency)	Milimetre dalgaları	3 kHz - 30 kHz	10 km - 100 km	Denizaltı iletişim
LF (Low Frequency)	Uzun dalgalar (DV), kilometrelik dalgalar	30 kHz - 30 kHz	1km - 10 km	Radyo, radyo navigasyon
MF (Medium Frequency)	Orta dalgalar (SV), hektometrelik dalgalar	300 kHz - 3 MHz	100 m - 1 km	Radyo
HF (High Frequency)	Kısa dalgalar (KV), dekametrelik dalgalar	3 MHz - 30 MHz	10 m - 100 m	Radyo
VHF (Very High Frequency)	Ultrakısa dalgalar (UKV), metrelik dalgalar	30 MHz - 300 MHz	1 m - 10m	Radyo, televizyon, radar
UHF (Ultra High Frequency)	Mikrodalgalar, desimetrelik dalgalar	300 MHz - 3 GHz	1 dm - 10 dm	Televizyon, mobil telefonlar (örn, GSM), mikrodalgalı fırınlar, telsiz bilgisayar ağları (örn, WI-FI)
SHF (Super High Frequency)	Santimetrelik dalgalar	3 GHz - 30 GHz	1 cm- 10 cm	Radyo, yönlü bağlar, uydu televizyon
EHF (Extremely High Frequency)	Mikrometrelik dalgalar	30 GHz - 300 GHz	1 mm - 10 mm	Yönlendirilmiş bağlar

Bilgiler şu adresten alınmıştır http://hr.wikipedia.org/wiki/Radio_valovi

Aşağıdaki kavramlara anlam verin:

- elektromıknatis dalgaları
- radyodalgalar
- mikrodalgalar

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. En uzun radyo dalgaların frekansları hesaplan-
sın (şekil 2).
2. Radyo dalgalrı ışık dalgaları oldukları denile-
bilir mi?
3. Radyo astrofiziğin öncelikleri optik astofiziğe
göre kimlerdir?
4. Okul kütüphanesinde astronomik observato-
rileri hakkında literatür isteyin, onların türlerini
öğrenin ve uygulanmaları hakkında bilginizi ge-
liştirin.

**19.3 RADYOYAYIMLAMA
(RADYOTRANSMİSYON)**

*Televizyon canlı yayınlarını aynı anda
Dünya'nın her yerinde izlenebilir. Bugün haber-
leşmesiz bir yaşam düşünülemez. Radyolar, tele-
vizyonlar, uydular bilginin taşınması için, inter-
net, mobil telefonlar ve diğerleri.*

*Haberleşmenin gelişmesi insani insana
yakınlaştırır, dünyadaki olaylardan haberdar
eder, dünyanın her yerinde bilgilere ulaşılır. Ha-
berleşme bir araçtır dünyayı bir global köyüne
çeviren.*

Haberleşme, bilgiyi kablo veya telsiz (elektro-
mıknatis dalgalar) yardımı ile uzaklara taşınma-
sını temsil eder.

Radyotekniğin elemanları

XX y.y da Fleming'in vakum diodu bulması ve Li
De Forest'in triodu bulması radyodalgaların kab-
losuz taşınması yapılmaktadır. Tekniğin gelişmesi
yarıiletkenler fiziğinin ve mikroelektronikğin ge-
lişmesine dayanır.

Bilindiği gibi radyoteknik dalgaların üretil-
mesine dayanır, dalgalar verilmesi ve alınması.
Radyodalgaların yayılma yöntemlerini ve şartları
öğrenmemiş şarttır.

Popov ve Markoni bulucuların isimleri bil-
ginin tarihte ilk kez elektromıknatis dalgaları ile
taşınmasına bağlıdır. Nikola Tesla'nın buluşları
da çok önemli dir.

Radyo bağların oluşması için verici sinus tit-
reşim sinyalleri yayan modulatörden, şiddetlendi-
rici ve verici antenden oluşmuştur. Anten şiddet-
lendiriciye bağlı metal iletkenlerdir, sinyaller şiddet-
lenerek elektromanyetik dalgalar halinde yayılır.

Verici de antenden, demodulatörden, şid-
detlendirici ve dönüştürücü (hoparlör)'den oluş-
muştur.

Yayımlanan elektromanyetik dalgalar alıcı
antende az güçlü yüksek frekanslı elektrik titre-
şimlerine dönüşür. Demodülasyon ile güç dönü-
ştürücüde etki yapabilmektedir.

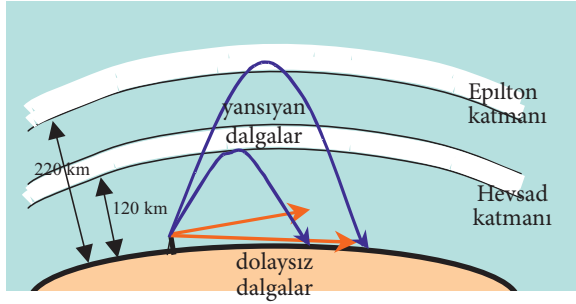
Homojen bir ortamda elektromanyetik dalgalar
doğrular şeklinde yayılmaktadır.

Markoni'nin ilk deneyleriyle vericiden yayı-
lan dalgalar Kuzey Amerika'daki alıcıyla alınmış-
tırlar.

Yayımlanan elektromanyetik dalgalar alıcı
antende az güçlü yüksek frekanslı elektrik titre-
şimlerine dönüşür. Demodülasyon ile güç dönü-
ştürücüde etki yapabilmektedir.

Homojen bir ortamda elektromanyetik dal-
galar doğrular şeklinde yayılmaktadır. Dünyanın
durumuna göre gelebilecekleri uzaklık çok azdır
(ortalama on kilometre).

Markoni'nin ilk deneyleriyle Avrupa'dan ve-
riciden yayılan dalgalar Kuzey Amerika'daki alı-
cıyla alınmıştırlar.

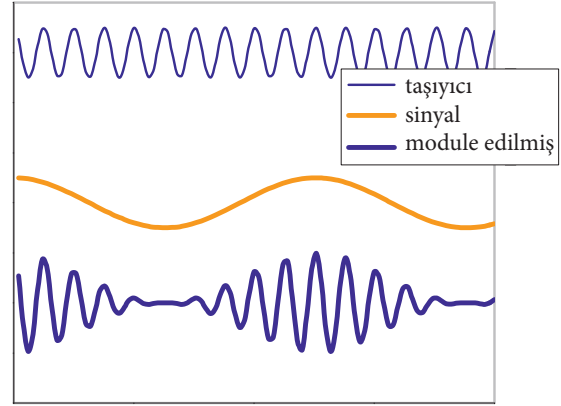


Şekil 1. Yonosferden radyodalgaların yansıması

Hevisayd ilk olarak dünyanın yonosfer katmanından elektromanyetik dalgaların yansıdığını açıklamıştır (şekil 1). Daha sonra Epilton böyle bir kaç katmanın bulunduğunu ve yonosferi oluşturduğunu (60-300 km) anlatmıştır. Bu katmandaki iyonlaşma süreçleri Güneş ışınları ile uzaydan gelen kozmik ışınların etkisi ile olur. Elektromanyetik dalgaların bu katmandan yansımından uzak mesafelere yayılması ve yakalanması olayı gerçekleşmektedir.

Radyo. Modülasyon ve demodülasyon

Ses 20-20000Hz frekansında yayılmaktadır. Sesin uzaklara yayılması için önce elektrik titreşimlerine çevrilerek sonra da elektromanyetik dalgalara dönüştürülmesi yapılmalıdır. Mikrofonlarda ses enerjisi elektrik titreşimlerine dönüştürülür ve açık titreşim devresi ile yapılan rezonans sayesinde uzak mesafelere elektromanyetik dalgalar halinde yayılır. Fakat böyle bir elektromanyetik dalganın düşük frekansa sahip olmasından radyobağlar kopabilmektedir.

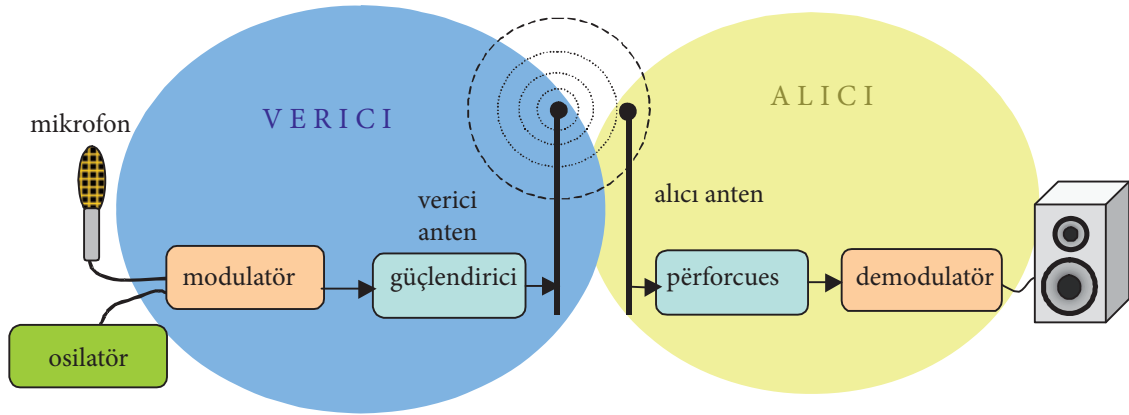


Şekil 2. Amplitüt modülasyonu: taşıyıcı dalga, sinyal ve module edilmiş dalga. Sinyal ses dalgasının bir tonu dur.

O yüzden bu ses titreşimlerin yüksek frekanslı titreşimlere (1000 000 Hz) çevrilmesi gerekir. Bu sürece **modülasyon** denir ve modulatör denen radyo vericide gerçekleşmektedir (şekil 2). **Verici antene** gelen bu dalgalar ortama şiddetlenmiş elektromanyetik dalgalar halinde yayılırlar.

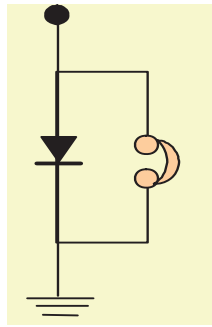
Bu dalgalar **alıcı antende** rezonans devre ile yakalanmakta ve rezonans ile maksimum bir elektromotor kuvveti induklemektedir (EMK). Oluşan akımın yüksek frekanslı olmasından hoparlörde titreşim meydana gelmemektedir. O yüzden ses sinyallerinin taşınan dalgalardan ayrılması gerekir ve hoparlörde ki kaleme koyverilir.

Bu ayrılma sürecined **demodülasyon** denir.



Şekil 3. Uzaklara sesin taşınması. Radyo prensibi.

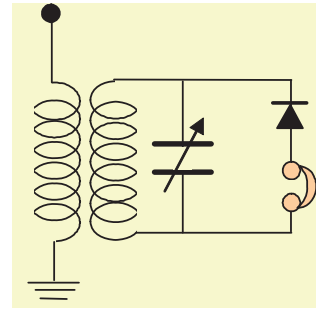
Devrede vakum diodu da kullanılarak yalnız bir yönde elektrik titreşimleri akmaktadır (şekil 4). Böylece kulaklıklardan sadece düşük frekanslı titreşimler ulaşır.



Şekil 4. Yarıiletken diyot ve demodulör

Yüksek frekanslı komponent kulaklıkların indüktivitesiyle bastırılır. Bu durumda zar aynı frekans ile titreşip sese dönüşmektedir.

Böyle alınans ses basit görünür, antenin aldığı sinyalin gücü yeterli büyüktür ve bir elektromıknatis titreşimli kaynağından sadece alınır. Ortamdaki farklı frenaslı titreşimlerden gereken titreşimleri ayırmaya alıcının yüklenmesi denir. Alıcının titreşim devresinde yüklenme süreci gerçekleşmektedir (şekil 5).



Şekil 5. İstenilen frkansın seöilmesi. Makedonya radyosunu dinlemek isterseniz, alıcıyı 820 kHz ayarlayın

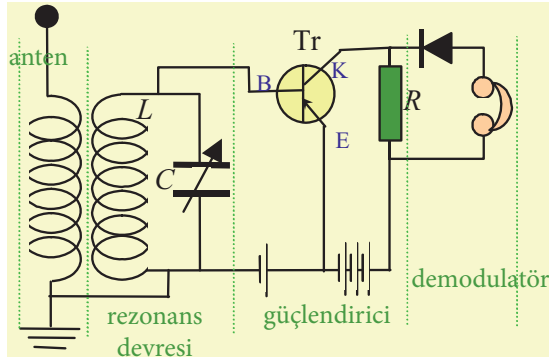
Titreşimli devre kalem (L) ve değışen kondenzatör (C) oluşmaktadır, devrenin özfrekans:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

Kapasitenin C değişmesi ile titreşim frekansları ile radyo dalgaların titreşimleri ile eşit olacaktır. Bu olaya rezonans denir. Bu esnada yüksek frekanslı akım maksimumdur. Aynı anda, diğer tüm frekanslar alıcı antene ulaşamaz, indüklenmiş gerilim küçük olur ve tetrisim yapamazlar membrane, ses işitilmez.

Güçlendirici

Elektrik titreşimlerin güçlendirilmesi önceden elektron lambaları ile, şimdi ise tranzistör ile yapılmaktadır. Böyle bir güçlendiricinin MOSFET tranzistörü ile aşağıdaki şekilde gösterilmiştir:



Şekil 6. Radyo alıcı devresinde güçlendirici

Seçilen module edilmiş dalga bir güçlendirici tranzistörün baz ve emiterine getirilir. Bu güçlendiricinin çıkışı emiter giriş ve çıkış için ortaktır ve kolektör. Dirençten geçen akım girişte getirilen akıma göre değişir fakat birkaç kez güçlüdür. Sonradan demodüle edilir. Kulaklık membranının hareketi demodüle edilmiş bileşen ses frekansına değişenden kaynaklanır.

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Bir yerde kısa radyo dalgaların duyulmaması nasıl açıklanabilir?
2. Tünellerde sesin duyulmaması yada daha az işitilmesinin sebebi nedir?
3. Radyoyu daha yüksek dalga boylu dinlemek istersek alıcıdaki kondensatörün kapasitesi nasıl değişmelidir?
4. Yonosferde elektromanyetik dalgaların yansımalarını nasıl açıklayabiliriz?
5. Bize en yakın yöresel radyonun frekansı hangisidir?
6. Okuluza yakın bir radyo merkezini ziyaret edin.
7. Radyo iletimin bulunmasında önemli yeri Nikola Tesla'nın taşıyor. Kendisi için kitap okuyunuz veya internette onunla ilgili araştırma yapınız.

Aşağıdaki kavramların anlamlarını veriniz

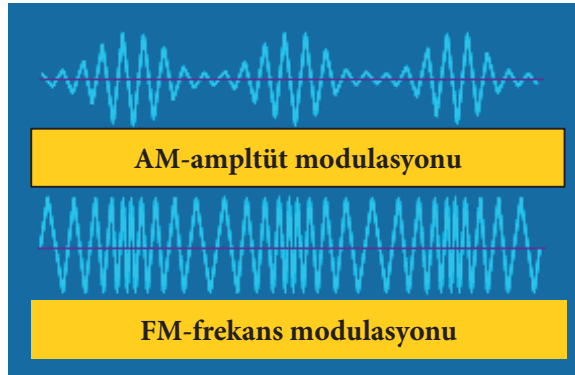
- verici
- alıcı
- güçlendirici
- modulatör
- demodülatör

19.4. TELEVİZYONDA CANIL YAYIN KAVRAMI. CEP TELEFONU

Televizyon iletimi yada radyo iletimin gerçekleşmesi için televizyon verici ve alıcısı gerekir. Verici resim yada ses gibi kaydedilen bilgiyi taşıyan elektromıknatis dalgasını sağlar.

Resimin elektriksel sinyallere dönüştürülmesi elektrooptik dönüştürücüleri veya televizyon kameraları ile yapılır ve bundan sonra taşınması sağlanır.

Resimin uzaklara taşınması prensipi sesin taşınması ile benzerdir. Televizyonlarda resimin ve sesin aynı zamanda taşınması gerekir. Bu şöyle sağlanır taşıyıcı sinyale resim amplitüt modulasıyonla (AM) yüklenir ses ise frekans modulasıyonuyla (FM) yüklenir. Şekil 1'de AM ve FM şeması verilmiştir.



Şekil 1. Amplitüt ve frekans modulasyonu

Televizyon vericisinin önemli kısımlarından biri televizyon kamerasıdır, onun yardımı ile resimler elektrik sinyaline dönüşür.

Kameradan alınan sinyal taşıyıcı sinyale (UHF – ultra yüksek frekans) yüklenir (module edilir) ve ortama televizyon vericisi ile yayılır. Veri-

ci antenden resim bilgisini taşıyan elektromıknatis dalgaları her yöne ışınlanır. Televizyon taşınması sadece ultrakısa dalga aralığındaki dalgalar yardımı mümkündür. Böyle dalgalar doğrusal dağılırlar. Bundan dolayı antenlerin konulması şarttır.

Televizyon alıcıları antenden elektromıknatis dalgaları toplar. Resimi taşıyan sinyal ayrılır ve değişken akıma (sadece sinyal) dönüşür. Bu akım katod lambasının kısmına gönderilir ve katod lambasının elektronlar demetini kontrol eder. Böylece televizyon kamerası ile kaydedilen resim televizyon ekranında aynen üretilir.

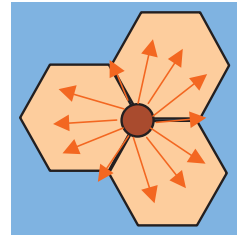
Cep telefonu

Cep telefonları küçük çift yönlü radyoları oluşturur. Çalışma prensipi bölge bütününde (ülke bütününde) hücelere (cells) ayrılır ve bundan dolayı bu tür telefonların ismi (cell phones) alınmıştır.

Bölge hücelere ayrılır düzgün altıgen şeklinde 26 km² bir alanda (şekil 2). Her hücrenin taban merkezi var ve anten kulesinden (şekil 3) ve elektronik araçların saklandığı küçük binadan oluşmuştur.

Bir şehirde yüzlerce anten kuleleri olabilir. Tüm hüceler merkez birimi ile iletişimde dirler.

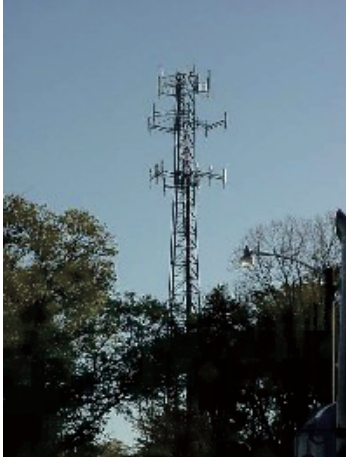
Cep telefondan konuşmamız uygun taşıyıcı frekansı kullanır ve onu en yakın anten alır.



Şekil 2. Üç hücre bir anten kulesi ile

19. Radyodalgalar

Radyo merkezlerine benzeyen elektronik sinyalleri güçlendirerek etrafa gönderir. Sonra taban merkezi arayarak, telefonun konumunu belirler.



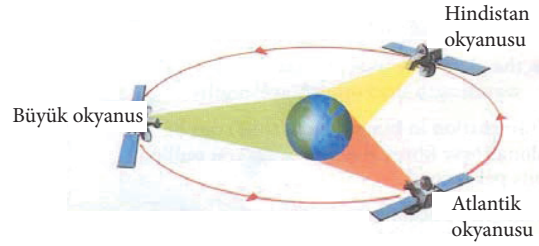
Şekil 3. Cep telefonu anten kulesi

Aynı anda, en yakın anten aranılan telefonu kayıtlar. Otomatik uygun ver serbes sinyal seçilir ve konuşma hazır olur. Bu esnada cep telefonu iki yönlü radyo gibi çalışır: aynıanda alıcı ve verici gibi çalışır. Toki-Voki den farklı radyo merkezleri her iki yön için aynı frekans kullanılır, cep telefonları aynı anda iki frekans kullanır: biri konuşmak için diğeri dinlemek için, demek ki her iki konuşmacı aynı anda konuşabilirler. Aşağıdaki tabloda farklı frekansların kullanılma kıyaslanması yapılmıştır.

	Toki-voki	Radyo merkezleri	Cep telefonu
Kanal sayısı	1	< 40	1664
Alan	1,5 km (0,25W)	8 km (5W)	Hücrelerin olduğu her yerde

Bilgilerin uydu ile taşınması

Dünya bir küre gibi, elektromıknatis dalgaları doğrusal hareket ederler, ozaman bilgi bir yarım küreden diğeryarım küreye nasıl taşınır kablosuz yoluyla?



Şekil 4. Uydu haberleşmesi

Bu sorunu halletmek için uydu haberleşmesi kullanılır. Bununla tüm Yerküre alanı kapsanır ve 3 uydu yardımı ile çözülür. Bu uydular birbiriyle iletişimde dirler ve bilgileri biri diğesine verir (şekil 4).

Elektromıknatis dalgaların uygulanması radyo fizikte çok büyüktür. Burada birde radyo konumlama anlamamız olacak, bunun yardımı ile bir cismin yeri belirlenir. Radyo konumlamanın temel aracını radar oluşturur.

Aşağıdaki kavramların anlamı verilsin

- televizyon
- tekevizyon alıcısı
- televizyon vericisi
- cep telefonu
- frekans modülasyonu
- haberleşme uyduları

Sorular, ödevler, ekinlikler

1. Televizyonda taşıyıcı sinyal büyük frekanslıdır, bu neden böyledir?
2. Ülkemizde bazı röle merkezlerini gösterin. Yüksek tepelerde neden konumlandırılmış bulurlar?

19.5. MİKRODALGALAR. UYGULANMASI

Mikrodalgalar elektromagnit dalgalar spektrumunda ve radyo dalgalar spektrumunda yer alırlar. Mikrodalgalar 1 mm – 30 cm dalga uzunluğu aralığı yada 1 GHz – 300 GHz frekans aralıklarında bulunurlar.

Mikrodalgaların uygulanması 1931 yılında başlamıştır.

Aşağıdaki tabloda mikrodalgaların alan kısımları ve verilmistir.

İsim	Frekans
L - alan	1'den 2 GHz
S - alan	2'den 4 GHz
C - alan	4'den 8 GHz
X - alan	8'den 12 GHz
Ku - alan	12'den 18 GHz
K - alan	18'den 26,5 GHz
Ka - alan	26,5'den 40 GHz
Q - alan	30'den 50 GHz
U - alan	40'den 60 GHz
V - alan	50'den 75 GHz
E - alan	60'den 90 GHz
W - alan	75'den 110 GHz
F - alan	90'den 140 GHz
D - alan	110'den 170 GHz



Şekil 1.

Her alanın özel uygulanması olur. Mikrodalgaların temel uygulanması mikrodalga fırınlarında, cep telefonlarda, iletişim uyduları ve radarlar.

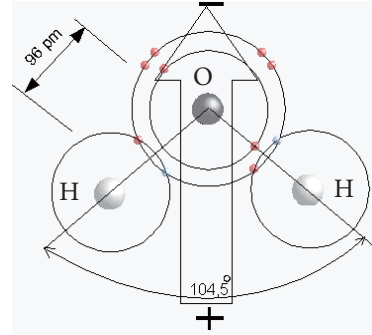
Şekil 1'deki fotoğrafta diyametri 40 m olan bir radar anteni gösterilmiştir.

Mikrodalga fırınları

Mikrodalgalar yenek ürünlerine girerek onları ısıtırlar ve o esnada ürünlerin kimyasal yapısı değişmez?

Yemek ürünlerinde mikrodalgalar su moleküllerini ısıtıcı cisimlere dönüştürürler.

Su molekülü bir atom oksijen ve iki atom hidrojen oluşmuştur (şekil 2).



Şekil 2.

Molekülün yapısı simetrik değildir. Molekül bütün olarak bir dipol gibi davranır. Bir tarafı pozitif diğer tarafı negatif dir (şekil 2).

Elektrik alanında dipola kuvvet bağlantısı etki eder o da alan yönünde yönelir (şekil 3).

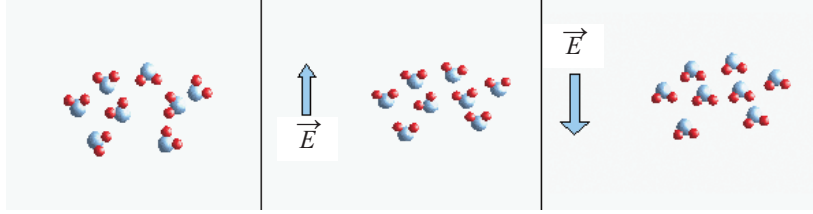
Şekil 4'te dalga uzunluğu 12,2 cm olan mikrodalga gösterilmiştir.

Su molekülü elektrik alanın yönüne dönerken ona dış ortam sürtünme ile karşı gelir ve yönelmeğe geç kalır ve sürtünmeden dolayı sıcaklığı yükselir.

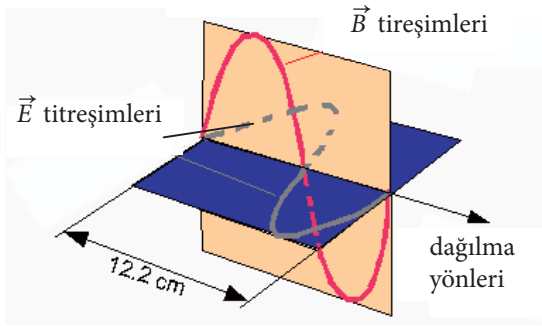
19. Radyodalgalar

Moleküller aynı zamanda bağlanırlar farklı dipol yüklerin etkisinden. Molekülde oksijen tarafı negatif dir, hidrojen tarafı ise pozitif dir, o da kendisi hidrojen atomları tarafı bağlanır.

Böylece mikrodalga fırının çalışma prensipi için sonuç vermemiz için imkan sağlar.



Şekil 3. Su molekülleri düzensiz yönlüdürler. Elektrik alanında buldukları zaman yönlendirilir. Onlar alan yönü değişimini takip ederler



Şekil 4.



Şekil 5. Mikrodalga fırınları

Oda sıcaklığında mikrodalgalarına az enerji gerekir hidrojen bağı kopsun ve molekülün dönmesi yapılınsın.

Her elektromıknatıs alan değişimi sü molekülünü ısıtamaz. Eğer alan 0,3 mm dalga uzunluğundan küçükse ozaman alan yönündeki değişimler hızlı olur su molekülleri bunları takip edemez. Aynı anda, ne de dalga uzunluğu 30 cm büyük olan alanda moleküllerin dönmesi çok yavaş yapılır, ve ısınması yapılamaz. Moleküller dönerler fakat temperaturün büyümesi yapılmaz.

Mikrodalgalar elektromıknatıs dalgaları olarak yemek ürünlerine girerler kimyasal yapısını değiştirmeden onları ısıtırlar.

Bunu anlamak için elektromıknatıs dalgası havada ışık hızıyla hareket eder, bir titreşim ise 12,3 cm mesafesinde yapılır. Diğer bir ortamda örneğin evde girinci dalag frekansı değişmez, demek ki titreşim periyodu da değişmez fakat dalga uzunluğu kısalacak, bunun sebebi mikrodalganın farklı ortamda yayılmasıdır.

Dalga ev ortamından çıkınca dalga uzunluğu 12,2 cm olacak, hızı da tekrar ışık hızı kadar olacak.

Eğer bir ortamda mikrodalga geçerse orada bulunan elektrikleşmiş parçalar alan etkisinden hareket ederler. Mikrodalgadaki enerji biyolojik dokusunda elektrikleşmiş parçaları hareket ettirir fakat bu yeterli değildir dokuda kimyasal değişiklikler oluşturur.

Mikrodalganın rolünü daha iyi anlamak için bir saniyede 2 540 000 000 küçük elektromıknatis dalgaları geçer, demek o kadar kez alan titreşim yapacak.

Verilen bir noktada elektrikleşmiş yük Q bulunursa, ona mikrodalga alanı \vec{E} etki eder, $\vec{F}=Q\vec{E}$ kuvveti ile. Eğer 1 s kuvvet 2 540 000 000 yönünü değiştirecek. Bundan dolayı elektrikleşmiş parçacık zorunlu titreşecek. O ortamın iç enerjisini çoğaltır ve ısınma olur.

İlk mikrodalga fırını 1947 yılında üretilmiştir, bugüne ABD ailelerinde %90 bu araçtan vardır. Ev kullanımı yanısıra bu fırınlar restoran, bakkal, hastahane ve diğer kurumlarda kullanılmaktadır. Gıda ürünlerinin endüstri işletimi için özel mikrodalga fırınları üretilmiştir.

Yemeğin bu fırınlarda ısıtılması için özel kablolar kullanılır, özel plastik ya da sıcaklığa dayanan cam. Bunlar özellikle metalden olmamalıdır (Hatırlayın, elektrik mıknatis dalgaları iletken ortamda absorbe olunur). Bunlardaki yemeklerin hazırlanmasında daha az yağlar ve daha az su kullanılır. Bu yemekler de daha az yağlı olurlar. Yemeğin normal hazırlanmasına göre bu şekilde yemeklerde daha fazla mineral ve vitaminler kalır.

Özel yasayla mikro dalgaların enerji seviyesi uygulanır. Sınır üzerinde enerji üreten bu tür cihazlar satışa izin verilmez. Özellikle cihazın dışına "çıkan" seviye göz önünde bulundurulur. Arada sırada enerjinin kontrolü yapılmaktadır, çünkü cihaz kapısının açılıp kapanmasıyla kapı zamanla bozulur.

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Mıknatis dalgaları nedir?
2. Yemek nasıl ısınır mikrodalga fırında, kimyasal değişim olmaz.
3. Mikrodalga fırında yemeğin pişilmesi yapılabilir mi?
4. Mikrodalga fırında yağın yüksek sıcaklıkta ısıtılması yapılabilir mi?

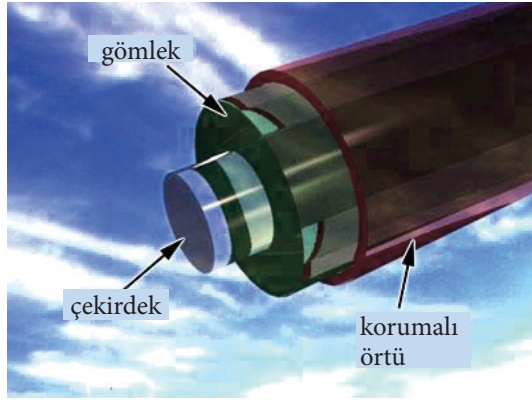
Aşağıdaki kavramların anlamları verilsin

- mikrodalgalar
- iyonlaşmamış ışınım
- dipol moleküllerinin polarizasyonu
- mikrodalga fırın
- mikrodalga fırında yemeğin ısıtılması

19.6. FİBER OPTİK İLETİŞİM

Bilginin taşınması için optik kablosu kullanılır. Optik kabloların yapısında metal iletken yerine cam kılıçları bulunur. Metal yerine optik kabloların değiştirilmesi nedenleri çoktur. Birincisi, metalden fala bilgi taşıyabilirler. İkincisi, dış zedelenmeleredaha dayanıklı dırlar.

Optik kabloların yapısı şekil 1'de verilmiştir. Kılıçın ekseninde çekirdeği camdan yapılmıştır. Çekirdeği etrafında **gömleği** aynen camdan farklı yöntemle yapılmıştır. Tüm bunlar korunmak için plastik bir örtü ile sarılıdır.



Şekil 1. Optik kılıcın yapısı

İki türlü optik kılıçları vardı:

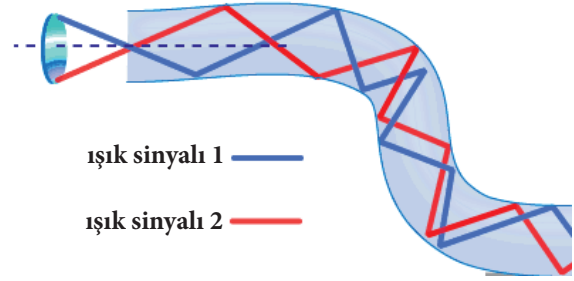
- bir modda çalışan kılıçlar
- çok modda çalışan kılıçlar

Birincilerin küçük diyametresi vardır yaklaşık 9µm. Onlar bilgiyi infrakırmızı ışıkla dalga uzunluğu 1300 ve 1550 nm olan taşırlar. İkincilerin çekirdekleri daha büyüktür 62,5 µm. Onlar bilgiyi infrakırmızı ışıkla taşırlar dalga uzunluğu 850 ve 1300 nm dir. Bazı çekirdekler özel plastikten yapılırlar ve diyametreleri 1 mm dir. Onlardan görünen kırmızı ışık dalga uzunluğu 650 nm olan geçer.

Bilgiyi bu yöntemle taşımak için sinyal kaynağı gerekir, optik rejeneratörü ve optik alıcısı.

Optik kılıçların çalışma prensipi

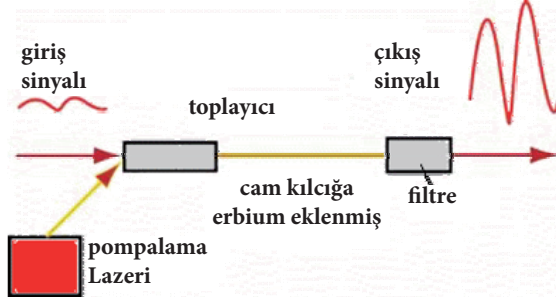
Optik kılıçlar mutlak yansıma olayına dayanırlar. Işık doğrusal dağılır. Işık çekirdekte hareket ederken gömleğe kadar gelir ondan mutlak yansır ve tekrar çekirdeğe döner (şekil 2).



Şekil 2. Işığın optik kılıçta dağılması mutlak yansıma yardımı ile

Böylece ışık kılıçtan dışarı çıkamaz. Işık kılıçta hareket ederken ışığın şiddeti zayıflar ve bunun nedeni camdaki kırılı karışımlar dır. Farklı dalga uzunlukları için zayıflamalar da farklıdır her kilometre için %50 civarında dır. Bazı özel kılıçlarda şiddetin zayıflaması dalga uzunluklu 1550 nm her kilometre için %10 daha düşüktür.

Bundan dolayı, optik kablo uzunluğunda fazla yerlerde **optik rejeneratörler** (şekil 3) konulur.

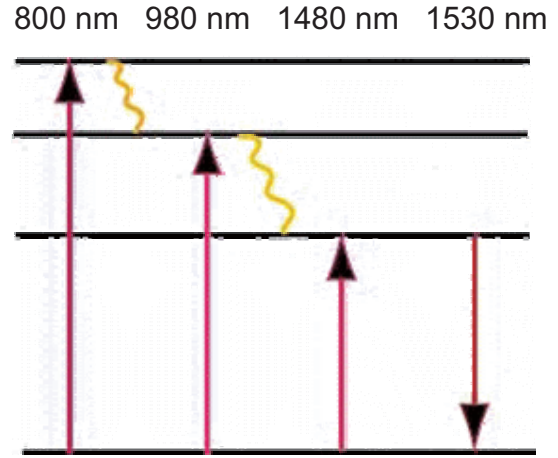


Şekil 3. Optik rejeneratörü

Optik rejeneratörü

Rejeneratör görevi zayıflayan siyalı güçlendirmektir. Başlangıçta rejeneratörler sinyali elektrik sinyale dönüştürür, sinyali temizler, güçlendirir ve tekrar ışına dönüştürür ve ileriye gönderir. Bu yöntem sinyali biçimlediği için 1987 yılında **fiber güçlendiricisi** tasarlanmıştır. Fiber güçlendirici 1550 nm dalga uzunluğunda çalışır ve erbium karışımı camdan yapılan optik kılıctan ve pompalama laserden yapılmıştır, 980nm dalga uzunluğunda ışık yayar. Bu sinyal toplayıcıda lazerden pompalanan sinyalle kombine edilirler. Böylece sinyal güçlendirilebilir 10000 kez ve çıkışta 100 mW güç elde edilebilir.

Erbium 800 nm ve 980 nm dalga uzunluklu ışınları uyarabilir kayıpsız. Bu dalga uzunlukları sinyalden (1550 nm) farklıdır ve taşıyıcı ve pompalama sinyalini kolayca ayırmasını sağlar.



Şekil 4.

Erbium 800 nm ya da 980 nm ışıkla uyarıldığı zaman, uyarılmış elektronlar daha yüksek seviyeye ulaşırlar. Oradan daha düşük enerji seviyesine düşerler. Elektronlar, uzun zaman o seviyede 10 ms kalabilirler. Bu çok önemlidir, çünkü aracın efekti buna bağlıdır atomların ne kadar daha uzun sürede uyarılmış kalmaları. Eğer daha kısa zaman kalırsalar, onları o seviyede kalmak için ek enerji gerekir. Erbium birde 1480 nm dalga boyu olan ışıkla uyarılır. Fakat bu uygun değildir, çünkü bu dalga uzunluğu ışığın dalga uzunluğundan çok farklıdır. Kendi açısından cihazın etkisini azaltabilir ve sinyalin gücü kalitesini bozabilir.

Camda çok kolay çözülmesi erbiumun ikinci olumlu özelliğidir.

Erbiuma ek bileşikler vermekle Al_2O_3 , GeO_2 - Al_2O_3 yada P_2O_5 eriyikliği büyür ve güçlendiricinin bazı özellikleri iyileşir. Eelektronların uyarılmış durumda iki katı kadar kalmaları sağlanabilir.

Çıkış sinyali çok değiştiği için filtre gerekir ve en sonunda güçlendirilmiş sinyali optik alıcı kabul eder. Bu güçlendiriciler kablo televizyonda ve telefonculukta kullanılır.

Fiber optik iletişimin öncüllükleri nedir?

- Optik kablonun fiyatı bakır kablosundan düşüktür.

- Optik kablo metal teldendaha içnce dir.

- Dağa ince oldukları için kablosunda fazla kılçıklar sığdırılır. Fazla bilgi taşıyabilir, fazla telefon bağları yada radyo ve televizyon kanalları.

- Sinyalin zayıflaması optik kabloda daha düşüktür, güçlendirme masraflarını azaltırır.

- Işık sinyalleri biri diğerine etki edemez.

- Optik kolları dijital sinyallerin taşınması için uygundur

- Optik kılçıklarda akım akmadığı için ısınma ihtimali yoktur

- Optik kılçık bakır telinden daha yenlik tir.

- Optik kılçıklar diğer alanlarda kullanılabilir, örneğin tıpta

Optik kılçıklarda diğere kıyasen sinyalin kalitesi çok büyük olduğu için bilginin taşınması yapılır. Işık dalgası bu durumda taşıyıcı dalgadır ve sinyaller buna yüklenir taşınmaları için. Diğer bir sözle ışık sinyali module edilmiş sinyal dır. İyi kaliteli sesin taşınması için elektromıknatis dalgaların frekansı 100 MHz (FM alanda) olması gerekir. Kaliteli resmin taşınması için elektromıknatis dalgaların frekansı 890 MHz olması gerekir. Bazı dalgaların frekansı 100 THz (tera herz) olduğuna göre 1 milyon kez daha büyük frekans dır, bundn dolayı televizyon sinyalleri ışıkla taşınırsa daha kaliteli dir.

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Optik kılçığın yapısı nasıldır?

2. Optik kılçıklar hangi dalga alanını kullanırlar?

3. Hangi fiziksel olayı optik kılçıklar kullanır ışıklar eğri çizigili dağılması için?

4. Optik rejeneratörü nedir ve neden kullanılır?

5. Hangi pensipe göre optik rejeneratörü çalışır?

6. Erbium'un optik rejeneratör cama katılmak için neden uygundur?

7. Dalga boyu 1480 nm olan ışığın laseri pompalamak için uygun mudur? Neden?

8. Uygulanmada optik kılçıkların bakır tellerinden öncüllüğü vardır, neden?

9. Optik kılçıkların üretimine kullanılan önemli karışımlar kimdir?

Aşağıdaki kavramların anlamını verin

- optik kılçık

- optik rejeneratör

20.1. KEMİĞİN DEFORMASYONUNDA POTANSİYEL ENERJİ

Katı cisimlerde farklı deformasyonlar oluşabilir, önemlilerinden bazıları: tekyönlü uzama veya kısama deformasyonları – **çizgisel deformasyonlar**, çokyönlü uzama veya kısama – **hacimsay deformasyonlar**, açısıl deformasyonlar. Her tür küçük deformasyonlar için Huk kanunu geçerlidir.

Çizgisel deformasyonlar uzunlukları çizgisel boyutlarının yüzey kesitinden büyük olan katı cisimler için özellikli dirler, örneğin ince teller, çubuklar, elastik yaylar ve diğerleri.

Bir elastik cismin deformasyonu oluşması için ona belli kuvvetin etki etmesi gerekir, iş yapılsın. Bu işin hesabına, deforme edilmiş cismin belirli potansiyel enerjisi vardır, yada kendisi iş yapma becerisi. Diğer malzemelerde olduğu gibi, kemiklerde de Huk kanunu geçerli dir.

Deforme edilen cismin Huk kanununa göre kuvveti, lineer büyür uzamasıyla Δl ,

$$F = \frac{ES}{L_0} \Delta L = k \Delta L ,$$

denklemden $k=ES/L_0$ doğruorantılı sabitesi; E çizgisel elastikliğin Yung modülü ve S yüzey kesiti.

Tanıma göre Δl kadar çubuğun uzaması için dış kuvvetlerin yapacağı iş

$$A = E_p = \frac{1}{2} F \Delta l . \quad (1)$$

Buna göre, deformasyon esnasında çubuk uzunluğunun ΔL kadar uzaması ile elde edeceği potansiyel enerji:

$$E_p = \frac{ES \Delta L}{2L_0} \Delta L = \frac{ESL_0}{2} \left(\frac{\Delta L}{L_0} \right)^2 = \frac{EV}{2} \varepsilon^2 , \quad (2)$$

denklemden $SL_0=V$ çubuğun hacmi, $\varepsilon=\Delta l/L_0$ relatif deformasyon. Kemiklerin elastiklik Yung modülü $E=1,4 \cdot 10^{10}$ N/m². Eğer relatif deformasyon $\varepsilon=\sigma/E$ gibi alınır, burada $\sigma=F/S$ normal meka-

niksel gerilim dir, çubuğun potansiyel enerjisi, şöyle elde edilir:

$$E_p = \frac{EV}{2} \varepsilon^2 = \frac{ESL_0}{2} \left(\frac{\sigma}{E} \right)^2 = \frac{SL_0 \sigma^2}{2E} \quad (3)$$

Çünkü, elastik deformasyon enerjisi moleküller arası kuvvetlerin etkisinden kaynaklanır, tüm cisimde dağılı bulunur ve *potansiyel enerjinin hacimsal yoğunluğu* alınır. O deforme edilen cismin hacim birimindeki potansiyel enerjisi dir, yada

$$\varepsilon_p = \frac{E_p}{V} = \frac{\sigma^2}{2E} . \quad (4)$$

Cisimlerin (kemikler) büyük deformasyonlarında onların kırılması oluşur (fraktür). Kırılma oluşması esnasında normal mekanik gerilimin büyüklüğüne cismin kritik gerilimi (σ_c) denir. Aşağıdaki tabloda bazı dokuların kritik gerilmeleri verilmiştir.

Tablo 1.

Malzeme	Kritik gerilim σ_c (N/m ²)	Deformasyon
kemik	1·10 ⁸	kısama
	0,8·10 ⁸	uzama
	0,275·10 ⁸	eğrilme
kas	55·10	gerilme

Uzun bir çubuk incelensin, örneğin, bacak kemiğinden, diz ve kaval kemiğinden oluşan ve kesiti $S=6\text{cm}^2=6 \cdot 10^{-4}$ m², uzunluğu $l=0,9$ m verilmiştir. Çizgisel deformasyonda potansiyel enerjisi E_{pd} alabilecek bu sistemin kırılmasında (fraktür), şöyledir:

$$E_{pd} = \frac{0,9\text{m} \cdot 6 \cdot 10^{-4} \text{m}^2 (10^8)^2}{2 \cdot 14 \cdot 10^{10} \text{N/m}^2} = 193 \text{ J} .$$

kemiklerin kısaması esnasında kritik normal mekanik gerilim $\sigma_k=10^8$ N/m² dir.

Kıyaslamak için $m=70$ kg ağılığında bir insan $h=0,576$ m yükseklikten atlarken ayağının absorbe ettiği potansiyel enerjisi:

$$E_p = mgh = 70\text{kg} \cdot 9,81\text{ms}^{-1} \cdot 0,576\text{m} = 385\text{J}$$

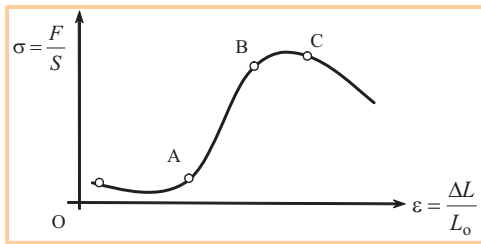
En son denklemden 385 J potansiyel enerjisi çizgisel deformasyonu enerjisinden iki kat daha büyüktür. Eğer bu enerji sadece kemiğe dağılırsa ozaman kemiğin kırılması olur fakat yükseklikten atlarken dizin eğilmesi ile enerjinin bir kısmı kaslara da verilir ve kemikler kırılmaz.

Atlama esnasında enerjinin dağılması daha büyük hacme yapılır ve enerjinin hacımsal yoğunluğu (E_p/V) denklem 4 kritik değerden daha küçüktür. Eğer aynı yükseklikten atlarken ayakların uzun bir şekilde bulunması ve kasların serbes olması ozaman kemiklerin fraktürü olur.

Kemiklerin dayanma sınırı farklı şatlara bağlıdır, uzunluğa, kesit şekline. Kemiklerin boru gibi yapısı vardır ve böylece basınçlara ve gerginliklere karşı gelmeleri sağlanır.

Deneylerden alınan teorik ve fiziki sonuçlara göre eğrilme esnasında boru şeklinde malzemeler iç ve dış diyametrelerin oranı 8:20 olanların en büyük direnci gösterenlerdir.

İnsan organizmasının çok sayıda yumuşak dokuları temel olarak uzun moleküllerden yapılmıştır, yüksek moleküller birleşiklere düşerler. Eğer gerginliklerle karşılaşsalar böyle moleküller onlar uzanırlar ve belirli yöne doğrularlar, o esnada onların uzunluğu gözününde bulundurulmuyacak kadar büyür. Belirli sınıra kadar, elastik gerginliğin etkisi kesildiği zaman, kendi önceki durumlarına dönerler. Relatif deformasyonla normal mekanik gerilimin değişmesi şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1.

20.2. ÇARPIŞMA ANINDA KUVVET İMPULSU

1. Kritik kuvvet. Bir önceki bölümde kemik kırığının ne kadar enerjisi dir ve kemiğin kırılması için ne kadar potansiyel enerji gerekir. Bu nasıl hesaplandığını en küçük kritik kuvvet F_c istatik koşullarda kemiğin kırılmasına neden olabilir. Ayrıca, kemik kırılıncaya kadar esnek kalacağını varsayalım. Kemiğin boyuna (çizgisel) kısalması esnasında kritik mekanik gerilim $\sigma_k = 10^8 \text{ N/m}^2$ dir, bu durumda $F_c/S = \sigma_c$ uygun *kritik kuvvet* (daha doğrusu kemiğin kırılmasına neden olabilir kuvvet) dir:

$$F_c = \sigma_c \cdot S \quad (1)$$

Örneğin, bacak kemiğin kesiti $S = 6 \text{ cm}^2 = 6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ kritik kuvvet şu değerde dir:

$$F_c = 1 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2 \cdot 6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 6 \cdot 10^4 \text{ N}$$

Buna göre 6 ton ağırlığı ile tüm bacak kemiğini yüklersek, kemiğin kırılması en ince yerde olur.

2. İmpuls. Kuvvet impulsu. Önceki bölümden alabileceğimiz deneyim kemiğin kırılması için kuvvet yukarıda hesaplanan kuvvetten kıyaslanamayacak kadar küçüktür. Yani, 70 kg ağılığında bir cisim 0,576 m yükseklikten düşmesi esnasında tabana etki ettiği kuvvetin değeri $6 \cdot 10^4 \text{ N}$ mu dur? Bunun mümkün olduğunu gösterelim.

İleridekisini hatırlayalım, hemende benzer örnek: tahtaya bit çivi millansın, çekiçle vurulması gerekir. Bunu gerçekleşmesi için kuvvet şiddetli olması gerekir. Kısa vadeli kuvvetler, büyük şiddetle karkaterize edilirler. Belli bir zaman aralığında cisime etki eden kuvvete *kuvvet impulsu* denir.

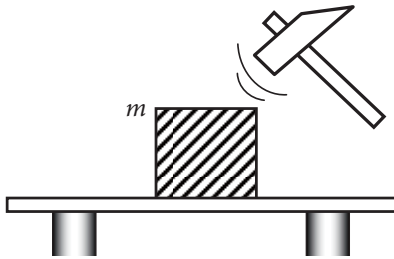
Bunu göstermek için Newton'un ikinci kanunu farklı bir şekilde yazılmış olabilir yeni büyüklük olarak \vec{p} ve cismin hızına ve çarpımına eşitti.

$$\vec{F} = m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\Delta(m \cdot \vec{v})}{\Delta t} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} \quad (2)$$

büyüklik $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$ gördüğümüz gibi cismin kütle ve hızının çarpımına *cismin impulsu* denir. Cismin impulsunu almakla Newton'un ikinci kanunu şöyle olacaktır: *maddesel noktanın (cismin) impuls değişiminin hızı cisme etki ettiği kuvvetle doğru orantılıdır*. Denklem (1) yardımı ile kuvvet impulsun tanımı verilir ve zaman aralığını ve kuvvetin çarpımına eşittir $\vec{F} \cdot \Delta t$.

$$\vec{F} \cdot \Delta t = \Delta \vec{p} \quad (3)$$

Denklemden (2) görüldüğü gibi kuvvet zaman aralığı ile ters orantılıdır. Yani, kuvvetin etkisi, öncelikle onun zaman süresine bağlıdır. Ayrıca atlama bir katı (beton) yüzeyine yada yumuşak (kumlu) yüzeye düşeceğine bağlıdır. Bu nedenle kırıklık olasılığı ihtimali yüksektir eğer katı yüzeye düşmesi yapılırsa. Kuvvet impulsu ve cismin impulsu şöyle bir deney ile tazdiklanır: cam plakı üzerine büyük ağırlık konulmuştur ve kısa vadeli ona çekiç ile vurulur (şekil 1).



Şekil 1.

Kısa vadeli fakat şiddetli büyük ağırlığa çekiç ile vurarak cam kırılmaz. Bunun nedeni relatif büyük ağırlıktan m kaynaklanır, kısa vadeli kuvvetin etkisinden çok küçük hız değişimi yapılır. Buda cisim impulsunun (mv) ve kuvvet impulsun ($F \Delta t$) küçük değeri olmasına nedendir. Fakat, uzun vadeli etki ve küçük kuvvet ile camın kırılması mümkündür.

Örnek 1. Eğer ağırlığı $m=0,2$ kg çekiç ile çivi kafasına vurulursa, vuruş esnasında çekiç hızı $v=1$ m/s, çivinin desteğe millanması $\Delta t=0,01$ s zaman süresinde gerçekleşir. Vuruş esnasında kuvvet belirlensin.

$$F = ma = m \frac{v_p - v_k}{\Delta t}, \quad (4)$$

eğer hız değişim $\Delta v = v_p - v_k$ zaman biriminde hızlama $a = \frac{v_p - v_k}{\Delta t}$, çivinin engele batırılmasından sonra çekiç hızı ($v_k=0$) sıfır olduğuna göre kuvvet

$$F = m \frac{v_k}{\Delta t} = \frac{0,2 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}}{0,01 \text{ s}} = 20 \text{ N}.$$

Son denklemden görüldüğü gibi kuvvet kütleden, onun hızından ve vuruşun zaman aralığına bağlıdır.

Çarpışma anında kuvvet impulsu. Cisme kuvvetin etkisi zaman süresine bağlı olduğu şu örnekte görülür. Otomobildeki sürücü engele vuruş esnasında kuvvet impulsu etkisinden hızlıca durur. Böylece, frenleme zamanına bağlı sürücü organları ve dokuları zedelenebilir.

Kinematikten bilindiği gibi hızlama otomobilin engelle çarpışması esnasında $a=v^2/2 \cdot l$ dir, v hız çarpışma esnasında, l yol frenleme süresi geçen. Ortalama kuvvet impulsu engelin otomobile etki etmesinden kaynaklanır

$$\vec{F} = m \cdot a = \frac{mv^2}{2l}, \quad (5)$$

m sürücünün kütlesi dir.

Örnek 2. Sürücü ağırlığı $m=70$ kg olan $v=70$ km/h= $19,44$ m/s hızla hareket ederken çarpışma hareket etmeyen engelle yapar ve frenleme süresi $l=30$ cm yol geçer. Koruma şiritleri sürücüye etki ettiği kuvvet belirlensin.

Denklem (5) göre

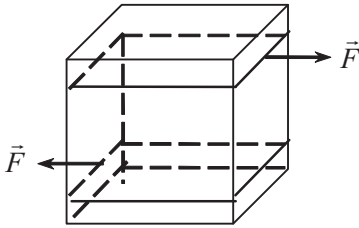
$$F = \frac{70 \text{ kg} \cdot 19,44^2 \text{ m}^2/\text{s}^2}{2 \cdot 0,3 \text{ m}} = 44090 \text{ N}.$$

Bu şiddetli kuvvet impulsu sürücüde ciddi zedelenmeler yaratır.

20.3. REOLOJİ. REOLOJİ MALZEMELERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Reoloji mekaniğin bir bölümü olarak fluidlerin akması olaylarını araştırmakadır. Reolojide örneğin, sıvıların ince borularda akması araştırılır.

Reolojide süpstanların sınıflandırılması hal durumuna (katı, sıvı ve gaz) göre değil dış kuvvetlerin reaksiyonuna (elastik ve plastik) göre yapılır.



Şekil 1.

Elastik cisim. Herhangi bir birimlik süpstanın küpünün karşılıklı taraflarına iyice yapıştırılmış plaklar ve onlara modül olarak aynı olan iki kuvvet yön olarak ters etki ederler (şekil 1). Her cisim böyle dış kuvvetler etkisinde deforme edilir. Kuvvetlerin etkisi kesildiği zaman moleküller arası kuvvetler önceki şekline ve hacmine dönmelerine uğraşır, cisim *elastik* tir. Elastiklik için Huk kanunu bu deformasyon için geçerli olduysa cisim mükemmel elastik dir.

Normal mekanik gerilimin $\sigma = F/S$ büyümesi ile deformasyon ΔL da büyür, Huk kanununa göre:

$$\sigma = \frac{F}{S} = E \frac{\Delta L}{L_0} = E \epsilon \quad (1)$$

bu tür deformasyonlarda doğruorantılı sabitesi E **çizgisel elastik Yung modülü** dür. Denklem (1)'e göre bu şekilde yazılır:

$$F = \frac{E S}{L_0} \Delta L = k \Delta L, \quad (2)$$

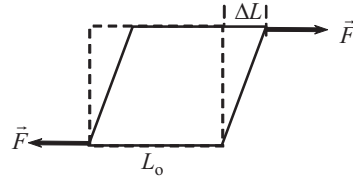
burada $k = ES/L_0$ doğruorantılı sabitesi; S yüzey kesiti dir.

Son denkle göre kuvvet lineer olarak elastik deformasyonla ΔL doğruorantılı dır. Yüzey kesiti $S = 1 \text{ m}^2$ ve uzunluk $L_0 = 1 \text{ m}$ olunca Huk kanunu

$$F = E \Delta L. \quad (1)$$

Ne zaman dış kuvvetleri etkisinden cisim şeklini değiştirmez, *katı* cisim dir.

Olsun ki elastiklik çok sayıda katı cisimler için özelliğidir, bu özellik fluidlerde de var. Örneğin, kapalı bir silindirde gaz bulunursa ona piston yardımı ile basınç edilerek sıkıştırılır, dış kuvvetin etkisi bitince gaz başlangıç durumuna dönme cabasında bulunur



Plastik cisim. Küpün deformasyonu (şekil 1) kuvvetlerin etkisi kesildiğinde kaybolmazlar, deformasyonlar kalıcı yada plastik (şekil 2) tir. Plastiklik çok sayıda sıvılar için özelliğidir. Örneğin. Bir parça reçine (sakız) yada hamur verdiğimiz şekli alırlar, su bardağın şeklini alır, bu yüzden plastik cisim dir.

Viskoz sıvılar. Şekil 1'de gösterildiği gibi deformasyonlar esnasında katmalar arasında sürtünme kuvvetleri yoksa, viskoz olmayan (ideal) ortam için söz edilir. Reel fluidlerde, katmanlar arası sürtünme kuvvetleri oluşur böyle fluidlerin iç sürtünme kuvvetleri yada viskozitesi var.

Viskozite için Nefton kanunu, Huk kanununa (1) benzeyen, şu şekilde yazılır:

$$\frac{F}{S} = \tau = \eta \frac{\Delta v}{\Delta x}, \quad (3)$$

burada $F/S = \tau$ sıvının iki katman arası **teğetsel (tangens) gerilimi** dir.

Nezaman kuvvet verilen alanın yerdeğişim hızı ile lineer olarak doğruorantılı yakındakisine göre, viskozite için Nefton kanunu geçerlidir.

Belirli sıcaklıkta dinamik viskozitesi η sabit olan sıvılarda, teğet gerilimin τ ve hız gradyanının $D = \Delta v / \Delta x$ kesin lineer bağı var, bunlara **Neftonlu** sıvıları denir. Şekil 1'de verilen örneğin viskozite için Nefton kanunu şu şekilde yazılır:

$$\tau = \eta \frac{\Delta v}{\Delta x} = \eta D \quad (2)$$

Huk kanununa (1) benzer.

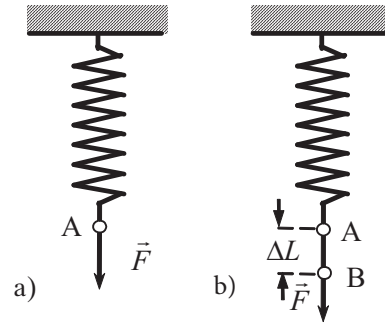
Viskoz elastik malzemeler. Elastiksel ve plastiks malzemeler aslında gerçeğin idealize sınırınıdır. Fakat, çok sayıda malzemelerde bunlardan biri egemen dir. Biyotıp bilimlerinde her iki özellik egemen olan süpstanlar ilgilendirir. Öyle reolojik malzemeler *yüksek elastik süpstanlar* gibi bilinirler.

20.4. REOLOJİK MODELLER

Elastiksel, plastiks ve viskozite modeller

Reolojik modeli nedir? En uygun şekilde biyolojik sistemlerin yapısına giren reolojik malzemelerin özelliklerini göstermek için benzer reolojik modelleri alınır. Modeller mekanik ve elektrikli olabilirler. Mekanik modeller elastiklik, plastikslik veya onların kombinasyonu taktitini gösteren temel modellerin kombinasyonu ile elde edilirler.

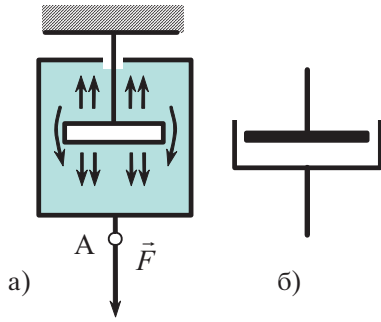
Yay elastik modeli gibi. Elastiklik özelliğini gösteren mekanik modeli gibi çelik yayı alınabilir (Şekil 3a). Şekil 1'deki elemente benzeyen yayın ΔL kadar gerilmesi dış kuvveti F ile lineer olarak doğruorantılı (şekil 3b) dir, bundan dolayı yay anlık olarak bu kuvvetin etkisinden gerilir. Bu tür deformasyon için Huk kanunu geçerlidir.



Şekil 3. Yay elastik modeli gibi

Dış kuvvetin etkisi kesildiği zaman, yay, önceki ilk durumuna döner. Bu yay yardımı ile elastik cismin takliti yapılır, katı cisimde yay zor gerilir.

Amortisör plastik modeli gibi. Amortisör viskoz sıvısıyla dolu hava geçirmez (hermetik) kapalı silindiri oluşturur, pistonu enine şekilde hareket ettirir (şekil 4a). O esnada, viskoz sıvısı düzgün pistonun kenarlarından akar. Piston sabit bulunurken, silindire ise kuvvet F (şekil 4a), etki eder ve adım adım elementin gerilmesi olur. Burada kuvvet F ve yerdeğişim hızı arasında lineer bağıllığı var, öyleki hareket noktası A verilen değere kadar büyüeyebilen hızı ile hareket edebilir. Silindirin üst kısmında viskoz sıvısının sıkışmaması yükselen basınçtan kaynaklanır ya-vaşça alt kısma geçer, o esnada boş yere piston hareket eder.



Şekil 4. Amortisör plastik modeli gibi

Kuvvet etkisinin ($F=0$) kesilmesi ile pistonun hareketi kesilir. Bundan dolayı amortisör dış kuvvetin desildiği durumda bulunur, böylece plastik özelliğini taklit yapar.

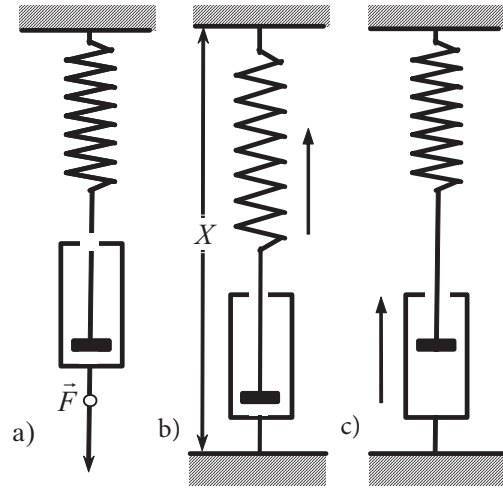
Düşük elastiksel malzemelerin temel özellikleri. Yüksek elastik malzemelerinde aynı anda elastiklik ve plastiklik egemen dir, bunlar iki yeni özellik gösterirler: gevşeme ve sürünme.

20.5. MAKSFEL MODELİ. KELVİN MODELİ VE MAKSFEL - KELVİN MODELİ

Maksfel gevşeme modeli. Maksfel gevşeme modeli seri şeklinde bağlanan iki modeli oluturur (şekil 5a).

Maksfel modeli kuvvetin F etkisinden aniden x uzunluğu kadar gerildi ve aldığı uzunluğu korudu (şekil 5b). Modelin başlangıç gerilmesi yayın sadece gerilmesinden kaynaklanır çünkü amortisörde değişiklik olması için zaman gerekir. Yay önceki ilk durumuna dönmesi için cabada bulunur, model sabit A noktasına yukarıya yönlü şiddetli reaktif kuvveti ile etki eder (şekil 5b).

Zamanla yay önceki ilk durumuna dönme ihtimali var, amortisörde ise gerilme ihtimali var. Yayın normal gerilimi azalır başlangıç uzunluğa dönünceye kadar. Maksfel modeline göre yayın başlangıç uzunluğuna dönmesi zamanında, onun gerilimi sıfıra ulaşır ve buna *gevşeme zamanı* denir, sürece ise *sistemin gevşemesi* denir.



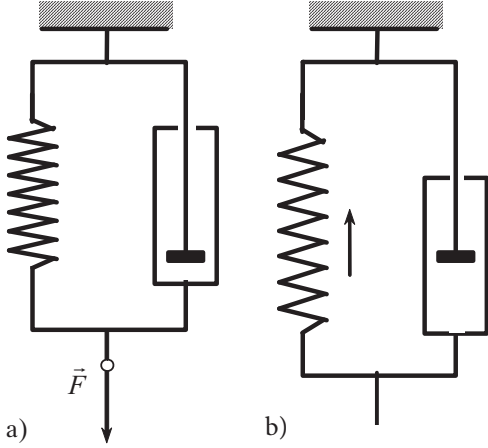
Şekil 5. Maksfel gevşeme modeli

Maksfel modelinde plastiklik ve elastiklik. Gevşeme zamanından sonra bu model önceki gerilmeyi korumakla plastiklik özelliği gösterir. Fakat kuvvetin etkisi zamandan önce kesildiğinde, modelin yayı devamında gerilmiş kalır. Bu olayda yay bir de elastiksel özelliği gösterir daha doğrusu kısmen kısalır, fakat bütün olmayan başlangıç uzunluğuna döner.

Böyle şartlarda model elastik birde plastik özellikleri gösterir.

Model aniden kısa vadeli etkiden uzanması şartında, gerilme sadece yayda olmuştur. Kuvveti etkisi kesildiğinde model tekrar kendi uzunluğunu yeniler, elastiksel özelliği gösterir.

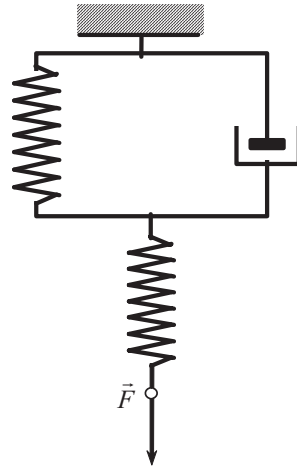
Maksfel modeli aynı anda gevşeme özelliği de gösteren yüksek elastik malzemeleri gösterir.



Şekil 6. Kelvinin sürünme modeli

Kelvinin sürünme modeli. Kelvinin sürünme modelini paralel bağlanan yay ve amortisör temsil eder (şekil 6). Sürünme uzun vadeli kuvvet etkisinde süpstanın kademe kademe deforme edilmesi olayını oluşturur; kuvvetin etkisi kesildiğinde, süpstan yavaşça başlangıç durumunu yeniler. Kelvin modelinde amortisör yüksek viskoziteli sıvıdır. Kuvvetin F etkisinden sistemin gerilmesi yavaş (şekil 4a) dır, gerilme gerçekleştiğinde (şekli 4b), yay yavaşça daralır buna ise gerilmiş halde olan amortisör karşı gelir.

Kelvin modeli ile plastik deformasyonun yaklaşık takliti yapılabilir, başlangıç durumun geç olarak yenilenmesi elastikliği hatılatır. Bundan dolayı aynı anda sürünme özelliği olan yüksek elastik malzemeleri gösterir.



Şekil 7. Makvel-Kelvin modeli

Makvel-Kelvin modeli. Maksfel-Kelvin modeli birleşik reolojik modeli aynı anda gevşeme ve sürünme örneği dir. Bu model Maksefel modelin ve Kelvin modelin kombinasyonunu temsil eder (şekil 7): seri şekilde amortisörün ve yayın bağlanması kısmında Maksefel modeline uygundur, paralel şekilde diğer yayın ve amortisörün bağlanması kısmında Kelvin modeline uygundur.

Aniden gerilmesi ve sürekli uzunluğunu tutmakla gevşeme özelliği oluşur, amortisörün gerilmesi ile onunla paralel yay da gerilir. Gerilme süreci normal mekanik gerilimi her iki yayda aynı olunca sona erir. Sistemin gerginlik gerilimi sonunda sifira düşmez. Diğer yandan, yayın paralel bağı ve viskoz sıvısı sürünme özelliği var.

Bazı biyolojik sistemlerin yüksek elastiksel davranışı. Biyolojik sistemleri araştırırken, yüksek elastik özellikleri kaslar, kirişler ve bağlar çoğu dokularda gösterir. İskelet kasları Maksfel-Kelvin modeli gibi davranırlar (şekil 7) çünkü plastik malzemelerden yapılmışlardır, paralel olarak elastik malzemeler ile sıralanmış bulunurlar, onlar ise beraber elastik kirişleri ile seri şekilde dirler.

Düz kaslar plastik malzemelerden oluşmuşlardır. Onlarla paralel bağlı elastik az değerdedir. Bundan dolayı böyle sistem az değerdede elastik malzemelerden kaynaklanır, yaklaşık gevşemeli Maksfel modeli gibi davranır, olsun ki sürünme ve gevşeme özelliği gösterir.

Arterler (atardamar) yaklaşık 1/3 düz kaslardan (plastik malzeme) ve 2/3 elastik bağ dokusu, bundan dolayı başlangıçta gevşeme özelliği ile karakterize edilirler. Arterlerin kısmı aniden herhangi bir sıvıyı enjekte edecek, arteri aniden genişler, fakat sıvı orada belli basınçta olacak. Daha uzun sürede genişleyen arteri yeni şeklini korur, fakat basınç sıvıda yavaşça zayıflar ve kademe kademe arteri duvarları gevşer. Buna göre bu biyolojik sistemi Maksfel-Kelvin modeli gibi davranır (şekil 7).

Venler (toplardamar) duvarının yapısı arterlerin yapısına benzer. Her ikisinin duvarları kas katmanlarından ve kolagen bağ dokusu ile temassılı elastik kıllardan yapılmıştır. Venlerin duvarlarında daha az kas ve elastik dokuları bulunur. Bundan dolayı venler sert değildirler ve iç basınç düşünce şekilleri kalıcı değildir.

Venler sürünme özelliği gösterirler. Venler iyice sıkıştırdıklarında, duran kan basıncı kademeli olarak yüzeysel kesitini büyütür. Fakat basınç kesildiği zaman, uzun zaman gerekir kendi başlangıç yarıçapına dönsün.

20.6. KASLARIN DARALMA MEKANİZMASI

İzometrik ve izotonik daralma

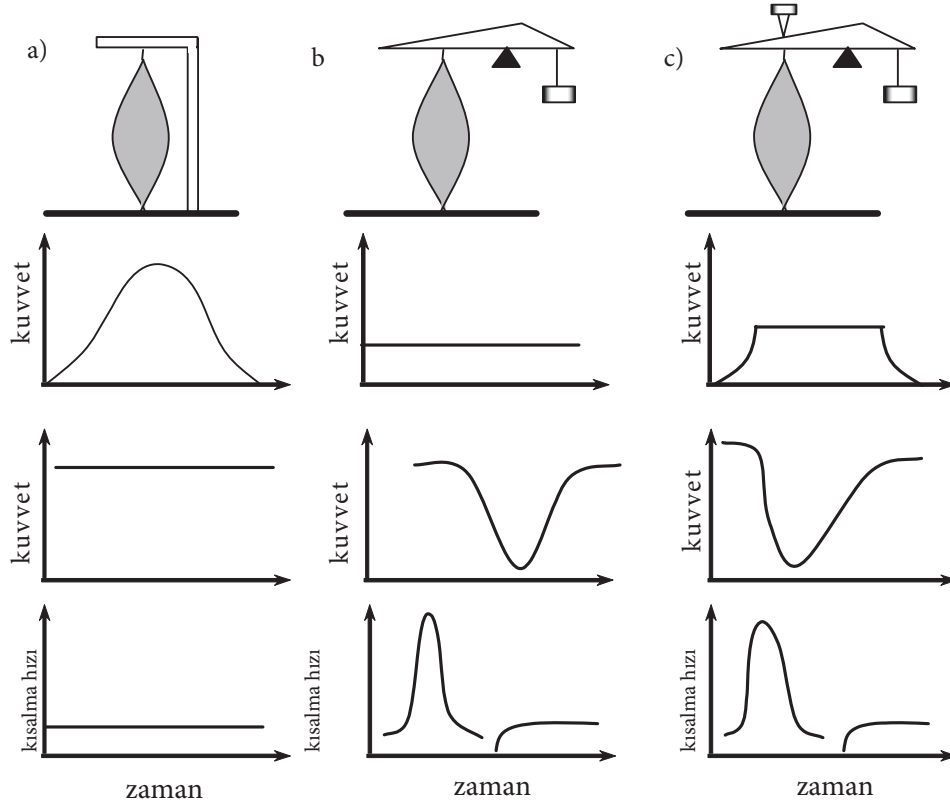
Kaslar uyarılmaları esnasında daralırlar. Kasların daralmaları izometrik ve izotonik olabilir. İzometrik ve izotonik kasların daralması organizmada iş yapan iki mecburi süreçtir. İzotonik daralma çalışma araçlarının yerdışimini sağlar, izotermik daralma ise bu araçlarının hareketini sağlar.

Kasların izometrik daralması oluşur ne zaman uyarılma esnasında kasların uzunluğu değişmez. Olsun ki uzunluk değişmez fakat kasın bağlı oldu noktalarda kuvvet gelişir (şekil 1a).

Kasların izotonik daralmasında kas kenarlarının kısalması ile oluşur. Böyle daralma kasın sabit olduğu zaman oluşur. Kas bir kenarında kaldıracın bir bacağına sabitlenir kasın diğer kenarı kaldıracın ağılık olan bacağının kenarına bağlanır (şekil 1b). Bu olayda daralma esnasında kasın gelişen kuvvetin değeri sabittir fakat uzunluğu ve daralması değişmez.

Kasın uyarılmasında (şekil 1c) daralma kuvveti başlangıçta belirli değer kadar büyür, ağılığın kütesine eşit, ondan sonra sabit alır. Böylece bu yöntemle belli uyarılmalarda izometrik-izotonik daralma takip edilir.

Şekil 1a, b, c'de şematik olarak izometrik, izotonik ve izometrik-izotonik kombinasyonu gösterilmektedir.



Şekil 1. Şematik gösteri a) izometrik, b) izotronik ve c) izometrik-izotronik kombinasyon daralması

Her tür daralmada kas kuvvetinin, uzunluğunun ve daralma hızı zamanla değişmesi takip edilir.

Eğer kas kısa vadeli fakat şiddetli elektriksel impuls ile uyarılırsa (şekil 2b), kas başlangıçta daralır sonra gevşer (şekil 2a).

Uyarılma başlangıcı ve daralma başlangıcı arasındaki zamana *gizli zaman* denir. Daralma başlangıcı ile maksimum değeri arasındaki zaman aralığına *daralma periyodu* denir, maksimum değerinden kasın başlangıç durumuna ulaşması zaman aralığına *gevşeme periyodu* denir (şekil 2a). Şekil 2b'den uyarılma daralmadan ve kasın gevşemesinden önce kısa sürer.

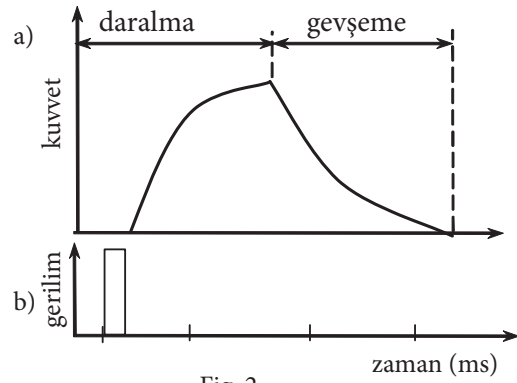
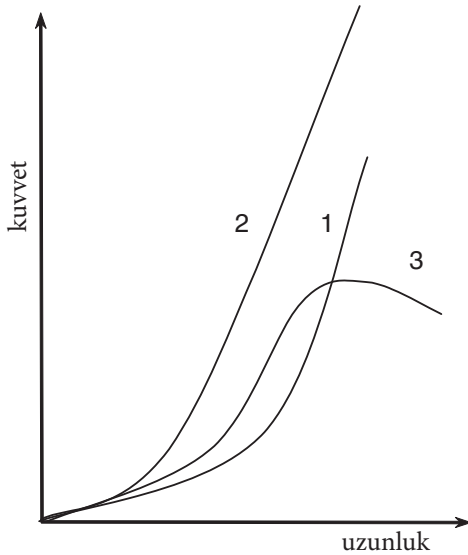


Fig. 2

Şekil 2.

Kasın daralma hızı onun kas-iskelet sistemindeki rolüne bağlıdır. Örneğin, göz kasın daralması 0,01 s sürer, soleus kasın daralması ise 0,1 s daha uzun sürer. Kasların daralma dinamiği şöyle açıklanır:

1. Kasın daralma kuvvetinin kendi uzunluğuna bağlılığı. Şekil 3'te bu bağlılığın üç farklı garfı gösterilmiştir. Şekil 3'te eğri 1 aktif olmayan kasın kuvvet-uzunluk bağıntısını gösterir. Kuvvetin etkisinden kasın karşı gelerek uzaması aniden büyür. Kas elastiklik için Huk kanununa uyarsa, bu bağlılık lineer dir. Şekil 3'teki eğri 1'den karalınabilir pasif kasın lineer olmayan elastiklik özelliği vardır.

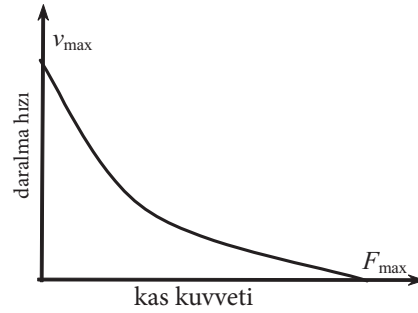


Şekil 3. Kasın daralma kuvvetinin kendi uzunluğuna bağlılığı

Şekil 3'teki eğri 2 izometrik şartlarda uzamış kasın maksimum kuvveti gösterir ne zaman ki kasın uzunluğu önceden sabitleşmiştir (şekil 2a), düzgün relatif şekilde büyür. Aynı şekilde eğri 3 eğriler 2 ve 1'in farkından elde edilir. Eğriden görüldüğü gibi belli uzunlukta kasın maksimumu ulaşır.

2. Kasın daralma hızı onun yüklenmesine bağlılığı. Kasın izotonik daralma hızı yüklenmesi ile azalır, hız okadar küçüktür kas ne kadar yüklü ise. Kuvvet sifıra eşitse, daralma hızı maksimuma ulaşır (v_{max}). Ne zaman yüklenme maksimum kuvvetle (F_{max}) eşitse onu kas belli uzunlukta oluşturur, daralma hızı sıfır dır daha doğrusu daralma yoktur olsun ki kas aktif dir.

Kas daralma hızınının izometrik-izotroşik daralmanda araştırılması (şekil 1c) grafiksel gösterilmiştir şekil 4.



Şekil 4. Kasın daralma hızının onun yüklülüğüne bağlılığı

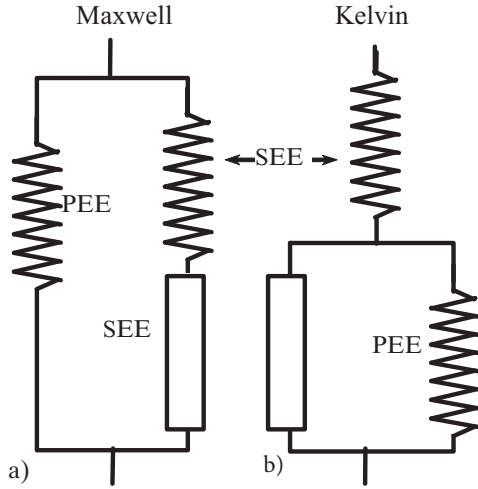
Hil (Hill) 1938 yılında bu eğri aşağıda verilen hiperbol olarak gösterilir:

$$(F + a)(v + b) = K, \quad (1)$$

denklemden F kas kuvveti (daha doğrusu yüklenme) dir, v kasın daralma hızı burada a , v ve K sabitelerdir. Denklem (1)'e *Hilin karakteristik denklemi* denir.

20. 7. KASLARIN ÜÇ BİLEŞENLİ REOLOJİK MODELİ

Pasif ve aktif kasın temel özellikleri relatif başarılı uyarılır üçbileşenli modelde (şekil 1). Daralan elemanlardan (CE) ve iki lineer olmayan yaydan oluşmuştur.



Şekil 1.

Yaylardan biri (paralel elastik elemanı PEE) aktif olmayan kasta elastiş özelliği gösterir, diğeri (seri bağlanan elastik eleman SEE) aktif kasın elastik özellikleri ile uyarılır. O esnada, PEE sertliği SEE sertliğinden daha büyüktür. Bu elemanların isimleri PEE paralel ve SEE seri kaynaklanır. Kasın tüm daralma karakteristikleri CE modeline etkinliğine ve yayın davranışına yazılır.

Önceki istekleri yerine getirmek için daralan eleman, şu şartları yerine getirmesi gerekir: 1. kas aktif olmayan durumda bulunursa CE sıvı amortisörü gibi davranır, ve 2. kas aktif olduğu zaman CE kendiliğinden keni aniden kısaması için enerji üretir.

Bu üçeleman Maksfel ve Kelvin modelleri gibi bağlanabilirler. Maksfel modelinde PEE paralel şekilde CE ve SEE (şekil 1a) bağlıdır, Kelvin modelinde (şekil 1b) PEE paralel olarak daralabilen elemanla bulunur. Pratikte her iki modelin benzer özellikleri var, daha sık olarak Maksfel modeli kullanılır.

Modellerde şekil 1'de gösterilen kasların daralması izometril etkinlik şartlarında uyarılır, CE aniden kısılması, gevşemesi ise aktif durumun kesilmesi ile başlar. O anda CE amortisör olur.

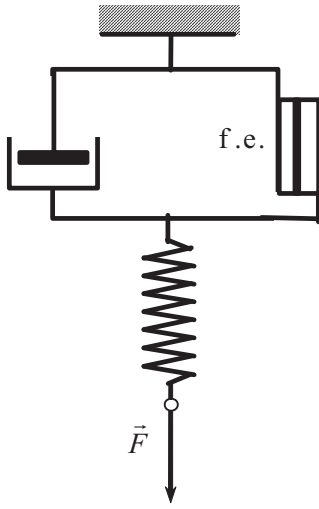
Üçbileşen modeli bir bütün olarak kaslar davranışının fonksiyonel kopyasını gösterir, demek ki modelin ayrı olarak bileşenleri arası ve kasların anatomik bütünlüğünde ilerideki benzerliği aramamız gerekmez. Burada kasların uçlarında daralmayan bağlar iskelet kemikleri ile birleşen, seri bağlanan elastik elemana (SEE) uygundur, diğer yandan kasların kılıcıklarını saran tamamen bağ dokusu, paralel bağlanan elastik elemana (PEE) uygundur.

20. 8. KANIN REOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Bigman (Bingham) plastiği. Viskoz elastik reolojik malzemesi dir, birinci sırada, plastik özelliği gösterir, kendi özelliklerine göre yoğun sıvıyı andırır.

Bundan dolayı bingam plastihi Maksfel modeli ile gösterilebilir.

Bingam plastik modeli. Reolojik model Bingam plastiği Maksfel modelin amortisörü ile paralel sürtünme elemanı verilir (şekil 1). Bu eleman iki plakla sıkı yapıştırılmış bulunur. Küçük kuvvetlerde F plaklar arası sürtünme elemanın statik sürtünmesi amortiseör gerilmesini imkansız yapar. Kuvvet F statik sürtünmenin kuvvetine ulaşınca, plaklar biri diğerinden kayar. Plakların kayması başladığında model Maksfel modeli yönetilir.



Şekil 1.

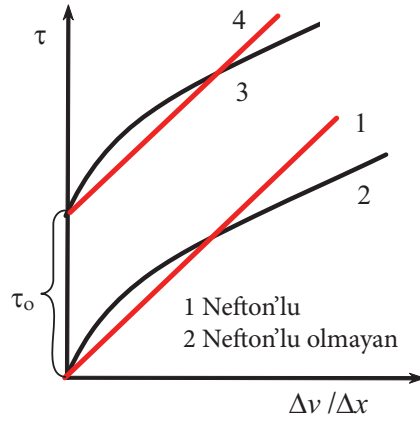
İdeal Bingam plastiği. (Konu 9.12. de Şekil 1'de) alanlar arası fluid bulunursa, üsteki alan hareket eder ne zaman kuvvet F kritik değere F_0 ulaşır. Bu olayda normal kritik gerilimin değeri $\tau_0 = F_0/S$ dir. Eğer normal gerilim τ öyle süpstan-sın hız gradyana $D = \Delta v / \Delta x$ lineer bağlıdır, şimdi Huk kanununa benzer viskozite için Nefton kanunu yerine, aşağıdaki denklem verilir:

$$\tau = \frac{F}{S} = \eta \frac{\Delta v}{\Delta x}, \quad (1)$$

burada F kuvvetin şiddeti kritik değerden F_0 daha büyüktür, bu olay için denklem 1 şöyle yazılır:

$$\tau - \tau_0 = \eta \frac{\Delta v}{\Delta x} = \eta D \quad (2)$$

Deneyssel olarak kanın damarlarda kritik gerilimi $\tau_0 = 5$ mPa olduğu tazdiklandı. Bingam plastiği şart (2)'ye göre uygun özelliği olan *ideal Bingam plastiği* dir. Bu plastik için τ hız gradyandan grafiksel bağı şekil 2'de doğru (3) ile gösterilmiştir.



Şekil 2.

Sıvılarda, yüksek moleküllü organik bileşiklerde, viskozite akım rejimine, basınca ve hız gradyana bağlıdır.

Onların büyümesi ile viskozite azalır ve yapısının bozulmasından kaynaklanır. Böyle sıvılar *neftonlu* sıvılardır. Nefotonlu olmayan sıvılarda teğetsel gerilimi hız gradyanının lineer olmayan fonksiyon dur (şekil 2'de eğri 2). En büyük homojen sıvıları neftonlu sıvılara düşerler, diğerleri emülsiyonlu ortamlara ve koloid – neftonlu olmayan sıvılara.

Kason plastiği. Tamamen bu model gibi davranacak süspansiyonun bulunması zordur, daha doğrusu denklem (3)'e uygun olacak. Bundan dolayı diğer kanunlara ait olan plastik modelleri önerilmiştir, fakat ileriye de *kritik basınç* gösterirler. 1959 yılında Kason modeli önerilmiştir. Denklem (2)'deki tüm büyüklükleri onların kare kökleri ile değiştirir. Eğer $\sqrt{\eta} = K$. Kason denklemi şöyledir:

$$\sqrt{\tau} = K\sqrt{D} + \sqrt{\tau_0} \quad (3)$$

nerdeki K malzemenin sertlik birimi dir. Daha doğrusu süspansiyon ne kadar büyükse η okadar büyüktür, bunula K da büyüktür. Bigman plastiğine uygun denklem (3)'ü tatmin edene *Kason plastiği* denir. Deneylerden alınan deneyimlere göre belli şartlarda kan Kason plastiği gibi davranır.

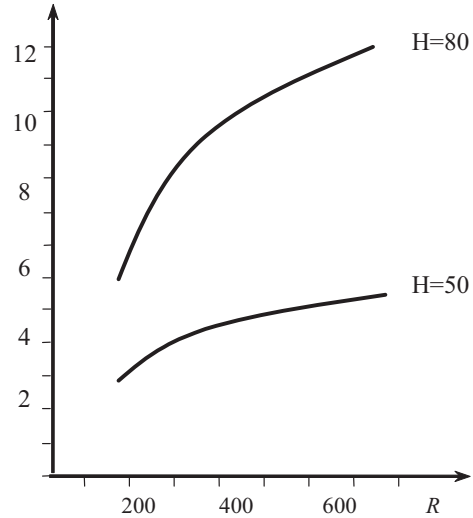
20. 9. KANIN KRİTİK GERİLİMİ. DUVAR ETKİSİ

1. Kanın kritik gerilimi. Deneysel olarak kanın damarlarda kritik gerilimi $\tau_0 = 5$ mPa olduğu tazdıkları. Fatat, aniden kan damarının vazokonstraksiyonu yada sıkıştırması olduğu zaman damarlar sisteminde kanın akması engellenir, venler sistemi uclarında daha normalden daha büyük basınç farkı sağlaması gerekir. Böyle şart gerçekleşmediği zaman, kan akımı azalma-

sından dolayı kan damarının zedelenmesine sebep olur.

Böyle olaylarda kan ve kan damarının duvarı plak ve sürtünme elemanı gibi davranır (Şekil 1. konu 20.8). Statik sürtünme kuvveti kinetik sürtünme kuvvetinden daha büyük olduğu için, bir defa duran kan duvarlarla daha büyük sürtünme yapar nitekim hareketi esnasında yaptığı sürtünmeden. Bundan dolayı daha büyük kuvvet gerekir statik sürtünme kuvvetin yenilmesi için buna kan damarlardaki iç akımın desteği gerekir.

2. Duvar etkisi. Deneysel ölçmeler kandaki viskozite azalır kılcal damarlar yarıçapının küçülmesi ile (şekil 1). Bu olgunun açıklanması çok farklılara dayanır.



Şekil 1.

Puazey kanununa (konu 9.14) göre viskoz sıvının akması – uzunluğu l ve yarıçapı R olan silindirik borudan:

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{\pi R^4}{8\eta} \frac{\Delta p}{l} \quad (1)$$

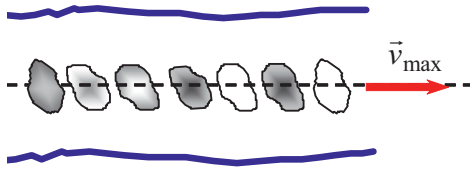
bu denklemden kan damarlarının hidrodinamik direnci:

$$Q = \frac{\pi R^4}{8\eta} \frac{\Delta p}{l} = \frac{\Delta p}{R_h} \quad (2)$$

Daha doğrusu, toplam direnc sıvının akması esnasında, *hidrodinamik* direnç R_h olarak adlandırılır:

$$R_h = \frac{\Delta p}{Q}; \quad \text{nerede} \quad R_h = \frac{8\eta l}{\pi R^4} \quad (3)$$

ve kanın viskozitesine, borunun uzunluğuna ve boru kesitinin yüzeyine bağlıdır. Denklemler 1 ve 3 analiz edilmesiyle küçük yarıçaplı damarların hidrodinamik basıncı önemli değerlerde büyür, basıncın da büyümesi olur akışın Q aynı kalması için.



Şekil 1. Kan damarında duvar etkisi

Mikroskopla izlemeler kan damarının duvarları yakınında her zaman kan plazma katmanını bulunur, kan hücreleri ve bazı proteinler iç katmanlarında yoğunlaşmışlardır ve kan damarının simetrik ekseninde hareket ederler.

Kan damarlarında hücresiz bölgesi çok geniştir, kan hızı ne kadar büyükse. Bu katmanın kalınlığı daha büyüktür kan damarının yüzey kesiti ne kadar küçükse. Bu etki, bundan dolayı kılcal damarlarda daha büyüktür, bunlarda hematokritin her zaman daha küçük değeri vardır. Ka-

nın ince damarlardan – kılcal akması kanın viskozitesi %50 dir ve geniş kan damarların viskozitesinden küçüktür. Viskozitenin azalması ile kan akışın artışı sağlanır. Kılcallardan kanın akması eritrositlerin kan damarının ekseninde hareket etmeleri eğilimi vardır. Bu olaya Fahraeus-Lindqvist ekisi *yada kan damarın duvar etkisi* (Şekil 1) denir.

Bu etkinin açıklanması için silinder boruda parçacıkların hızı kan damarları olduğu gibi şu denklemlerle verilir:

$$v = \frac{P_1 - P_2}{4\eta l} (R^2 - x^2) \quad (4)$$

Daha doğrusu simetriden ötürü, sıvının parçacıkları geometrik eksenden aynı uzaklıkta bulunurlar ve aynı hızları vardır. Duvarla yakın olan katman ($x=R$) hızı $v=0$ dir, enbüyük hız v_{max} ise ($x=0$) geometrik ekseninde bulunur.

Daha doğrusu:

$$v_{max} = \frac{P_1 - P_2}{4\eta l} R^2 \quad (5)$$

Parçacıkların hız dağılımı yarıçapı R olan bir boruda parabolik kanuna dayanır.

20.10. EMÜLSİYON SİSTEMLERİN VİSKOZİTESİ – KANIN HEMATOKRİTİ

Viskozite için Nefton kanunu deneysel olarak belirlenen emülsiyon ortamın viskozitesi değerleri için tamamen geçerli değildir. Deneysel olarak hematokritin çoğalması ile kanda viskozite lineer şekilde büyümeye (Şekil 2). Sağlıklı insanda hematokrit %40 ila %48 civarında dır.

Kan viskozitesi öncelikle kırmızı hücrelerin sayısı ve öalliklerine bağlıdır, özellikle eritrositlerden ve bazı inorganik organik süpstanların miktarından.

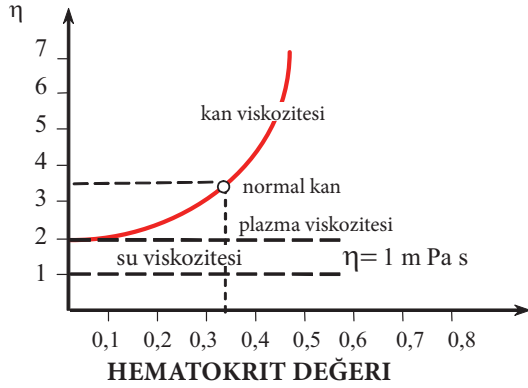
Kan viskozitesi büyür kardon diokitin büyümesiyle, eritrositlerin hacimleri büyür ve hematokrit değerinin büyümesine yol açar.

Oksijen kanda viskozite sabitesini düşürür, bundan dolayı venlerdeki kanın viskozite sabitesi arterilerden daha büyüktür. Karbon hidratlı ürünler viskozite sabitesini düşürür, yağlar ise yükseltirir.

Kandaki viskozite seviyesini çoğaltan safra asiti, alkol, eter; viskozite seviyesinin azaltanları ise kinin, KJ ve fosforik asiti. Sağlıklı insanın kanındaki viskozite sabitesi $3,5 \cdot 10^{-3}$ Pa·s ve $6 \cdot 10^{-3}$ Pa·s arasında dır, patolojik hastalıklarda ise $(1,7-25) \cdot 10^{-3}$ Pa·s.

Sıvılarda, yüksek molekül sel organik karışımlarda, dinamik viskozitesi akım rejimine, basınç ve hız gradyanına bağlıdır. Onların büyümesi ile viskozite azalır, yapısının bazulmasından kaynaklanır. Böyle sıvılar *nefton olmayan* sıvılardır.

DİNAMİK VİSKOZİTESİ



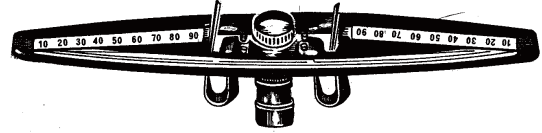
Şekil 1. Kanda hematokritin değerinin değişimine kanda viskozitenin bağlılığı

Nefton olmayan sıvılarda teğetsel gerilim hız gradyanının lineer olmayan fonksiyonu değildir. Enbüyük sayıda homojen sıvıları nefton sıvılarına düşerler, çok sayıda emülsiyon ortamlarına ve koloidlere – neftonlu olmayan sıvılar. Çok sayıda biyolojik sıvıları emülsiyon ortamlarını temsil ederler.

Dinamik viskozite sabitesi verilen emülsiyon ortamının sabit değildir. Emülsiyon ortamında süspansiyon küresel parçaları, boyutları moleküllerden büyüktür, viskozite şöyle yazılır:

$$\eta_c = \eta_o (1 + K c) , \quad (1)$$

denklemde η_c viskozite dinamik sabitesi; η_o ortam viskozitesi; K doğru orantılı sabitesi ve değeri parçacıkların şekline bağlıdır; c dağılık parçacıkların hacimsel konsntrasyonu, şu denklemle verilen $c = V_d/V_s$, denklemde V_d dağılık parçacıkların toplam hacmi, V_s dağılık ortamın hacmi. Kan için sökonusu olduğu zaman c hematokriti oluşturur.



Şekil 2. Hematokrit. Kivetler çerçevesi mekezkâç dingili üzerine konular

20. 11. BERNULİ DENKLEMİN TIPTA UYGULANMASI

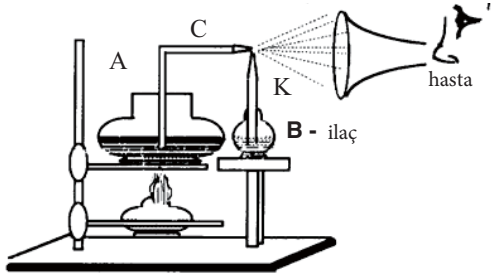
Bernuli denklemin tıpta geniş uygulanması vardır. Burada sadece birkaç örnek verelim, örnek, kandaki yabancı parçacıkları veya sıvıları ayırmak, suyun çekilmesi, dişlerin ağrısız işlenmesi, kan pompaları ve sayı.

1. İlaçların iğnesiz alınması

İlaçların organizmaya alınması çok sayıda yöntemle yapılır. İlaçların elektrik akımı ile alınmasına *elektroforez* denir. İlaçların tıbbi inhaler (soluk aldırma cihazı) ile alınması (şekil 1).

Bernuli denkleminde yatay şekilde konulan boru $h_1=h_2$ yazılabilir:

$$p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} \quad (1)$$



Şekil 1. Tıbbi inhaler (soluk alma cihazı)

Son denklem ile, Bernuli kanununun yeni şekli elde edilir: *yatay boruda statik ve dinamik basıncın toplamı sabit büyüklüktür*. Buna göre, eğer yatay borunun bir kısmında akım yükselirse, statik basınç azalır ($S_1 < S_2$, $v_1 > v_2$, $p_1 < p_2$).

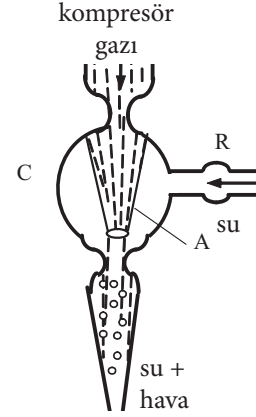
Tıbbi inhalerlerde dinamik basıncı büyür, statik basınç ise azalır.

Tıbbi inhaler herhangi bir sıvının püskürtmesi yapılıdır. Püskürtücü gibi çalışır.

2. Dişlerin ağrısız düzeltme turbo makinesinin çalışma prensibi Stomatolojide ve tıpta sıkça bazı müdahalelerde vakumlu bunzen pompası kullanılır akan su yada sıkıştırılmış hava ile (şekil 2).

Dişlerin düzeltilmesi turbo makinede gaz kompresörden büyük basınçta A borudan akar ve ucu dar boşlukla biter nerdeki dinamik basıncı büyütülür. Gaz koni borusna girer ve sonra sıvı ile çıkar depo R tarafından emilir.

Boşluk C balondur ve boru A uzundur, nerdeki ucu daralır. Burada yükselmiş dinamik basıncından ötürü azalmış statik basıncı egemendir ve sıvının emilmesi balona R yapılır. Bu sıvı soğur ve dişlerin ağrısız düzeltilmesi yapılıdır.



Şekil 2. Bunzen pompası - dişlerin ağrısız düzeltilmesi makinesinin temel kısmı

Bu nedenlerden, eğer balon C depo R ile sondaya bağlanırsa, sıvılar cerrahi müdahalesi esnasında emilir. Aynı yöntemle ak ciğerlerde toplansu çekilir.

21.1. RELATİF MEHANIĞİN TEMELLERİ

Tüm fiziksel olayları ve süreçleri belirli *ortamda* gerçekleşir ve belli *zaman* kadar sürer. Onları araştırırken temel ödev olarak olaylar ve süreçler hangi kanunlara göre yapıldıkları alınır, daha doğrusu maddesel cisim değişimleri ortamın farklı yerlerinde ve farklı zaman anlarında hangi kanunlara göre belirlenir. Bilimin gelişmesi ile ortam ve zaman bilgileri tamamlanmaktadır.

Klasik mehanikte mutlak ortam ve mutlak zaman tanımlanır, daha doğrusu ortama ve zamana öyle özellikler ile ilişkilendirilir ve onlarla kolayca olaylar ve süreçler açıklanır. Bazı en önemli düşünceler mutlak ortam ve zaman için, mekaniksel hareketler incelendiğinde:

Ortam ve zaman birbirinden bağımsız kavramdırlar.

Ortam kendi özellikleri ile maddeden ve onun hareketinden bağımsızdır; Öklid ortamı – tüm geometrik problemleri Öklid geometrisi ile çözülür; Ortam sonsuzdur, homojen ve izotropdur, her noktasında ve her yönünde aynı özellikler vardır.

Vakit kendiliğinden ve cisimlerin hareketinden bağımsız akıyor; vakit dönüşsüz tek yönde akıyor – geçmişten bugüne kadar ve geleceğe doğru; zamanda sonsuz küçük aralıklar her an vardır; zaman homojen dir – farklı anlarda zaman özellikleri aynıdır.

Cisimler doğada her an ortamda belli durumu alırlar. Eğer zamanla bir cismin durumu değişirse o zaman o cisim hareket eder deriz. Buna göre hareketin araştırılması için durumun belirlenmesi gerekir daha doğrusu cismin bulunduğu yer.

Ortamın sürekliliği ve homojenliği yüzünden onda sadece bir cismin durumunu belli etmemiz imkansızdır, çünkü ortamda onun yerini diğer cisimlerden fark etmemiz için imkan yoktur.

Bunula ilgili referens cisim alınır, şartli olarak bu cismin sıfır durumda bulunduğu kabul edilir, buna göre diğer cisimlerin durumları incelenir.

Dünya üzerinde cisimlerin hareketi incelenirse, en uygun referens cisim Dünya yüzeyi alınır. Güneş sistemindeki gezegenlerin hareketi incelenirse, en uygun referens cisim olarak Güneş alınır. Dünya üzerindeki cisimler incelenirken referens cisim olarak herhangi bir cisim alınır. *Eğer referens cismin boyutları gözünüde alınmazsa onu bir maddesel noktası yada cisim gibi kabul ederiz, böylece referens noktası elde edilir.*

Eğer referens noktasını koordinat sistemin başlangıcında bulundurursak, referens sistemi elde etmiş oluruz. Böylece şartli olarak ortamda sıfır durum kabul edilen referent sistemin koordinat başlangıcıdır. Referens sistemde verilen noktanın durumu kolayca belirlenir yada diğer cisimlerin durum değişimleri.

Olayları ve hareketleri incelerken bir problem daha oluşur. Zamanın süreksizliği ve homojenliliği yüzünden sadece bir zaman anını incelememiz imkansızdır çünkü herbiri birbiriyle aynıdır. Pratik olarak verilen olayın ne zaman olduğunu söylememiz imkansız olur, çünkü olayın zaman anını belirleyemediğimiz için dir. Bir olayın ne zaman olduğunu bilmemiz için, olayın yapıldığı zaman anı gerekir ve onun *sıfır zaman anı* gibi alınması gerekir.

21. Relatif mekaniği

Diğer her anı sıfır ile aranılan an arasındaki zaman aralığı ile belli ederiz. Sıfır an gibi, yada referens zaman anını önemli olan bir olayı sabitleyebiliriz. *Sıfır zaman anı sabitlenebilen her sistemde ve ona göre ölçülen zaman aralıkları, tasarım prensipinden bağımsız olarak, buna zaman saati yada saat denir.*

Referens sitem hakkında önceki deyimde göre tanımını yapabiliriz:

Referens sitemi koordinat sistemden ve saatten ayrı olmayan bütünlüktür verilen referans cisme bağlıdır.

Mekanik olayları ve hareketleri her zaman verilen referans sistemde incelenir ve o zaman cismin *relatif hareketi* yada *relatif sükuneti* sözkonusu olabilir. Referans sistemde ne yer ne de zaman belirlenir, daha doğrusu olayın nerede geliştiğini kararlaştıramayız. Buna göre **mutlak sükunet yada mutlak hareket yoktur veya her hareket ve her sükunet relatif dir.**

21.1.1. Klasik mekanikte relativite prensipi ve Galiley dönüşümleri

Her hareket vrilen ortamda ve zaman gerçekleşir. Ortam ve zaman maddenin varolması ile ilgili göz ardı edilemez yada enbasit fiziksel incelemede bile yok sayılamaz.

Önceden gördüğümüze göre her hareket yada sükunet relatif oldukları, böylece relatif sistemde inceleme yapılabilir. Örneğin, tren hareketini tren durağına (referent sistemi) göre takip ederiz, otobusu otobus durağına göre yada bir uçağı radar merkezine göre takip ederiz. Gözetleyici referent sistemde gerçekleşen mekanik olayları ve hareketleri, aynı sistemden yada farklı bir sistemden birinci sisteme göre gözetleyebilir. Her iki sistem **eylemsiz yada eylemli** olabilirler.

Bildiğimiz gibi birinci Nefton kanunu – eylemsizlik kanunu, için geçerli olan sistemler eylemsizdir. Diğer sözle, eylemsiz referent sistemine bağlı olan referans noktası sükunete yada düzgün doğrusal harekette bulunursa, böyle sistem var demektir. Her diğer sistem hızlandırılan yada dairesel dönen eylemlidir. Bu Dünya'ya göre hareket eden cisimler için geçerli dir, onların sükunete olduklarını düşünürüz.

Eğer verilen referans koordinat sistemine göre, verilen cisim düzgün doğrusal hareket ederse yada sükunete bulunursa o zaman cisim eylemsiz sistem dir, referans koordinat sistemi de eylemsizdir.

Galileo Galilei'nin klasik ifadelerine, gözetlemelerine ve deneylerine göre ortam ve zaman için vermiş olduğu sonuçlar ve ifadeler mekanik olayları farklı eylemsiz sistemlerde oluşur.

Galiley'in eylemsiz sistemler için en önemli bilgileri:

Her eylemsiz sisteminde zaman eşit hızla akar. Bona göre bir sistemde ölçülen zaman aralığı tüm sistemlerde ölçülen zaman aralıklarına eşittir, eğer her iki sistem birbiri ile eylemsiz sistemleri gibi davranırsalar.

Hiçbir zaman ve hiçbir mekanik deneyi ile iki eylemsiz sisteminden hangisi sükunete hangisi harekete olduğunu yada her ikisinin sükunete yada harekette olduklarını kesinlikle belirleyemeyiz.

Diğer sölerle: tüm mekanik olayları ve hareketleri birde kanunları onlara uyanlar, eşit şekilde gerçekleşirler ve eşit şekilde tüm eylemsiz sistemlerde geçerlidir.

21. Relatif mekaniği

Bundan dolayı onlardan biri diğerine öncülük yapamaz. Onlardan herbiri şartlı olarak mekanik olayların açıklanması için alınabilir.

Yukarıdaki tutum bilimde **relativite için Galiley prensipi** yada **reletivitenin klasik prensipi** olarak bilinir. Bu sadece eylemsiz sistemler ve mekanik olaylar için geçerlidir.

Doğrusal hareket yapan bir kamyon ile yolculuk yapılır. Belli yükseklik top yukarıya fırlatılır, top aşağıya düşmeğe başlar ve atıldığı noktanın aşağısındaki izdüşümü noktasında vurur. Topun hareketi sanki insan taprakta bulunur ve topu atarak yaptığı hareketi aynı yapmaktadır. Bu şekilde kamyonla yapılan deney reletivitenin klasik prensipi ile uygundur. Diğer sözlerle, gravitasyon kanunu ve sabit hızlamada hareket denklemleri bağımsız eşdeğer dirler kamyonun sükunete yada düzgün doğrusal harekte olmasına.

Şimdi aynı deney Dünya üzerinde bulunan gözletleyici tarafından izlenilsin. Bu hareket etmeyen gözletleyiciye göre topun yörüngesi bir parabolü oluşturur (şekil 1b).

Bu gözletleyiciye göre topun yatay bileşeni kamyonun hızına eşittir.

Her iki gözletleyici bazı yönlerde uyumlu değildirler, onlar Nefton kanunların geçerli olmasında ve enerjinin korunması klasik prensiplerinde ve impulsun korunmasında uyumludurlar.

Böyle uygunlukta hiçbir mekanik deney herhangi bir fark iki eylemsiz referent sisteminde gösteremez. Sadece bir sistemin diğerine relatif hareketi görünür. Öyle ki, ortamda mutlak hareket kavramı önemsizdir, nasılsa ayrıcalıklı referens sistemi önemsizse.

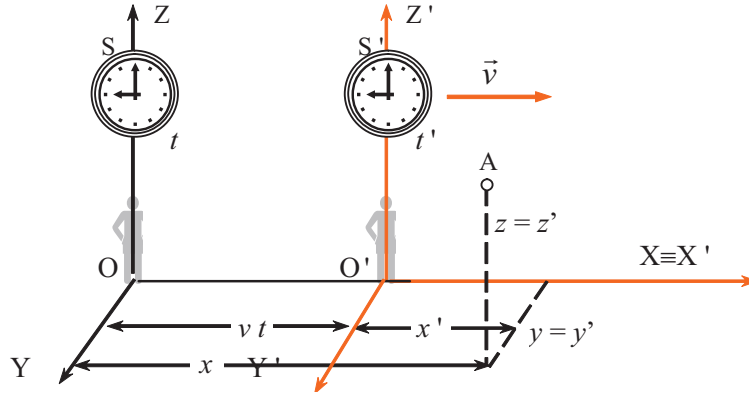
Şöyle karar verebiliriz: *özel yollar farklı olduğuna bile relativitenin klasik presipini uygundur, buna göre mekanik kanunlarına göre tüm eylemsiz sistemlerde aynıdır.*

Bir mekanik olayı gözletlediğimizi farz edelim, örneğin, verilen cismin hareketi ortamda eylemsiz sistemde S, sistem bize göre hareket etmez. Bu olayı nasıl açıklayabiliriz gözletleyici göre, gözletleyici diğer bir eylemsiz sitemde S' bulunur ve bu sistem diğerine göre v hızıyla hareket eder, cismin hareketi her iki sistemdeki denklemler arasında bağlantı var mı?



Şekil 1. Top yörüngesinin şekli yukarı atılan: a) gözletleyici hareket sisteminde, b) aynı deneyde hareket etmeyen gözletleyici topun yörüngesi parabololdür

21. Relatif mekaniği



Şekil 2. iki referans sistemde A noktasının koordinatları

Aksi takdirde, mümkün mü, eğer bir referans sisteme göre cismin yaptığı mekanik hareketlerin denklemleri bilirse, basit matematiksel varsayımları ve dönüşümleri kullanarak denklemler elde edilir diğer bir sisteme göre hareketi açıklayacak? Deneyimlere göre mümkündür, bunun olmasını sağlayan denklemlere **Galiley dönüşümleri** denir. Relativite için Galiley prensipi, sistem S gözetleyicisinin göreceği fakat diğer sistemde gelişen S', aynı sistemdeki gözetleyici S' aynısını görecektir fakat sistem S oluşacaktır.

Cisimlerin hareketini maddesel nokta ile tanımlarız, yerlerini ve durumlarını belli eden büyüklüklerin bağlı olduğu denklemler yardımıyla. Eğer tanımlamayı bir kez eylemsiz sisteme S göre yaparsak, sonra sistem S' göre, her kanun için değişmeyerek kalırsalar her iki eylemsiz sistemde, uygun denklemler gerekir. Başlangıç anında $t_0=0$ her iki sistem S ve S' tamamen uygundur. Bir zaman t sonra sistem S' relatif hızla v düzgün ve doğrusal x ekseninde hareket eder ve $OO'=vt$ mesafesinde bulunur. Y ve Z eksenleri yönünde yer değişimi yoktur, eksenler Y ve Y', birde Z ve Z' birbirine paralel kalırlar (şekil 2).

Zaman t anında sistem S gözetleyicisi A noktadaki olayı (x, y, z) koordinatları ile açıklar.

Aynı anda sistem S' gözetleyicisi aynı olayı A noktasında (x', y', z') koordinatları ile açıklar. Görüldüğüne göre $y'=y$ ve $z'=z$. Değişim sadece x' ekseninde var. A noktasının koordinatı x' zaman bağlıdır, çünkü sistem S' hızı v ile hareket eder. Buna göre Şekil 2'de bu koordinatlar şu denklemlerle bağlıdır:

$$x' = x - vt' \quad (1)$$

$$y' = y; \quad z' = z; \quad t' = t,$$

çünkü zaman aynı akar $t'=t$.

Eğer nokta A sabitse sistem S' göre, ozaman onun koordinatları sistem S kim ki sabit hızla $-v$ hareket eder sistem S' göre (şekil 2'de sola doğru), şu şekilde verilir:

$$x = x' + vt' \quad (2)$$

$$y = y'; \quad z = z'; \quad t = t'$$

Denklemler (1) dönüşümlerle sistem S'de mekanik olayları tanımlamakla sistem S'e dönüşür, denklemler (2) dönüşümleri ile tersi olur. Ensondaki eşitlik ($t'=t$) her iki sistemde zaman eşit akar.

Denklemler (1) ve (2) benzerdirler, eğer denklem (2)'den x', y', z' ve t' ifade edilirseler denklemler (1) elde edilir.

21. Relatif mekaniği

Bu dönüşüm denklemlerine **Galiley dönüşümleri** denir. Bunlar, verilen maddesel noktanın koordinatları arasındaki matematiksel bağı, bunlarla noktanın durumu aynı zaman anında her iki eylemsizlik sisteminde belirlenmiştir. Diğer sözlerle denklemler (1) ve (2) koordinatların ve zamanın dönüşümünü klasik mekaniğe bir eylemsizlik sistemden diğerine geçişleri esnasında tanımlarlar.

Galiley dönüşümleri klasik mekaniğin oluştuğu iki tavıra dayanır:

1. zamanın mutlaklığı;
2. ortamdaki mesafeler mutlaklığı.

Klasik mekaniğe göre zaman her eylemsizlik sisteminde aynı şekilde akar: hareketsiz sistemin S ve hareket eden sistemin S' saatleri gözetleyicide aynı zamanı gösterirler. Zamanın mutlaklığı $t'=t$ denklemi ile verilir.

Eğer doğru parçası $OA=x$ ve $O'A=x'$, aynı eylemsizlik sisteminde ozaman denklemler (1) doğrudurlar.

Reel olarak, $OA=x$ eylemsizlik sistem S ölçülür, OO' ve $O'A$ – eylemsizlik sistem S'. Denklemler (1) elde edilemezler eğer doğru parçasının uzunluğu her eylemsizlik sisteminde aynı değilse.

21.1.2. Hızların toplanması için klasik kanun

Farz edelim ki maddesel nokta her iki eylemsizlik sisteme göre hareket eder. Nokta $O'X'$ eksenine paralel olarak hareket eder, u' hızı ile sistem S' göre, bu sistem ise v hızı ile sistem S göre hareket eder. Noktanın hızı u hareketsiz sistem S göre nasıl olacaktır?

Zaman t_1 anında maddesel nokta A_1 durumunda bulunur, zamanın t_2 anında A_2 durumunda bulunur (şekil 3). Eğer sistem S durum A_1 'de koordinatları $A_1(x_1, y_1, z_1)$, ozaman maddesel noktanın aynı durum için koordinatları sistem S' de, Galiley dönüşümlerine göre:

$$x'_1 = x_1 - vt_1 \quad (3)$$

$$y'_1 = y_1; z'_1 = z_1; t'_1 = t_1$$

A_2 durumunda sistem S' maddesel noktanın koordinatları:

$$x'_2 = x_2 - vt_2 \quad (4)$$

$$y'_2 = y_2; z'_2 = z_2; t'_2 = t_2$$

Eğer denklem (2)'den denklem (1) çıkarılırsa elde edilir:

$$\Delta x = x_2 - x_1 \quad \text{ve} \quad \Delta x' = x'_2 - x'_1$$

ve zaman aralıkları:

$\Delta t = t_2 - t_1$ ve $\Delta t' = t'_2 - t'_1$, her iki olay ölçülen her iki eylemsizlik sistemde S ve S'.

x'_2 ve x'_1 koordinatların değerler farkını bulalım:

$$x'_2 - x'_1 = x_2 - x_1 - v(t_2 - t_1)$$

yada

$$\Delta x' = \Delta x - v\Delta t \quad (5)$$

$$\Delta t = \Delta t' \quad (6)$$

$$\text{daha dogrusu} \quad \frac{\Delta x'}{\Delta t'} = \frac{\Delta x}{\Delta t} - v \quad (7)$$

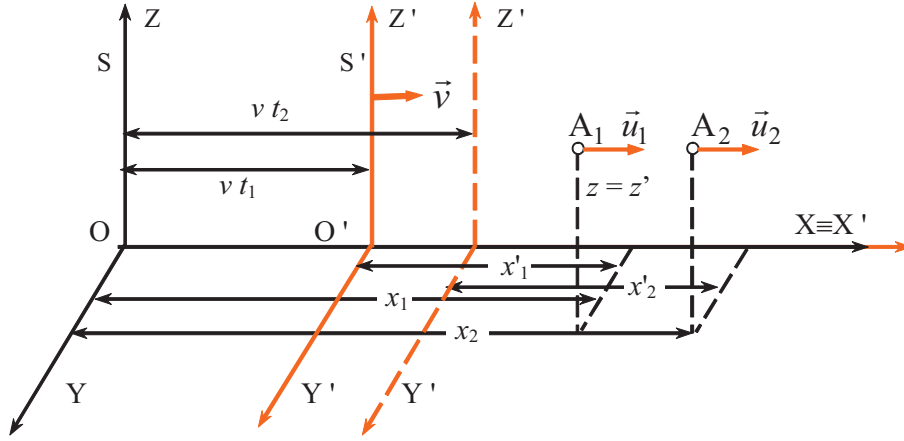
Denklem (5)'te alan aralıkları arasında verilen bağıdır, denklem (6)'de zaman aralıkları arası bağı. Bu denklemler Galiley dönüşümlerini bir eylemsizlik sistemden diğerine geçimi esnasında. Çünkü:

$$\frac{\Delta x'}{\Delta t'} = u' \quad \text{ve} \quad \frac{\Delta x}{\Delta t} = u,$$

Ozaman

$$u' = u - v \quad \text{yada} \quad u = u' + v \quad (8)$$

21. Relatif mekaniği



Şekil 3. Zamanın farklı anlarında hareket noktasının koordinatları

Anlamak için zor değildir eğer maddesel nokta sabit hızla u' sistem S' de hareket ederse, bu sistem ise hızla v_1 sistem S göre hareket ederse, o zaman hız bileşenleri x , y , ve z eksenlerinde:

$$\begin{aligned} u_x &= u'_x + v_x \\ u_y &= u'_y + v_y \\ u_z &= u'_z + v_z \end{aligned} \quad (9)$$

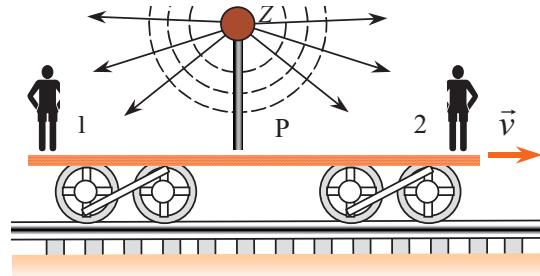
Burada u_x , u_y , ve u_z maddesel noktasının A_1 durumunda A_2 durumuna kadar bileşenleri sistemin S koordinat eksenleri yönünde u'_x , u'_y , ve u'_z - sistem S' nin koordinat eksenlerine paralel olarak.

Denklem (9)'e göre vektör u vektörler u' ve v nin toplamına eşittir, daha doğrusu

Relativitenin klasik prensipi ve hızların toplanması klasik kanunu ses olaylarında da uygundur.

Ses mekaniksel dalga gibi belli hızla u hareket eder. Farklı sistemlerden sesin ölçülmesi ile hızların toplanması Galiley kanununu tazdiklayabiliriz. Örneğin, platform P sabit hızla v havaya göre hareket eder, yatay şekilde ve doğrusal şekil (4)'te gösterildiği gibi.

Platformun ortasında ses impulsları kaynağı bulunur, örneğin, hoparlör Z . Her iki uçta birer gözlemci kronometre ile bulunur. Bir anda hoparlörden kısa vadeli ses impulsu yayılır. Her iki gözlemci zamanı kronometre ile ölçerler ses impulsun ulaşabildiği ana. Gözlemci 1'e gelen ses impulsu ve ölçtüğü Δt_1 ve gözlemci 2 ise ses impulsundan kaçtığı ve ölçtülen Δt_2 , buna göre ses impulsun ulaştığı zaman aralıkları ($\Delta t_1 > \Delta t_2$).



Şekil 4. Farklı referans sistemlerde ölçülen sesin hızı

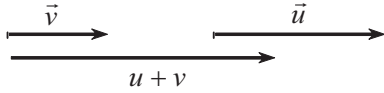
Birinci olayda gözlemci 1 sesin hızını platform yönünde ölçer, ses dalgaların yayılma hızı ikincisine göre daha büyük olduğunu bulacak, gözlemci 2 sesin hızını platform yönüne ters ölçer, daha doğrusu $u_1 > u_2$. Böylece $u_1 = u + v$, ikincisinde $u_2 = u - v$. Burada hız u gözlemciler platform hareket etmediği zaman ölçmüşlerdir. Buna

göre sistemin hareket ettiği hız ölçümlerin değerine etki eder. Eğer platform harekette bulunmazsa her iki gözlemci aynı zamanı ölçerler Δt .

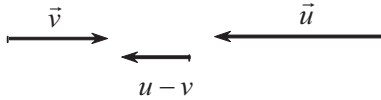
ÖRNEK 1. Motor teknesi ırmakğın hızı v olan ırmakta hareket eder: a) ırmağın akım yönünde, b) ırmağın akım yönüne ters, c) ırmağın akım yönüne normal olarak. Motor teknesi sakin suya göre hızı u ile hareket eder. Motor teknesinin hızı her üç olay için bulunsun ve hangisinde maksimum olduğu cevaplaınsın, daha doğrusu minimum hız.

Çözüm: a) ve b) olaylarında motor teknesinin hızı toplam olarak, daha doğrusu iki kolineer vektörün farkına eşittir

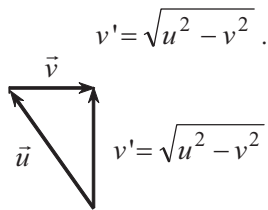
a) Irmak akışına göre



b) ırmak akışına ters



c) bu olayda hız vektörlerinin toplamı için söz konusu olur ve paralelogram kuralına göre yapılır ve motor teknesinin hızı normal olarak ırmak akışına gelir



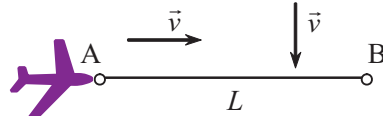
Motor teknesinin maksimum hızı ırmak akışının yönünde dir, minimum hızı ırmak akışının yönüne ters hareket ettiği zaman.

Sorular ve ödevler

1. Referans sistemi nedir ve eylemsizlik nedir?
2. Relativite için Galiley prensipi kime denir?
3. Galiley dönüşümleri açıklansın. Hangi tavırlara dayanırlar?
4. Klasik mekanikte ortam ve zaman birbirine bağımsızdır?
5. Kapalı bir tren vagonunda bulunursunuz, doğrusal ve sabit hızla hareket eden trende. Tren hangi yönde hareket ettiğini bulmak için yapılabilecek fiziksel deney mevcut mudur?
6. İnsan bir tekne ile kürek yaparak 5 km/h hızla suda hareket eder. Bir ırmağı 1 km genişliğinde olan ve suyu 3 km/h hızla akan geçmek ister. a) tekneyi sahile göre hangi açı üzere yönlendirmesi gerekir diğer sahile normal ulaşması için? b) tekenin hızı belirlensin sahile göre. c) teknedeki insan sahile ulaşması için ne kadar zaman gerekir?

(Cevap: a) $\alpha=45^\circ$; b) $u=8$ km/h; $t=0,25$ h)

7. Uçak hızı u ile uçar sakin havaya göre A noktasından B noktasına ve geri döner. Uçağın uçuşu esnasında rüzgar A noktasından B noktasına \vec{v} hızı ile estiği ve rüzgar aynı hızla AB yönünde normal estiği zaman kıyaslaınsın.



(Cevap: a) $t_p = \frac{2L}{u \left(1 - \frac{v^2}{u^2}\right)}$ $t_n = \frac{2L}{u \sqrt{1 - \frac{v^2}{u^2}}}$

$t_p > t_n$).

21.2. AYNŞTAYN PRENSİPLERİ

Mekanikte tüm mekanik olayları ve cisimlerin hareketleri, relativite için Galiley prensipine uygun, aynı tüm referens sistemlerinde akaralar kimler ki verilen eylemsizlik sistemine göre düzgün doğrusal hareket ederler. Klasik mekanikte böyle her sistemi eylemsiz sayabiliriz.

Bilindiği gibi, dünyamızda olaylar sadece mekanik değildirler, dağa doğrusu ve elektromıknatıslı. Bilim adamlarını ilgilendiren XIX y.y. ikinci yarısında elektromıknatıs olayları için relativite için Galiley prensipi geçerli midir ve hızların toplanması klasik kanun. Daha doğrusu, elektromıknatıs olayları verilen eylemsizlik sisteme göre düzgün doğrusal hareket eden tüm referans sistemlerinde aynı akarlar mı?

Maykelson interferometre deneyi negatif sonuç vermiş. O sonuç, işte, sabit teori ile uygun değildir. Doğrusu, sağlam gerçek gibi kabul edilmesi gerekir, dünyaya bağlı sistemde ışık hızında fark yoktur.

İnterferometre deneyi çağdaş laboratuvarlarda, Maykelson deneyine benzer, laser ışığı ve gama-ışınları tazdıkları ışığın hızı yaklaşık 1 m/s vakumda Dünyaya göre herhangi bir yönde aynıdır.

Elektron için e/m (burada e -elektron, m -elektron kütlesi) oranını ölçmesi esnasında büyük bir hızla elektronun hareketinde e/m oranı azalır. Bakış açısından klasik mekaniğin böyle birşey anlamsızdır, eğer elektron yükü e ve kütlesi m değişmemeleri mecbursa, öyleki onların hareket hızına bağlı değildirler.

Bu çelişkilerin açıklanması için, yeni teoriye ihtiyaç varmış, klasik mekanikte kabul edilenlerden önşartlara farklı dayanan. Bunu XX y.y. başlangıcında A. Aynştayn yeni önermeler vermekle kurdu.

1905 yılında A. Aynştayn klasik fiziğin temel düşüncelerinin eleştirilmesine ihtiyaç duyulduğu düşüncesindeyken, şu iki önermeleri relativite prensiplerine dayanan teklifte bulunur:

1. Fizik kanunları tüm eylemsizlik sistemlerinde tamamen eşittirler. Herhangi fiziksel deneyler herhangi eylemsizlik sisteminde yapılan o sistemin sükünette yada düzgün ve doğrusal hareket ettiği belirlenmesi imkansızdır.

2. Işığın vakumda hızı c tüm eylemsizlik sistemlerde aynı değeri vardır. Işık kaynağı yada gözlemci harekette yada sükünete bulunduklarına bağlı değildir.

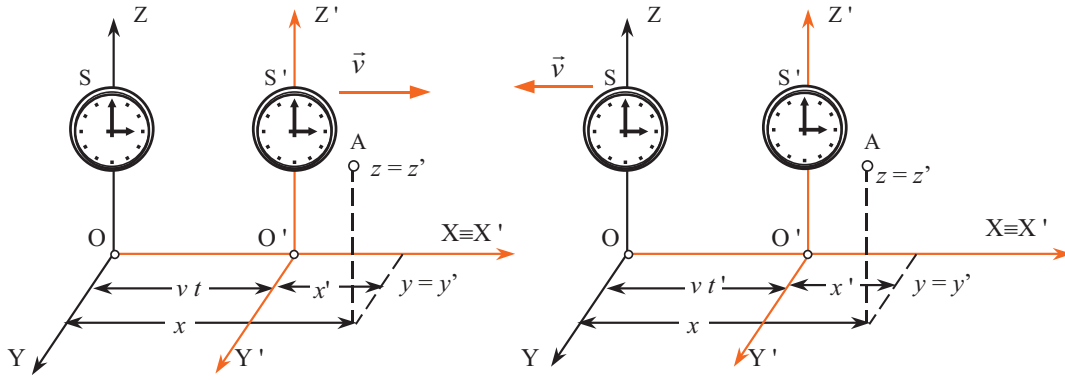
Birinci önermesi **Aynştayn'ın relativite prensipi** gibi adlandırılır, ikinci önermesi **ışık hızının sabitlik prensipi** olarak adlandırılmıştır.

Teori, A. Aynştayn'dan verilen eylemsizlik sistemlerde olayları açıklamak için iki önermesine dayanır, daha doğrusu Aynştayn'ın relativite prensipine **özel relativite teorisi** denir.

Birinci önermesinin önemi şöyledir. Tüm fiziksel kanunlar öyle denklemlerle verilmeleri gerekir aynı matematik şekilleri tüm eylemsizlik sistemlerde olması gerekir ve onlar harekette oldukları yada olmadıkları bağlı değildir. Hiçbir eylemsizlik sistemin diğerine öncüllüğü yoktur, demek ki mutlak eylemsizlik sistemi yoktur. Tüm eylemsizlik sistemleri benzer ve birbirine eşittirler. Bu Aynştayn'ın relativite prensipi relativite için Galiley prensipine göre farklıdır ve tüm doğal olayları kapsar, sadece mekanik olayları için değildir.

Birinci Aynştayn önermesi yeni dönüşüm denklemleri gerektirir, Galiley dönüşümlerinden farklı.

21. Relatif mekaniği



Şekil 1. Lorens dönüşümlerinin verilme şeması

Aynştayn'ın ikinci önermesi, ışığın hızı aynıdır ve eylemsizlik sistemin hızından ve yönünden bağımsızdır.

Bununla ilgili şu soru sorulur: Neden vakumda sabit ışık hızı önerme gibi alınır, bildiğimiz gibi o deneysel olarak kararlanmıştır? Yapılan deneyler öyle sonuçlar vermiştir belirli, özel koşullar, bugüne bilinmeyen koşullar, fakat sabit hız olmadığı bulunabilir. Fakat relativite teorisinde önerilir ışığın hızı vakumda her zaman sabittir, herhangi bir şarta bağımsızdır ve değeri $c=299\,792\,458\text{ m/s} \approx 3 \cdot 10^8\text{ m/s}$.

21.2.1. Lorens dönüşümleri

A. Aynştayn uyguladığı matematik analizini doğal olaylara, eylemsizlik sistemlerden kaynaklanan, özel relativite teorisini önermelere Galilei dönüşümleri uygun olmadıkları göstermiştir. Buna göre özel relativite teorisinin önermeleri uygun olması için farklı dönüşüm denklemlerine ihtiyaç duyulur.

Böyle denklemler bugün Lorens denklemleri gibi bilinen ilk önce Holandalı fizikçi H. Lorens 1890 yılında bazı elektromagnetik olayla-

rını açıklarken, Aynştayn'ın relativite teorisinden önce. Aynştayn ise bunların fiziksel önemini görünce ilk olarak onları relativite teorisinde uygulanmıştır.

Bu denklemleri vermek için birbirinden bağımsız sabit hızla hareket eden iki eylemsizlik sistemi S ve S' alınmaktadır. Her iki sistemin koordinatları birbirlerine paralel olarak XYZ ve X'Y'Z' bulunurlar (şekil 1). Sistem S' hızı v ile relatif olarak sistem S ye, x ekseninin pozitif yönünde hareket eder. Başlangıçta zaman anı ($t=0$) her iki sistemin O ve O' noktaları çakışır durumunda bulunmuşlardır. Belli bir zamandan t sonra sistem S de ölçülen nokta O' mesafesinde vt olacaktır.

Bir olayı A noktasında araştıralım, koordinatları $x'=O'A$ sistem S' de; o noktanın x koordinatını sistem S de bulalım. Eğer gözetleyici sistem S de zamanının t anında doğru parçasını kenarlarını O'A ve vt , o zaman doğru parçasının uzunluğu, sistem S den ölçülen şu denklemle belirlenir ($x-vt$) (şekil 1).

21. Relatif mekaniği

Klasik mekaniikte doğru parçanın uzunluğu eylemsizlik sisteme bağlı değildir, şu şekilde ve-rebiliriz x' ve $(x-vt)$ böylece Galiley dönüşümleri denklemleri elde edilir.

Galiley koordinatler dönüşümleri deney hız sonuçları ile uygun değildir ve $0 \leq v \leq c$. Bundan dolayı dönüşüm denklemleri bulunması gerekir, $v=0$ den $v=c$ ye geçerli olması gerekir.

Relativite teorisine göre doğru parçasının O'A uzunluğu, farklı eylemsizlik sistemlerde ölçülen uygundur. Buna göre yazabiliriz:

$$x' = k(x - vt), \quad (1)$$

k doğruorantılı sabitesi.

Şimdi sistemlerin S ve S' rollerini değiştirelim. Sistem S de A noktası alınsın. Sistem S sabit v hızla hareket eder sistem S' (X' eksenin negatif yönünde) göre. Belli zaman t' anında sistem S' de ölçülen O noktasının kordinatı $-vt'$ olur. OA doğru parçasının uzunluğu sistem S de, x e eşittir. Bu doğru parçanın uzunluğu gözlemcinin sistem S' ölçmesiyle $(x'+vt')$ eşittir ve yazabiliriz:

$$x = k(x' + vt'), \quad (2)$$

k aynı doğruorantılı sabitesi dir, çünkü eylemsizlik sistemi S ve S' aynıdır.

Sabite k yı belirlemek için Aynştaynın ikinci önermesini kullanırız. Koordinat başlangıçları O ve O' sistemlerinin S ve S' çakşırılar ($X=X'=0$) ne zaman ki her iki sisteme ait saatler aynı zamanı ($t=t'=0$) gösterirler. O anda lambanın ışık vermesi hareket etmeyen A noktasında bulunan. İlerideki zaman anında t , daha doğrusu t' ışık gözetleyiciye sistem S nin başlangıç noktasında ulaşır ve x kadar uzaktadır.

Aynştaynın ikinci önermesinden ($c=c'$) yazılabilir $x=ct$ ve $x'=ct'$, denklem (1) ve (2) x ve x' için değiştiririz:

$$ct' = k(ct - vt); \quad ct = k(ct' + vt')$$

zamanların parantezler önünde alınmakla ve bu denklemleri çarpmakla:

$$c^2 tt' = k^2 tt' (c - v)(c + v)$$

$$\text{veya} \quad c^2 = k^2 (c^2 - v^2)$$

buradan k doğruorantılı sabitesi için elde edilir:

$$k = \frac{c}{\pm \sqrt{c^2 - v^2}} = \frac{1}{\pm \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (3)$$

sadece pozitif değer alınarak denklem (3) şunu elde ederiz:

$$k = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (4)$$

k için (1) ve (2) elde ederiz:

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (5)$$

Lorens dönüşümleri denklemleri, zamanları t ve t' başlayan şöyle elde edriz. Sol ve sağa tarafı bölmekle denklem (5)'te koordinat x' ışık hızı ile, elde ederiz:

$$\frac{x'}{c} = \frac{\frac{x}{c} - \frac{v}{c}t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \text{ yada } t' = \frac{x'}{c} = \frac{t - \frac{v}{c}t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

21. Relatif mekaniği

Çünkü $t' = \frac{x'}{c}$, ve $t = \frac{x}{c}$, o zaman son:
denklem şöyle yazılır

$$t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (6)$$

Denklem (5)'ten t ye eşit, kordinat x için:

$$t = \frac{t' + \frac{v}{c^2}x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (7)$$

Eylemsizlik sistemler aynı yönde apsis eksenleri üzere hareket ederler, diğer iki kordinatlar her iki sistemin birbirine uygundur: $Y'=Y$ ve $Z'=Z$.

Lorens dönüşümlerini eylemsizlik sistemlerin düzgün doğrusal OX eksenine üzere hareketi yazmamız için:

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \begin{matrix} Y' = Y \\ Z' = Z \end{matrix} \quad t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (8)$$

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \begin{matrix} Y = Y' \\ Z = Z' \end{matrix} \quad t = \frac{t' + \frac{v}{c^2}x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (9)$$

Noktanın kordinatleri x, y, z eylemsizlik sisteminde S, zamanın t anında herhangi bir elektromıknatis olayı olur, x', y', z' kordinatleri aynı noktanın sistem S' ve diğer sisteme göre v hızı ile hareket eder ve aynı elektromıknatis olayı ikinci sistemde zamanın t' anında oluşur.

Klasik mehanikte ortam ve zaman birbirinden bağımsızdır. Lorens dönüşümlerinden ortam ve zaman her zaman dörtboyutlu bir ortamda incelenirler – zaman dünyası yada **Minkovski dünyası** bilinir.

Lorens dönüşümleri v hızıyla hareket eden iki eylemsizlik sisteminde akan olaylar için tüm fiziksel kanunları eşdeğer denklemlerle yazılmalarını sağlar.

Galiley dönüşümlerinde hız sınırı yoktur eylemsizlik sistemlerin hareket etikleri hızla, biri diğerine göre. Hızın farklı şekilleri vardır. Lorens dönüşümlerinden, ifadenin $\left(\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}\right)$ olması, sını

nırın olması mecburdur. Lorens dönüşümlerin fizik anlamı var eğer kare köküdeki içinde ifade reelse, eğer $1 - \frac{v^2}{c^2} \geq 0$. şartı yerine getirilmişse.

Buradan $v=c$ dğeri için ifade sıfıra eşittir. Demek ki, maksimum hıza ulaşabilen sistem vakumdaki ışık hızıdır.

Aynştayn kendi relativite teorisi ile yeni ve genişlenmiş düşünceler ortam ve alan için ortaya attı. Bu teoriye göre **her şey relatif** dir: eşzaman kavramın relatif özelliği var, uzunluk relatif dir, kütle relatif dir. Tüm bu büyüklükler cisimlerin ait oldukları cisimler hareketine bağlıdır. Klasik mekaniğe tüm bu büyüklükler sabittir. A. Aynştayn kendi relativite teorisi ile yeni mekanik oluşturdu, **relativite mekaniği** olarak bilinir, Galiley dönüşümleri özel Lorens olaylarıdır. Eğer $v \ll c$

ozaman $\frac{v^2}{c^2} \rightarrow 0$, Lorens dönüşümleri Galiley dönüşümlerine dönüşürler.

Demek ki Lorens dönüşümleri vakumdaki ışık hızına yakın hızla hareket eden herhangi bir olaya uygulanacak. Diğer olaylarda $v \ll c$, klasik mekanik kanunları geçerlidir.

Sorular ve ödevler

1. Birinci ve ikinci Aynştayn önermeleri nedir ve o önermelere göre kurulan teoriye ne denir?
2. Lorens dönüşümleri neden kullanılmıya alındı?
3. Lorens dönüşümleri ne zaman Galiley dönüşümlerine dönerler?
4. Relatif mekaniğinde ortam ve zaman nasıl incelenir?
5. Dört boyutlu koordinat sistemi kimdir?

21.3. OLAYLARIN EŞZAMANLI RELATİVİTESİ

Klasik mekanikte eşzaman kavramının mutlak anlamı vardır. Eğer iki olay, daha doğrusu iki mekanik olayı eşzamanda bir eylemsizlik sisteminde yapılırlar, eşzamanda diğer bir eylemsizlik sisteminde de yapılırlar.

Lorens dönüşümlerine göre zaman ve ortam relatif dirler, daha doğrusu ölçüldükleri eylemsizlik sistemlerine bağımlıdır. Çoğsayıda olağanüstü relatif nedenlerden enzor kabul edilenler eşzamanlı olanlar dırlar. Lorens dönüşümlerini, A. Aynştayn teorisinde temel gibi özel relativite teorisinde alır.

Eşzamanlı olaylar kavramı mutlak anlamı değildir, eğer iki olay eşzamanda yapılırsa bir eylemsizlik sisteminde, diğer eylemsizlik sistemlerinde eşzamanlı değildirler, sadece eğer ortamın aynı yerinde yapılmasalar. Bunun doğru olduğunu aşağıdaki kararlar şöyle verir:

Eşzamanlı olayların oramda farklı yerlerde oluşmasının sadece relatif özelliği vardır, A. Aynştayn bizi bu hususta şu denyle inandırır, Aynştayn terni gibi adlandırılan. İşte şöyledir: Sistem S de bir gözlemci M_1 tren hatı yanında durur, onun sağ ve solunda A ve B noktaları bulunur gözlemci bunların tam ortasında dır (şekil 1a). Hava şartları öyledir her gözlemci M_1 yıldırımı bekeyebilir. Bir anda nokta ve nokta B elektrik kıvılcımı oluşur daha doğrusu ışık sinyali oluşur.

Şimdi tren hatından v hızıyla tren geçtiğini farz edelim yönü da A dan B ye olsun. Sistem S' de tren vagonunda gözlemci M_2 bulunur. Zamanın bir anında elektrik kıvılcımları her iki vagondaki noktalara A' ve B' (şekil 1a) çarpmıştır, o anda hareket eden gözlemci A' ve B' noktaların ortasında bulunur, gözlemci M_1 göre sistem S de.

Olayları takip eden gözlemciler ışık sinyalleri dirler ve A ve B noktalarında daha doğrusu A' ve B' tren vagonunda. Her iki gözlemci M_1 ve M_2 aynalar sistemi ile olayları iki yerde takip et-sinler.

A. Aynştayn gözlemci M_1 her iki ışık sinyalinin aynı anda gödüğünü farz eder, çünkü ışık sinyalleri A ve B noktalarından nokta M_1 aynı zamanda gelir (şekil 1b).

Şimdi aynı olaylar tren vagonunda nasıl gö-rüldüklerini biliyoruz. Hızı v olan sistem S' bulunan gözlemci kıvılcımları eşzamanlı görür. Aynı zamanda ışık sinyali gözlemci M_1 ulaşması, gözlemci M_2 hareketli sistem S' - vagon hareket etmiştir şekil 1b. Böylece ışık sinyali B' den gözlemci M_2 ulaşır, nokta A' ışık ise gözlemci M_2 hala ulaşmamıştır.

21. Relatif mekaniği

Diğer sözlerle gözlemci M_2 , sistem S' trenle beraber A dan uzaklaşır ve B ye doğru yaklaşır, demek ki ışık sinyali A' birkaç saniye geçkalarak ulaşır, B' ışık ise daha hızlı ulaşır.

Eğer tren olumsuz bir hızla hareket ederse $v=c$ aynı yönde, gözlemci M_2 nokta A da yıldırımını görmez, çünkü hız ışık önünde aynı hızla ışıktan kaçır. Bundan dolayı gözlemci M_2 sistem S' yıldırımının B de gözüktüğünü iddia eder. Eğer $v < c$ hızlarda aynı gözlemci yıldırım B noktasında daha önce görüldüğünü iddia edecek. Buna göre ışık sinyali sistem S deki gözlemciye M_1 eşzamanlıdır, sistem S' deki gözlemciye M_2 eşzamanlı değildir. Böyle da eşzamanlı olayların relativitesi oluşur.

Şimdi eşzamanlı problemin Lorens dönüşümleri kullanarak. Sistem S deki gözlemci M_1 için her iki yıldırım zaman anında t_0 oluşur, farklı yerlerde A ve B onların kordinatleri x_1 ve x_2 dir. Hangi zaman anında bu olaylar sistem S' deki gözlemci M_2 için oluşacak?

Çünkü onun hareket hızı v dir sistem S göre ve yönü x eksenine ile çakışır, onun için yıldırım A noktasında x_1 kordinatı ile sistem S de ölçülmüş-tür ve zaman anında oluşacağı:

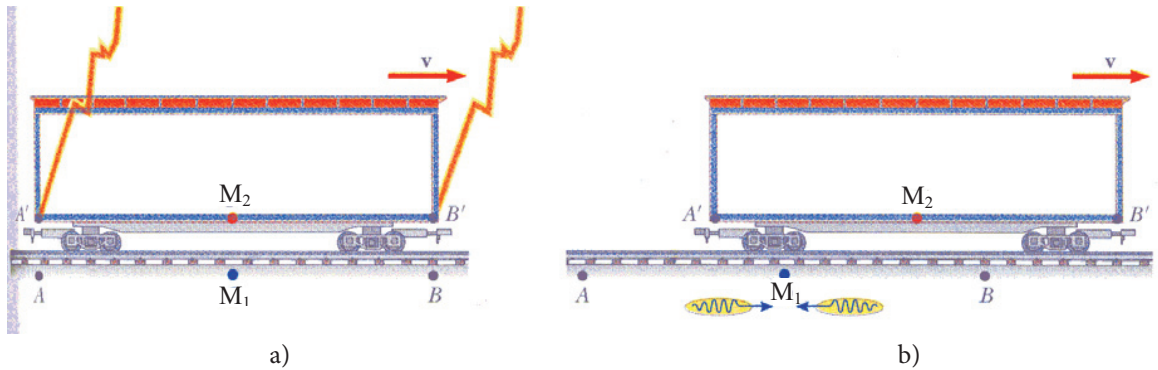
$$t'_1 = \frac{t_1 - \frac{v}{c^2} x_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (1)$$

Sistem S' deki gözlemci M_2 , B noktasında x_2 kordinatı olan yıldırımın ölçülmesi sistem S de oluşacak:

$$t'_2 = \frac{t_2 - \frac{v}{c^2} x_2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (2)$$

Görüldüğü gibi t'_1 zamanı t'_2 zamanından farklıdır çünkü x farklıdır x_2 den. Demek ki olaylar gözlemci M_1 için eşzamanlı ($t_1=t_2=t_0$) olanlar, ikinci gözlemci M_2 için eşzamanlı değildirler, daha doğrusu denklem (1) ve (2) den şu şekilde $t'_1 \neq t'_2$ elde edilir. Demek ki eğer $t_1=t_2=t_0$ olduğuna göre $x_1 \neq x_2$ olması $t'_1 \neq t'_2$ elde edilir.

Bu denklemden her iki olay eşzamanlı her iki gözlemci için olur eğer ki ortamın aynı yerinde gerçekleşirse. O zaman $x_1 = x_2$ ve denklemden:



Şekil 1. Aynştayn treni (düşünülen deney)

$$t_2' - t_1' = \frac{(x_1 - x_2) \frac{v}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (3)$$

burada $t_2' - t_1' = 0$ ve $t_2' = -t_1'$ demek ki sistem S' in gözlemcisine M_2 göre de aynı anda (t_1') oluşurlar.

Hergünkü deneyimlere göre olaylar zamanla sırankarlar biri diğzerinin ardından belirli şekilde. Buna göre, *geçmiş, şimdiki zaman ve gelecek var ve her zaman bir olayın bir olaydan önce yada sonra yapıldığı belirlenir. Fakat özel relativite teorisi ne göre olaylar sıralanarak belli sıralamaya göre bir gözetleyici için, diğzer bir gözetleyici için farklı bir sıralaması olabilir kim ki birincisine göre hareket eder.*

Eşzamanlı ve zamanlı sıralama biri diğzerine göre hareket eden gözetleyiciler için farklı olabilirler ve pratikte tüm temsillerin olumsuz oldukları anlamına gelmez. Birinci, aynı yerde olan olaylar her gözlemci için eşzamanlı olabilir yada aynı zaman sıralaması var. İkinci, hiçbir gözlemci için zaman ters yönde akmaz. Buna göre nedenli bağılı olaylar dizisi, verilen referens sisteminde oluşurlar ardışık sıralanmış anlarda t_1, t_2, t_3, \dots aynı sıralamada gözlenirler tüm gözlemciler tarafından. Fakat, zaman aralıkları $t_2 - t_1, t_3 - t_2, t_4 - t_3, \dots$ farklı olabilirler bireysel gözlemcilerden. Hiçbir gözlemci olay yerinden uzak olan olay bilgisin olay yerine yakın olan gözlemciden önce alamaz. Bu böyledir çünkü hiçbir sinyal ışık hızından daha büyük bir hızla gönderilemez, ışık hızı ise sonsuz değildir.

Buna göre bilgi taşıyan sinyaller herhangi bir olay için bilgi taşımaları için zaman gerekir.

21.3.1. Zaman aralıklarının relativitesi

Klasik fizikte, Glailey dönüşümlerini uygularken zaman aralığın süresi tüm eylemsizlik sistemlerde her gözlemci için aynı elde edilir. Verilen zaman aralığın süresi t_1 zaman anı belirlenir ondan t_2 zaman anı başlıyor ve onunla t_1 bitiyor. Zaman aralığı Δt ile işaret edilir ve $\Delta t = t_2 - t_1$.

Özel relativite teorisine göre iki eylemsizlik sistemin S ve S' gözlemcileri, zaman aralığı sorusunda paylaşmazlar, daha doğrusu olaylar arası geçen zaman. Bununla ilgili soruyoruz: Kim onlardan haklıdır? Reel geçilen zaman ne kadar dır? Cevabı: her ikisi haklıdır, herbiri referent sistemine göre, çünkü reel geçilen zaman yoktur. Zaman aralığının relativitesi böylece oluşur, daha doğrusu zaman.

Eylemsizlik sistemleri S ve S' gözlemcileri kendi ölçtükleri zaman aralıkları iki olay arasında akan sistem S' de aynı yerde oluşurlar. O yerdeki kordinat x' . Olaylar olabilir, örneğin, iki ardışık fırlatılan röketter sistem S' de kim ki sistem S göre hareket eder v hızı ile x ekseninde.

Sistem S' saatine göre birinci rökett t_1' anında, ikincisi ise t_2' anında. Sistem S' gözlemcisi için iki fırlatışı arasında zaman aralığı $\Delta t = t_2 - t_1$. Sistem S gözlemcisi için bu olaylar farklı yerlerde oluşur, çünkü sistem S' hareket eder sistem S ye göre röketterin iki fırlatışı arasındaki zamana.

21. Relatif mekaniği

Onun için roketlerin fırlatışı t_1 ve t_2 zamanında yapılmıştır, ve farklıdır t_1' ve t_2' daha doğrusu zaman aralığında $\Delta t = t_2 - t_1$.

Lorens dönüşümlerine göre elde edilir:

$$t_1 = \frac{t_1' + \frac{v}{c^2} x_1'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{ve} \quad t_2 = \frac{t_2' + \frac{v}{c^2} x_2'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Sistem S' deki olaylar ortamın aynı yerinde olmuştur, $x_2 = x_1 = x$ ve $x_2 - x_1 = 0$ elde edilir. Bundan dolayı, eğer ikinci denklemden birinci denklem çıkarılır:

$$t_2 - t_1 = \frac{t_2' - t_1'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{ve} \quad \Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (4)$$

Denklem (4) zaman aralığı her iki gözlemci için aynı değildir. Sistem S de ki gözlemci zaman aralığın daha uzun olduğunu bulur.

Zaman aralığı $\Delta t'$ her iki ardışık olayda aynı yerde oluşanlar sistem S' de ve v hızı ile hareket eder sistem S ye göre, en kısadır ve *öz zaman aralığı* yada *öz zaman* adlandırılır.

Denklem (4) görülür $\Delta t' < \Delta t$, daha doğrusu öz zaman aralığı sistem S' daha küçüktür sistem S relatif sükunete bulunan zaman aralığından Δt . Buna göre, tüm sistemlerin gözlemcileri sistem S' göre hareket eder, ölçerek daha büyük zaman aralıkları olur her aynı iki olay arasında oluşan.

İki olay nasıl alınabilir, örneğin, iki ardışık bir satın vuruşları bir referans sisteme bağlı olan ve belli hızla hareket eden diğer eylemsizlik sistemlere göre kimler için şartlı sükunette oldukları kabul edilir. Elde edilen denklem (4) gösterir

ki gözlemci herhangi bir eylemsizlik sisteminden, hareket eden saate göre saatin ritmi yavaşlamış, daha doğrusu daha büyük zaman aralığı iki vuruşu arasında ona benzeri ile kıyaslanarak.

Bundan dolayı açıklanan etki **relatif yavaşlama, zamanın relatif genişlemesi**.

Zamanın relatif genişlemesi etkisi saatin relatif hareket eden herhangi bir gözlemciye göre daha yavaş çalışırlar.

Bu etki acil nedeni dir tüm eylemsizlik sistemlerde ışık sabit hızına. Çünkü bu sistemler doğrusaldır, sistem S' deki gözetleyiciye göre sistem S deki saatlerde yavaşlayan ritim vardır.

Buna göre zaman aralığın iki olay arasında mutlak karakteri yoktur, fakat ölçülen referans sistemine göre bağlıdır. Sistem S' hızı v ile hareket eder vakumdaki ışık hızına c yakın, zaman yavaşlayarak akar, daha doğrusu zaman aralığı iki olay arasında daha uzundur sistem S de ölçülen aynı iki olay arasındaki zaman aralığı. Eğer bu böyle ise, ozaman ışık hızına yaklaşık hareket eden sistemler tüm süreçler zaman bağımlı olanlar yavaşlarlar. Tipik bir zaman bağımlı doğal süreci doğmak dır, büyümek, gelişmek ve ihtiyarlaması insanın.

Örnek 1. Yıldız Dünya'dan 100 ışık yılı mesafede bulunur. Uzay gemisi $v=0,6 c$; $v=0,8 c$; $v=0,99 c$. Belirlensin: a) bir astronotun yıldıza varması zaman, daha doğrusu zaman aralığı Δt ; b) insan hayatında bulunurken yıldıza ulaşabilir mi.

Çözüm: 1 ışık yılı = $3,0 \cdot 10^8$ m/s $3,15 \cdot 10^8$ s = $9,5 \cdot 10^{15}$ m

100 ışık yılı = $9,5 \cdot 10^{17}$ m

a) Nefton mekaniğine göre astronot l mesafesini yıldıza kadar Δt zamanda v hızıyla geçer.

21. Relatif mekaniği

$$1. \quad \Delta t = \frac{l}{v} = \frac{l}{0,6c} = \frac{9,5 \cdot 10^{17} \text{ m}}{0,6c} = 5,28 \cdot 10^9 \text{ s}$$

$$\Delta t = 168 \text{ yıl.}$$

Denklem (4) öz zaman Δt_0 astronotun yolculuğu yıldız kadar:

$$\Delta t_0 = \Delta t \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 168 \sqrt{1 - \frac{0,36c^2}{c^2}} = 134 \text{ yıl.}$$

$$2. \quad \Delta t = \frac{l}{0,8c} = \frac{9,5 \cdot 10^{17} \text{ m}}{0,8c} = 3,96 \cdot 10^9 \text{ s,}$$

$$\Delta t = 126 \text{ yıl.}$$

$$\Delta t_0 = \Delta t \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 126 \sqrt{1 - \frac{0,64c^2}{c^2}} = 75,6 \text{ yıl.}$$

$$3. \quad \Delta t = \frac{l}{v} = \frac{9,5 \cdot 10^{17} \text{ m}}{0,99c} = 3,17 \cdot 10^9 \text{ s ; } \Delta t = 100,6 \text{ yıl.}$$

$$\Delta t_0 = \Delta t \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 100,6 \sqrt{1 - \frac{0,98c^2}{c^2}} = 4,5 \text{ yıl.}$$

b) Verilen örnekte enaz 100 yıl uzay gemisi ile yolculuk yapılması gerekir ve hızı yaklaşık $v \approx c$. Buna göre insanın yıldız ulaşması mümkün değildir.

21.3.2. Mesafeler relativitesi (bağıntılık)

Lorens dönüşümlerinden bir relativite etkisi daha mevcuttur. Bu etki farklı sistemlerden gözlemcilerin farklı sonuçlara verilen cismin uzunluğunu ölçmeleri esnasında varmaları onun relatif hareketi yönünde.

Verilen çubuğun uzunluğunu ölçmek için onun uçlarındaki noktaların kordinatlerini aynı zaman anında belirtmemiz gerekir. Eğer çubuk hareketinde bulunmazsa, onun uçlarındaki kordinatler x_1 ve x_2 sistem S zamana bağlı değildir. Sistem S nin hareket etmeyen gözlemcisi için çubuk uzunluğu:

$$L_0 = x_2 - x_1 \quad (5)$$

Uzunluğun bu şekilde ölçülmesi çubuğun *sükünette uzunluğunu* oluşturur. Çubuğun öz uzunluğu ve L_0 ile işaret edilir.

Şimdi çubuk x eksenini yönünde sükünette bulunur sistem S' kim ki bu sistem S ye göre v hızı ile hareket eder. Ozaman çubuk uçlarının kordinatleri sistem S' de x_1' ve x_2' dir. Bununla ilgili soru sorulur: Nasıl hareket etmeyen gözlemci çubuğun uzunluğunu ölçebilir v hızı ile hareket eden? Bunu yapmak için hareket etmeyen gözlemci bir anda, eşzamanlı kordinatlerin (çubuğun x_1' ve x_2') durumalarını fark eder, sonradan onlar arası mesafeyi L ölçer, harekete bulunan çubuğun uzunluğu diğer sükünete bulunan bir sisteme göre. Ölçülen çubuk uzunluk harekette olan:

$$L = x_2' - x_1' \quad (6)$$

Eğer denklem (1) x_1 ve x_2 yerine Lorens dönüşümlerinden meydana gelen değerleri koyarsak (9, konu 21.2) elde ederiz:

$$L_0 = x_2 - x_1 = \frac{x_2' + vt_2'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - \frac{x_1' + vt_1'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}};$$

$$L_0 = \frac{x_2' - x_1' + v(t_2' - t_1')}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (7)$$

Çünkü çubuğun kenarları x_1' ve x_2' aynı anda belirlenmiştiler, ozaman $t_2' = t_1'$.

Bundan dolayı denklem (7)'den elde ederiz:

$$L_0 = x_2 - x_1 = \frac{x_2' - x_1'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (8)$$

yada

$$L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (9)$$

Denklem (9) çubuğun uzunluğu en büyüktür ($L=L_0$) eğer referens sistem S de ölçülürse, hareket etmeyen göre. Her diğer eylemsizlik sistemde S', referens sistem S ye göre v hızıyla hareket eder, uzunluğu L çubuğun daha kısa dır L_0 dan

faktör $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ kadar.

Diğer sözlerle *hız nekadar büyükse çubuğun herhangi bir sisteme göre, onun uzunluğu okadar küçüktür o sistemde ölçülen.*

Böyle çubuk uzunluğun kısılması hareket yönünde uzunluğun *kasılması* denir.

Uzunluğun kasılması, ve zamanın genişlemesi, hergünkü hayatta raslanmaz çünkü faktör $\sqrt{1 - v^2 / c^2}$ denklem (9) önemli farklı olacak 1,00 ne zamanv çok büyüktür. Diğer olaylarda $v \ll c$ faktör $\sqrt{1 - v^2 / c^2} \approx 1$, bunula $L=L_0$.

Eğer çubuk 90° döndüyse daha doğrusu x eksen normal gelirse ve hareket yönüne, daha doğrusu y ve z eksenleri yönünde, ozaman onun uzunluğu değişmez L_0 da. Demek ki her iki sistemde aynı uzunluk ölçülece, çünkü $Y'=Y$ ve $Z'=Z$.

Buna göre, hareket eden cisim boyutların ölçülmesi esasında kasılma olduğu gösterilir hareket yönünde eylemsizlik sistemin. Eğer söz edilirse verilen cismin hacmi ölçülürse hız v ile hareket eden referens sistem S göre, ozman değeri:

$$V = V_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}, \quad (10)$$

denklemde V_0 cismin öz hacmi dır, sistemde ölçülen süküneteki sisteme göre.

Bundan dolayı karar verebiliriz: Sınırlı ortam kapsadığı her cismi, sınırsız ortam kısmı olarak relatif dir ve cismin hareket hızına v bağlıdır.

Aynen, o ortamın şekli relatif tir ve hıza bağlıdır.

ÖRNEK 1. Astronot uydu gemisi ile yolculuk yapar Sirius'a kadar, Dünyadan 8 ışık yılı kadar uzakta bulunur. Astronot zamanı ölçer ve Sirius'a kadar 6 yıl sürer. Uydu gemisi sabit hızla $v=0,8 c$ hareket eder. 8 ışık yılı mesafesi 6 yılda geçilmesi mümkün müdür astronot tarafından ölçülen?

Çözüm: 8 ışık yılı Dünyadan Sirius'a hareket etmedikleri mesafe dir. Gözlemciye Dünya ve Sirius mesafesi $L_0 = v \cdot \Delta t$ dir (Δt zaman mesafenin geçilmesi için $L_0 = 8$ ışık yılı).

Astronot Sirius'u ona yaklaşarak $0,8 c$ hızıyla görür, aynı zamanda mesafenin azaldığını fark eder. Astronot daha az zaman ölçer – öz zaman $\Delta t'$, bununla mesafe daha az $L=v \Delta t$.

Denklem (4, konu 21.3), öz zaman – astronotun uydu gemisinde:

$$\Delta t' = \Delta t \sqrt{1 - v^2 / c^2};$$

$$L = v \Delta t' = v \Delta t \sqrt{1 - v^2 / c^2} = v \frac{L_0}{v} \sqrt{1 - v^2 / c^2};$$

$$L = L_0 \sqrt{1 - v^2 / c^2} = 8 \text{Iy} \sqrt{1 - (0,8)^2} = 5 \text{Iy}$$

Böylece yolculuk zamanı astronotun saati ile ölçülen

$$t = \frac{L}{v} = \frac{5 \text{Iy}}{0,8 c} = \frac{5 \cdot 9,5 \cdot 10^{15} \text{ m}}{0,8 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 6$$

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Eşzamanlı kavramı olaylarda özel relativite teorisinde mutlak anlamı var mıdır?

2. Gözlemciler için iki olay eşzamanlı ne zaman dirlar?

3. Öz zaman ve reltif zaman nedir?

4. Relativite teorisi bakış açısına göre kosmonotların yaşama zamanı kısalmır yoksa uzunlar?

5. Hangi sistemde zaman yavaşlar: vakumdaki ışık hızına yaklaşık v hızı ile hareket eden sistem yoksa şartli hareket etmeyen sistemde mi?

6. Dünya'dan belli uzaklıkta astronotlar uydu gemisi ile $v=0,6 c$ hareket ederler. Kontrol merkezinden gelen işaretten sonra bir saat zaman süresi istirahat ederler. Onların istirahat zamanı Dünya'dan ölçülürse nekadar sürer?

(Cevap: $\Delta t'_0=1$ h; Δt – zaman aralığı Dünya refrens sisteminden ölçülen $\Delta t=1,25 \Delta t'$. Dünya'dan ölçülen istirahat zamanı 1,25 h dır).

7. Hangi faktör için çubuğun uzunluğu daha kısadır, harekete ve sükunete referens sistemden?

8. Her cisimi kapsayan ortam nasıl sınırlıdır ve kime bağlıdır?

9. Resmin kare gibi şekli var $d_0=5$ km. Nasıl şekilde ve nekadar büyüklüğü olacak uydu gemisinde bir astronot için kim ki resime göre $2 \cdot 10^8$ m/s hızla ve resmin tabanı ile paralel hareket eder?

(Cevap: Dikdörtgen tabanı 3,73 km ve yüksekliği 5 km)

8. Uzunluğun kasılması ve zamanın genişlemesi denklemleri nasıl uygulanmaları gerekir evrende c 'nin sınır hızı olduğu gösterilsin.

<http://www.physicsweb.org>

<http://www.upscale.utoronto.ca/GeneralInterest/Harrison/SpecRel/Flash/Simultaneity.html>

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu/.../ltrans.html>

<http://musr.physics.ubs.ca/~jess/hr/skept.html>

21.4. HIZLARIN TOPLANMASI İÇİN AYNŞTAYN KANUNU

Galiley kanunu hızların toplanması için klasik mekanikte zaman ve ortamın ölçüldüğü eylemsizlik sistemlerinde mutlak ve bağımsız olduklarına dayanır. Böylece Galiley kanunu hızların toplanması için optik olaylara uygulanması deneysel gerçeklere ters sonuçlar verir. A. Aynştayn Lorens dönüşümlerinden başlayarak hızların toplanması için farklı bir denklem verdi, relativ prensipi ile ve deneysel gerçeklerle eniyi şekilde paylaşırlar. Buna **hızların toplanması Aynştayn denklemi** denir.

İki eylemsizlik sistemi S ve S' biri diğere göre v hızı ile hareket eder.

Önceden olduğu gibi eylemsizlik sistemleri için koordinatlar seçeriz S' sistemi için X'Y'Z' ve S sistemi için XYZ, böylece X' ve X eksenleri çakışır birde eylemsizlik sistemlerin relativ hareket yönleri ile çakışır. Y ve Y' birde Z ve Z' biri biriyle paralel dirler.

Sistem S' eksen X' uzunluğunda nokta hızı u' ile hareket eder sistem S' göre. Zaman anlarında t'_1 ve t'_2 sistem S' de nokta ölçülmüştür ve koordinatları x'_1 ve x'_2 ölçülme esnasında dır. Noktanın hızı sistem S' şöyle dir:

$$u' = \frac{\Delta x'}{\Delta t'} = \frac{x'_2 - x'_1}{t'_2 - t'_1} \quad (1)$$

Zaman anlarında t_1 ve t_2 sistem S de ölçülen ki sistem S' göre harekette bulunmaz. Noktanın hızı u sistem S de şöyledir:

$$u = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

Lorens dönüşümlerini kullanarak (denklem (8) ve (9) kullanılarak, konun 21.2) v , u ve u' arasındaki bağılık bulunur.

21. Relatif mekaniği

Denklemler alınarak koordinatlar t_1 ve t_2 bir de zaman anları t_1 ve t_2 , Lorens dönüşümlerine uygun denklemler (2) elde edilir:

$$\frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{x_2' - x_1' + v(t_2' - t_1')}{t_2' - t_1' + \frac{v}{c^2}(x_2' - x_1')} \quad (3)$$

Sağ tarafındaki pay ve paydayı bölerek denklemler (3) şununla ($t_2' - t_1'$), denklemler (1) ve (2) uygun olarak, elde edilir:

$$u = \frac{u' + v}{1 + \frac{vu'}{c^2}} \quad (4)$$

Denklemler (4) ile **hızların toplanması için Aynştayn denklemi** verilmiştir.

Eğer cismin hızı \vec{u}' ters yönde hız v bulunursa sistem S' de, o zaman bu denklemde eksi işareti ile alınır.

Ne zaman u ve v verili bulunurlar, hız u' hesaplanır şu denklemle:

$$u' = \frac{u - v}{1 - \frac{vu}{c^2}} \quad (5)$$

Aynı şekilde elde edilir denklemler (4) nasıl elde edildiye u hızını hesaplamak için.

Denklemler (4) gördüğümüz gibi bileşke hızı basit toplama işlemi ile elde edilmez, fakat faktör $\left(1 + \frac{vu'}{c^2}\right)$ ile düzeltilir ve payda gibi meydana çıkar.

Bu kanunun bazı sonuçlarını hızların toplanması ile ilgili gösterelim. Uydu gemisinde bir cismin hızı $u' = c/2$, ve öyle aynı $v = c/2$. O zaman cisim dünyadan bakıldığında şöyle hızla hareket eder:

$$u = \frac{u' + v}{1 + \frac{vu'}{c^2}} = \frac{\frac{c}{2} + \frac{c}{2}}{1 + \frac{1}{4}} = \frac{4}{5}c \quad (6)$$

Bu ilginç bir olaydır çünkü relativite teorisine göre **yarı kısım** ve diğer **yarı kısım** bir **bütün kısım** vermezler fakat **4/5** kadar verir.

Eğer v , u' ve u küçükseler ışık hızına göre, o zaman denklemler (4) hızların toplanması için relativite kanununa göre uygun hızların toplanması için klasik kanuna dönüşür.

Düşük hızlarla hareketinde klasik mekanikte büyük tamamlılıkla açıklanır. Işık hızına yaklaşılan hızlara **relativite hızları** denir. Relativite hızları ile hareketler relativite mekaniğinde okunur.

Sınır olayını inceleyelim. Dünyadan gözlemci sistem S' de hareket eden ışık kaynağının hızını ölçmektedir. Sistem S' göre kaynak hareket etmez, ışık sinyalinin hızı c dir, demek ki $u' = c$. O zaman ışık sinyali u dünyadan ölçülen:

$$u = \frac{c + v}{1 + \frac{cv}{c^2}} = c \frac{c + v}{c + v} = c \quad (7)$$

Demek ki sistem S deki gözlemci için ışık hızı sistem S' deki gözlemci için aynıdır onların relativ hızlarına v bağlı değildir, bu ise özel relativite teorisinin ikinci önermesine uygundur tüm eylemsizlik sistemlerinde. Diğer sözlerle hızların toplanması için Aynştayn kanunu denklemler (4) hızların değişmemesi prensibiyle uygundur.

Burada bildirebiliriz ki hız u hız c ile eşittir, eğer her iki sistemin relativ hareketleri ışık hızına c yaklaşık bulunursa.

21. Relatif mekaniği

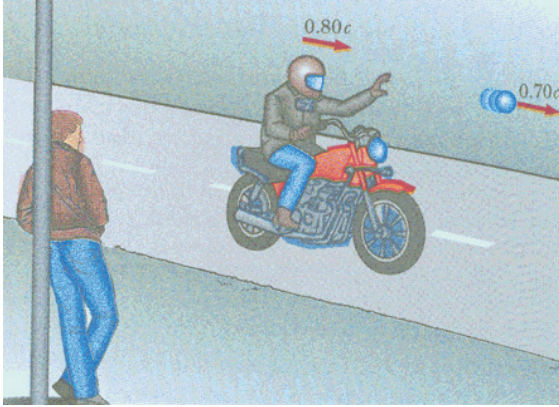
Bununla kanıtların *relativite teorisine göre herhangi hızların toplanmasında elde edilen sonuç vakumdaki ışık hızından c büyük olamaz.*

Bildirilmesi gerekir vakumdaki ışık hızı sı-
nır hızını oluşturur, bundan üstün hız aşamaz.
Işık hızı herhangi diğer bir ortamda c/n ye eşittir
(n -ortamın mutlak kırılma sabitesi) ve $n > 1$, $c_{sr} < c$.

ÖRNEK 1. Motorcu $v=0,80 c$ hızıyla hareket eder,
sükünette bulunan gözlemci yanından (şekil 1).

a) motorcu kendi hareket yönünde topu fırlatır x ekseninde $u'_x=0,70 c$ hız ile. Topun hızı hareket etmeyen gözlemciye göre nekadardır?

b) Motorcu ışık sinyalinin açar öyle ki ışık sinyali ondan c hızı ile uzaklaşır aynı yönde. Işık hızı hareket etmeyen gözlemci tarafından ölçülürse nekadardır?



Şekil 1.

Çözüm: a) Bu olayda $v=0,80 c$ motorcunun hızıdır hareket etmeyen gözlemciye göre. $u'_x=0,70 c$ topun hızı hareket eden referens sistemde. u_x topun hızı hareket etmeyen gözlemciye göre ve denklem (4) uygun:

$$u_x = \frac{u'_x + v}{1 + \frac{vu'_x}{c^2}} = \frac{0,70c + 0,80c}{1 + \frac{(0,70c) \cdot (0,80c)}{c^2}}$$

$$u_x = 0,96c$$

b) yukarıdaki denklemde $u'_x=c$ ışık hızı hareket eden referens sisteminde. Işık hızı hareket etmeyen gözlemciye göre denklem (4) göre:

$$u_x = \frac{u'_x + v}{1 + \frac{vu'_x}{c^2}} = \frac{c + v}{1 + (v \cdot c)/c^2} = \frac{c(c + v)}{v + c} = c$$

Sorular, ödevler, etkinlikler

2. Süpersonik uçağı 1000 m/s hızla hareket eder x eksenini boyunda Dünya'daki gözlemciye göre. Diğer uçak 500 m/s hızla diğer uçağı göre ve aynı yönde uçar. İkinci uçak Dünya'daki gözlemciye göre nekadardır hızla uçar? Öyle ki:

a) klasik mekaniğe göre; b) relativite mekaniğine göre.

(Cevap: a) $u_x = u'_x + v = 1500$ m/s;

b) $u_x = \frac{u'_x + v}{1 + \frac{vu'_x}{c^2}} = 1500$ m/s.

Klasik ve relativite sonucu aynıdır çünkü faktör $vu'_x/c^2 = 5,5 \cdot 10^{-12}$ çok küçüktür.

2. Işık x eksenini boyutunda hareket eder $u=c$ hızıyla. Işık hızı hareket eden referans sisteminde S' nekadardır? (Cevap: $u'=c$)

3. Motorlu tekne korkunç ırmağın yönünde yüzer. Suyun akış hızı $v=0,9 c$, motorlu tekenin hızı $u'=0,2 c$ suya göre dir.

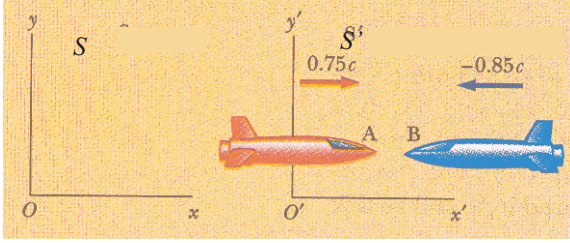
Motorlu tekenin hızı sahile göre nekadardır? (Cevap: $u=0,93 c$).

21. Relatif mekaniği

4. İki uydu gemisi A ve B ters yönlerde hareket ederler (şekil 3). Gemi A'nın hızı dünyadaki gözlemciye göre $0,75c$ dir, gemi B'nin hızı $0,85c$ dir.

Gemi B'nin hızı gemi A'ya göre bulunsun, öyle ki: a) relativite mekaniğine göre; b) klasik mekaniğe göre.

Hareket eden sistem S' uydu gemisi A ile bağlıdır.



Şekil 3.

Cevap: a) $u_x' = \frac{u_x - v}{1 - vu_x/c^2} = -0,980c$;

b) $u_x' = u_x - v = -0,850c - 0,750c = -1,60c$.

Modül olarak uçağın hızı B ($|u_x'| = 1,60c$) ışığın hızından büyüktür. Buna göre, Galiley dönüşümleri uygulanamaz relativite olaylarına.

21.5. ÖZEL RELATİVİTE (GÖRECELİK) TEORİSİNDE KÜTLE

Özel relativite teorisinin birinci önermesine göre kanunların tüm fiziksel olaylar için aynı şekilleri her eylemsizlik sisteminde vardır. Buna göre Lorens dönüşümlerine göre fizik kanunlarının denklemleri için değişmezlik prensipi için şartlar vardır. Bu her klasik dinamik kanunları için geçerli midir? O esnada belirlenir eğer Lorens dönüşümleri Nefton kanunlarına uygulanırsa klasik dinamikten, onların şekli değişir.

Klasik dinamikte temel kanunlardan biri İkinci Nefton kanunu dur, kim ki şöyle verilir:

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (1)$$

İsak Nefton için m mutlak değişmeyen büyüklük tür. Kütle her cismin karakteristik özelliğidir ve eylemsizlik ölçüsüdür. Eğer sabit kütleli m cisme kuvvet \vec{F} etki eder, sabit hızlama elde edilir. Dinamiğin temel kanununa göre hızların sınırlanması yoktur hızlar hareket edebilecekleri kadar. Eğer kuvvet daha büyükse, hız da büyür.

Böylece yeterince büyük bir kuvvet etkisinde cismin hızı büyük olabilir ışık hızını da aşabilir. Bu, özel relativite teorisinin ikinci önermesine terstir, ışık hızı sabittir onun vakumdaki sınırı değerine. Bundan dolayı İkinci Nefton kanunu, denklemler (1) verilen, sadece klasik mekanikte kullanılır faka relativite mekaniğinde kullanılmaz daha doğrusu büyük hızlar mekaniğinde.

A. Aynştayn karar verir öyle ki ikinci Nefton kanununun değişmez olması için cisim kütlesi değişmezlik göstermemesi gerekir daha doğrusu harekette bulunan kütle hareket etmeyen kütle ile eşit değildir. Cismin kütlesi onların hızına bağlıdır sadece o zaman onlar büyük hızla hareket ettikleri zaman. Bu bağlılık A. Aynştayna göre şöyle verilir:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (2)$$

Denklemler (2), kütle için Aynştayn kanunu matematiksel şeklini verir. Burada kütle değişmezliği m_0 cismin harekette bulunmadığı kütlesi veya öz kütlesi, bu hareket etmeyen referans sisteminde bir cismin kütlesi dir. Değişmezlik kütlesi m aynı cismin onun hızına v bağlıdır verilen referans sistemine göre **relativite kütlesi** yada **hareketteki kütle**.

21. Relatif mekaniği

Kütle için Aynştayn kanunu elektrikleşmiş ve elektrikleşmemiş cisimlerin için aynı şekilde geçerlidir. Eğer denklem (2) araştırılırsa, ozaman şu bilgilere ulaşılır:

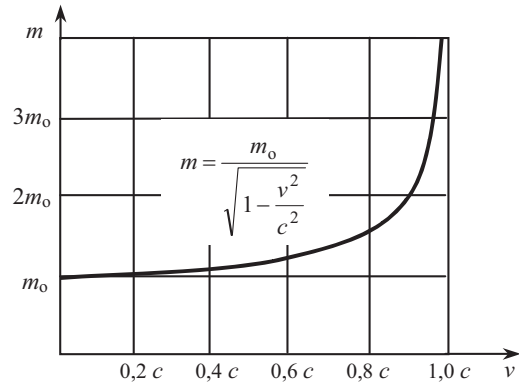
1. Her olayda nezman ki $v \ll c$, cismin hareket hızı ışık hızından çok küçükse, cismin kütlesi sabit alınır, daha doğrusu $m=m_0$. Bu durumda cismin kütlesi en küçük tür. Bu böyle klasik mekanikte dir.

2. Cismin hızı harekette bulunurken büyük ve kademe olarak ışık hızına c yaklaşır, kütle m , denklem (2)'ye uygun, daha çok büyür. Bundan dolayı, tekrar ve hızın sürekli büyümesi büyük kuvvet icab eder. Buna göre eğer cisme sabit kuvvet etki ederse, ozman hızlaması zamanla azalır, sabit kalmaz, klasik mekanikte olduğu gibi, denklem (1). Kütlenin relativite etkisi açıktır cismin hızı ışık hızına yaklaştığı zaman. Örneğin, eğer $v=0,86 c$ denklem (2) elde edilir $m=2m_0$. Ozaman cismin iki katı kadar eylemsizliği var nitekim düşük hızla hareket ettiği zaman.

3. Farz edelim cisim ışık hızına yakınlaştı, daha doğrusu $v=c$, denklemin (2)'den elde edilir $m \rightarrow \infty$. Bu durumda cisim sonsuz bir kütleye sahiptir. Bu olumsuzdur. Başlangıçta cisim ışık hızı ile hareket etmesi yapılmaz.

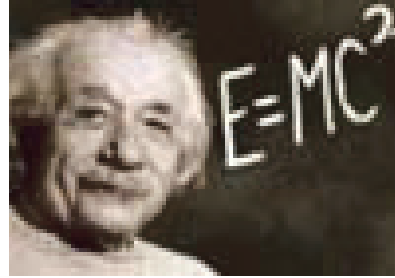
Şekil 1, grafiksel relativite kütlesi m , denklem (2) den v/c bağımlı gösterilmiştir.

Aynştayn kanunu relativite kütlesi için deneysel olarak denenebilir temel parçacıkların hızlanması. Böylece parçacıklar ışık hızına yakın hızla hareket edebilirler, onların kütlesi denklem (2)'ye göre hesaplanırsa deneysel etkilerle tamamen uygundur.



Şekil 1.

21.5.1. Kütle ve enerji bağı için Aynştayn denklemi



Relativite mekaniği klasik mekaniğin genişletilmesi ve doğrulanmasını oluşturur, temelinde yeni gerçekler kapsar. Böylece cisim kütlesinin büyümesi hızın büyümesi ile gerçeklerden biri klasik mekanikte olmayan dır. Bilinir öyle ki *klasik mekanikte kütle ve enerji iki bağımsız büyüklük gibi bakılır. A. Aynştayn relativite mekaniğinde bu iki büyüklük birbirinden bağımsız duramadıklarını tazzdıklar.*

Cismin hareketi esnasında onun hızının büyümesi için ona dış kuvvetlerin etkisi gerekir. Cismin hızı büyüdüğü zaman ozaman onun kütlesi de büyür.

21. Relatif mekaniği

Bu esnada dış kuvvetlerin yaptıkları işi bulmak için, denklem (2)'den başlayalım çünkü bununla relativite kütlesi için Aynştayn kanunu verilmiştir. Onu şöyle yazabiliriz:

$$m = m_0 \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-1/2} \quad (3)$$

Eğer denklem (1) binom denklemi ile verilirse, elde ederiz:

$$m = m_0 \left(1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} \right) \quad (4)$$

denklemi matematiksel düzenlersek

$$mc^2 = m_0 c^2 + \frac{m_0 v^2}{2} \quad (5)$$

İfade $\frac{m_0 v^2}{2}$ cismin kinetik enerjisi ışık hızından daha küçük bir hızla v hareket ettiği esnasında dır. Eğer cismin hızı ışık hızına yaklaşık olduğu zaman $v \ll c$, ozaman m_0 değişmesi m ile gerekir, cismin kinetik enerjisi $E = \frac{mv^2}{2}$ dir.

Sağ tarafının birinci üyesi denklem (5)'te E_0 olarak işaretlenir ($E = m_0 c^2$). Kütle enerjisinin belli şeklidir ve Aynştayn üyesini $m_0 c^2$ **cismin harekette bulunmadığı enerjisi** adlandırdı. Buna göre hareket etmeyen her cismin gizli enerjisi yada harekette bulunmadığı enerjisi, her zaman cisme bağlıdır taa onun yok olmasına kadar. Eğer cisim yada parçacık herhangi bir nedenden var olmaları durdurulursa, ozaman aynı anda enerjisini E_0 serbesletirler. Bu enerji ve kütle, diğer cisimlere ve parçacıklara geçerler, ve iz bırakmadan yok olmazlar.

Denklem (5)'i bu şekilde yazabiliriz:

$$mc^2 = E_0 + E_k \quad (6)$$

Harekete bulunmayan enerji E_0 ve kinetik enerjisi E_k nin toplamı *cismin toplam enerjisini* temsil eder.

İfadeye mc^2 göre cismin toplam enerjisi ve onu E ile işaret ederiz buna **relativite enerjisi** denir. Demek ki büyüklük:

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (7)$$

Bir cismin relativite enerjisi onun harekette bulunmayan enerjisi ve onun kinetik enerjilerin toplamına eşittir.

$$E = mc^2 = E_0 + E_k \quad (8)$$

Klasik mekaniğin mekanik enerji korunum kanunu relativite teorisi ile genişletilir. Relativite enerji korunum kanunu şöyledir: **Kapalı sistemin relativite enerji kanunu zamanla değişmez.**

Öyle ki $E = mc^2$ denklemi **kütle ve enerjinin eşdeğeri** olarak Aynştayn denklemi denir, **daha doğrusu kütle ve enerji doğruorantılığı**. Bununla kütle ve enerjinin bağlantısı verilmiştir.

Denklem (8) cismin toplam enerjisi ve harekette bulunmadığı enerjinin farkı onun kinetik enerjisine eşittir:

$$E_k = E - E_0 = c^2 (m - m_0) = c^2 \Delta m \quad (9)$$

Demek ki cismin kinetik enerjisi v hızı ile hareket eden c hızı ile karşılaştırılabilen onun kütle ve hareket değişimine doğruorantılıdır.

21. Relatif mekaniği

Harekette bulunmazken enerji m_0c^2 ve cismin relativite enerjisi mc^2 harekette bulunan şunu ifade eder: **Her cismin kütle ve enerjisi madde- nin iki bağımsız karakteristiği gibi gözden geçirilmez, fakat aynı fiziksel büyüklüğünün iki şekli.**

Cisim enerjisinin her değişimi herhangi şekilde ΔE kütleinin orantılı değişimi ile gerçekleşir $\Delta m = \Delta E/c^2$ ve tersi, relativistik kütleinin Δm her değişimi cismin enerji değişimi ile gerçekleşir:

$$\Delta E = c^2 \Delta m \quad (10)$$

Bu denklemle **relativistik kütle ve enerji bağı için Aynştayn kanunu.**

Aynştayn denklemi (10) sadece kinetik enerjisi için değil tüm enerjiler için geçerlidir. Bu denklem evrenseldir ve relativistik mekaniğinden mada kütle ve enerji değişimi oluşan tüm süreçlerde. Örneğin, kimyasal reaksiyonlarda, nükleer reaksiyonlarda, az kütle değişimi olanlarda.

Kütle ve enerji bağı için Aynştayn denklemi birbiriyle iki temel doğal kanunu bağlar ve birleştirir, kütle korunum kanunu ve enerji korunum kanunu. Klasik fizikte bunlar ayrı olarak gözden geçirilir, birbirinden bağımsız.

Deneylemlerden elde edilen sonuçlar elementer parçacıkları ve nükleer reaksiyonları ile Aynştayn'ın relativistik denkleminin doğruluğunu taziıkladı, kütle için nasılsa (2), öyle kütle ve enerji için de. Bununla tüm Aynştayn teorisi sağlam taziik buldu.

ÖRNEK 1.

Elektron $v_0 = 0,85c$ hızı ile hareket eder. Onun toplam enerjisi ve kinetik enerjisi belirlensin eV. Elektronun harekette bulunmadığı enerjisi $E_0 = 0,511$ MeV.

Çözüm: Elektronun harekette bulunmadığı enerjisi $E_0 = m_0c^2 = 0,511$ MeV. Denklem (5) göre

$$(5) \quad E = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{0,511 \text{ MeV}}{\sqrt{1 - \frac{(0,850c)^2}{c^2}}} = \frac{0,511 \text{ MeV}}{\sqrt{1 - 0,722}} =$$

$$E = 0,969 \text{ MeV} = 0,970 \cdot 10^6 \text{ eV}$$

(8) denkleme göre elektronun kinetik enerjisi:

$$E_k = E - E_0 = 0,970 \text{ MeV} - 0,511 \text{ MeV}$$

$$E_k = 0,459 \text{ MeV} = 0,459 \cdot 10^6 \text{ eV}$$

ÖRNEK 2. Protononun toplam enerjisi 3 kez daha büyüktür onun harekette bulunmadığı enerjisinden. a) Protonun enerjisi harekette bulunmadığı zaman eV nekadardır? b) Proton nekadardır hızla hareket eder eV? c) Protonun kinetik enerjisi eV nekadardır?

Çözüm: a) Protonun harekette bulunmadığı enerjisi $E_0 = m_0c^2$.

$$\text{Protonun kütlesi} \quad m_p = 1,007276 \text{ u} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$1 \text{ u} = 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg}; \quad c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$E_0 = m_p c^2 = 1,5 \cdot 10^{-10} \text{ J} = 9,38 \cdot 10^8 \text{ eV} = 938 \text{ MeV}$$

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}; \quad 1 \text{ J} = 6,25 \cdot 10^{18} \text{ eV}$$

b) Denklem (7)'ye göre, protonun toplam enerjisi üçkez onun harekette bulunmadığı enerjisinden büyüktür, şöyle elde edilir:

$$E = 3E_0;$$

$$\frac{m_p c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 3m_p c^2; \quad 3 = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$1 - \frac{v^2}{c^2} = \frac{1}{9}; \quad v = \frac{\sqrt{8}}{3} c = 0,94c; \quad v = 2,83 \cdot 10^8 \text{ m/s}.$$

c) denklem (8)'den

21. Relatif mekaniği

$$E_k = E - E_0 = 3m_p c^2 - m_p c^2 = 2m_p c^2$$

$$E_k = 2E_0 = 1876 \text{ MeV}$$

Protonun toplam enerjisine göre

$$E = E_0 + E_k = 2814 \text{ MeV} = 3E_0.$$

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Klasik dinamikten fiziksel kanunların denklemleri Lorens dönüşümlerine göre değişmez kalırlar?

2. İkinci Nefton kanunu, onun şeklinde $\vec{F} = m\vec{a}$, relativistik kanunu uygulayamaz?

3. Relativistik etkisi kütlede ne zaman oluşur ve deneysel olarak ne zaman deneme yapıldı?

4. Hangi hızda cisimin relativistik kütlesi $m = 1,6 m_0$ olur?

(Cevap: $v = 0,78c \text{ ms}^{-1}$)

5. Klasik mekanikte kütle ve enerji nasıl gözden geçirilirler?

6. Aynştayn relativistik mehanikte kütle ve enerji ile neyi tazdıklar?

7. Hangi enerjiye relavisitk enerjisi denir ve kime eşittir.?

8. Relativistik kanunun enerji korunumu nasıldır?

9. Hidrojen atomu proton ve elektronlardan oluşur ve bağlama enerjisi 13,6 eV dur. Yüzdellik olarak proton ve elektronun kütlesi hidrojen atomundan büyüktür? Harekette olamayan protonun $E_p = 938,28 \text{ MeV}$, elektronun $E_n = 0,511 \text{ MeV}$. Hidrojenin kütlesi dururken $m_H = 13,6 \text{ eV}/c^2$.

$$\text{Cevap: } \left(\frac{m_H}{m_p + m_e} \right) \% = 1,45 \cdot 10^{-6} \%$$

Yüzdellik farkı çok küçüktür ve zor ölçülür.

10. Kvazerler çok uzakta bulunan galaksilerdir ve onlarda ışık enerjisi $1 \cdot 10^{40} \text{ J}$ her saniyede

dir. Nekadar kg kütesinden azalır kvazerin kütesinden bir dakika zaman süresinde?

(Cevap: $\Delta m = 0,11 \cdot 10^{24} \text{ kg/s} = 6 \cdot 6 \cdot 10^{24} \text{ kg/dak}$ yaklaşık Dünya ile).

Bunula ilgili daha detaylı bilgiler aşağıdaki adreslerde bulabilirsiniz:

www.dsUPER.net/~tinom/ph2000/GALILEAN.html

<http://musr.physics.ubs.ca/~jess/hr/skept.html>

www.dsUPER.net/~tinom/ph2000/GALILEAN.html

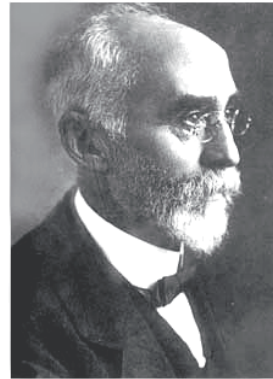
<http://musr.physics.ubs.ca/~jess/hr/skept.html>

<http://www.nobelprize.org>

www.alberteinstein.info/gallery/gallery.htm

www.dsUPER.net/~tinom/ph2000/GALILEAN.html

<http://musr.physics.ubs.ca/~jess/hr/skept.html>



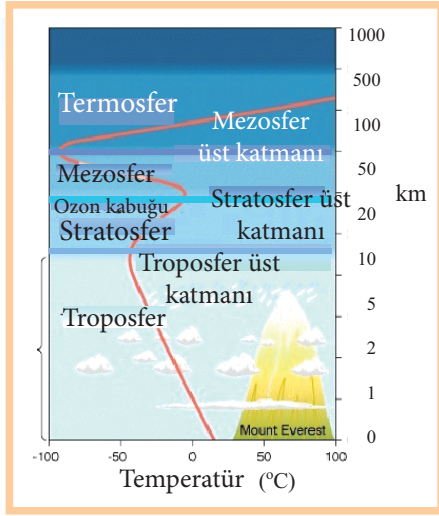
Şekil. H. Lorens (Hendrik A. Lorentz)
(1853-1928)

H. Lorens Layden Üniversitesinde profesör gibi çalışmış. 1902 yılında ışımaya fenomenlerine mıkınatısın etkisi asraştırması için Nöbel ödülünü kazandı Fizik dalında Petar Zeman (P. Zeeman) ile birlikte.

22.1. GLOBAL İKLİM ŞARTLARI

Klimatolojinin ilk bilimsel metodları 1831 yılında ortaya atılmıştır, iklimin yeni tanıtımı Aleksandar Humbolt tarafından yapılmıştır. Ona göre, *iklim kelimesi atmosferin belli bir spesifik özelliğini ifade eder, denizlerin hareketli yüzeyinin kesintisiz birleşik etkisi ve Dünya'daki kuru alanların sıcaklık ışımasına bağlıdır.*

Çünkü atmosferin karakteristiği temel nedenlerden biri olarak her bölgenin iklimini belirlerler. Teoriye göre, yeterli şiddetli gravitasyon olan her gökçismi etrafında atmosfer oluşabilir.



Şekil 1. Dünya atmosferi

Dünya atmosferi beş katmandan oluşmuştur (şekil 1). Bunun dinamik süreçleri ve sıcaklık gradyanı var. Atmosferin yoğunluğu ve yapısı Dünya yüzeyinden yüksekliğe doğru değişir. En düşük yükseklikteki kabuk bizim yaşadığımız **toroposfer** adlandırılan dır (yüksekliğe doğru 10 km kadar uzanır). Bu katmandaki gazlar, molekül oksijen (%21) ve molekül azot (%78), karbon dioksit, su buharı ve hidrojen, ozon, metan, karbonmonoksit, helyum, neon, kripton ve

ksenon izleri. Bu katmanda %90 Dünya atmosfer gazları ve %99 su buharından dır. Atmosferde bulunan bazı birleşikleri için söz konusu olduğu zaman, örneğin, hidrojen sulfid yada bazı sülfür oksitleri ve azot, bunlar ilk önce vulkanlar etrafı oluştukları düşünülür sonrasında hava kütlelerin akımları ile, yağmurlu ve karlı yağışlarla büyük mesafelere taşınmıştır.

Tüm hava değişimleri burada yapılır. Sıcaklığın düşmesi yüksekliğin artması ile basıncın azalmasından kaynaklanır. Hava kütlelerinin bir kısmı yukarıya hareket ederken, düşük basınç hesabına yapılır ve soğur. Bu katmanın üst kısmı **troposfer üst katmanı** dır. En düşük kutuplarda dır, topraktan 5 km yükseklikte, en yüksek ekvatorunda 16 km dır.

Troposfer'den sonraki katman 50 km kadar uzanır ve **stratosfer** olarak adlandırılır. Burada ozon kabuğu oluşur. Stratosfere kadar ulaşan Güneş ışınları 240 nm dalga boylu dır ve oksijen moleküllerini ayırarak ozonu (O_3) oluşturur. Ozon en büyük yoğunluğu 25 km yükseklikte dır. Ozon kabuğu 11 km ile 60 km yüksekliğe uzanır. Zararlı ultraviyole ışınlarını absorbe eder ve ısıtır (yüksekliğe giderken sıcaklığın azaldığından sonra yükselmesi var, şekil 1).

Stratosfer üzeri katman **mezosfer** olarak adlandırılır. Burada sıcaklık yükseklikle azalır, $-90^\circ C$ ulaşır.

Termosfer mezosfer üst katmanı üzerinde dır, bu katmanda tekrar sıcaklık yükselmesi var, Güneş'ten gelen UV ve X ışınları absorbe etmekten kaynaklanır. 80 km yükseklikte gazlar çok seyrek dır ve kısa zaman süresinde serbes elektronlar olabilir pozitif iyonlardan esir olmadan önce. Bu yükseklerde elektrikleşmiş parçacıkların var olması, onlar üzeri, **iyonosfer** katmanını başlar ve gaz ve plazmaya özelliği var.

Dünyadan 500 km yükseklikte egzosfer bölgesi dir. Dünya büyük mıknatis gibi davranır. Dünya mıknatis alanı evrenden gelen elektrikleşmiş parçacıkları topraktan 3000 ila 16000 km yükseklikte yoğunlaştırır. Dünya etrafında **mıknatisfer** denen bu dış bölgede parçacıklar mıknatis kuvvet çizgileri etrafında dönerler.

Global iklim değişim nedenleri. Güneş ışınması Dünya iklim sistemine giren ve sistemden çıkan, uzaya infrakırmızı ışınması gibi döner. Bu esnada iklim sistemi dengede kalır. Dengeli sıcaklığın Dünya üzerinde sağlanması için, gelen ışınmanın ve terkeden ışınmanın arasında denge sağlanması gerekir. Aksi takdirde Dünya sıcaklığı artar yada tersi yani soğur.

Geçmişte iklim değişimleri doğal etkileri nedeninden yapılmıştır, insan etkisinden daha az yapılmıştır (antropogen etki). Bu etkilerden bazıları için söz konusu olacak.

1. Aerotuzlar. Atmosfer bulutlarında ve sistsu damlaları ve buz parçacıkları ile beraber farklı kimyasal yapılı katı ve sıvı parçacıkları da bulunur. Bunlara bir adla aerotuzlar denir. Bu parçacıklardan en büyük kısmının diyametresi 10^{-4} ila 10^{-5} cm civarında dır. Bunlar atmosferde doğal süreçlerden – volkanik erupsiyonlardan ötürü yada insan etkinliklerinden ötürü oluşurlar.

Genelde, aerotuzların iklime etkisi sıcaklığın değişmesine yansır. Bunun nedeni atmosfer opaklığının değişiminden kaynaklanır.

Atmosfer aerotuzların büyük bir kısmı troposferin daha düşük katmanlarında bulunur, neredeki burada ömürleri relatif kısadır. Bunun nedenlerinden biri, gravitasyon kuvveti öyleki atmosferden en ağır parçacıkları yere doğruçeker. Onlardan yenlik olanları, Dünya'ya hava akımların etkisinden ve yağmurlarla ulaşrlar, süreç gibi atmosferin aerotuzlardan temizlenmesi önemli rol oynar. Aerotuzlar troposferde iklime etkisi lokal karakterli dir.



Şekil 2. Atmosferin opaklığın nedeni volkanik erupsiyonlardır

Stratosferde aerotuzların miktarı önemli küçüktür. Bu parçacıkların boyutları 10^{-4} ila 10^{-5} cm bundan dolayı gravitasyon bunlara çok az etki eder. Diğer yandan, stratosferde havanın düşey akımı yoktur, bir de yağmurlar yoktur. Bu da stratosferde aerotuzların yoğunlukla sülfür oksitleri (SO_2 , SO_3 ve SO_4) iklim değişiminde mevcuttur.

2. Okyanus ve kriyosfer. Eğer gözünüzde alınırsa suyun kütlesi atmosfer kütlesinden daha büyüktür, birde özel sıcaklık kapasitesi suyun atmosferden büyüktür (yaklaşık 4 kez), ozaman denizler ve okyanuslar çok büyük sıcaklık depoları dırlar. Onların temel fiziki karakterisitigi relatif büyük sıcaklık eylemsizliğinden kaynaklanır – yavaş ısınrlar, yavaş da soğurlar, düşen ışınmayı da zayıf yansıtırlar.

Onlar yavaş, fakat sürekli atmosferi ısıtırlar.

Okyanusların ve denizlerin atmosferi CO₂'ten temizleme rolleri de var. İklimde özel etkisi sıcak ve soğuk su akımların vardır.

İklimin oluşmasında *kriyosferin* de rolü vardır, Grenland gibi buz örtüleri ve Antarktik, dağ buzları ve kar örtüleri.

Kriyosfer mekanizmaları iklime etki eden çokturlar, fakat en önemlilerinden: hava ve su kütlelerinin termik etkisi, torağın aklık derecesinin büyümesi ve gazların absorpsiyonu.

3. Asitli yağmurlar. Atmosferden gazlardan bazıları (CO₂, SO₂, azotlu oksitler NO_x, NH₃ ve diğerleri), buğarlaşılabilen organik birleşikler ve alkal tozlar yağmurların asitliliğine katkıda bulunurlar. Asitli yağmurlar pH<5. Hava kirliliğinin azalması yapılacağına kadar yağmurların insanlığa problemligi devam edecek.

sülfürik oksitlerin doğal kaynakları volkanik erupsiyonlar dır, farklı organizmaların ayrılması (bozulması). Azotlu oksitlerin doğal kaynakları topraktaki bakteriler ve atmosferin yüksek katmanlarındaki kimyasal reaksiyonlar.

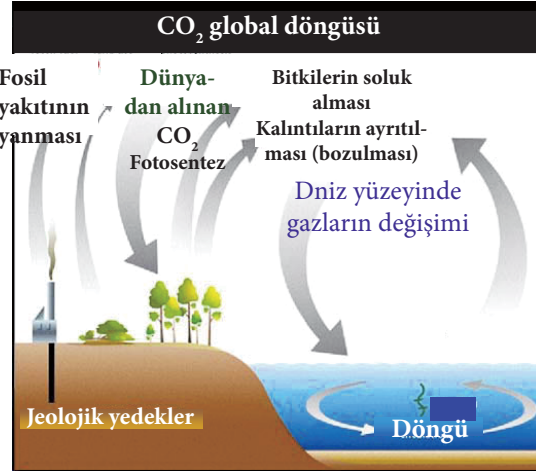
Fakat, doğal kaynakları küçük yüzdelikte kirleticiler dirler. Örneğin, insan %90 dır, sülfür yayılmasından ve %95 azot yayılmasından. Sülfür dioksit karbonun yakılması ile serbeslenir, petrol arıtımı. Azotlu oksitler düşük sıcaklıkta yakıtların yanması ile oluşurlar. Yaklaşık %40 azotlu oksitlerden otomobillerden dir, kamyonlardan ve trenlerden, %25 termosantrallerden ve %35 endüstriyel yanma süreçlerinden, depolarda çöpün ayrıştırılması (bozulması).

4. İklimde evrensel etkiler. Bugünkü bilgilere göre, Güneş'in etkisi evrensel faktörlerden sadece bir tanesi dir. Güneş'te 11, 22 ve 80 yıllık döngüleri var ve eniyi araştırılan birincisi dir. Güne-

şin 11-yıllık döngüsü için sözkonusu olduğu zaman, stratosferde ve iyonosferde süreçlerin dinamiğine etki eder.

Burada diğerleri arasında komşu gezegenlerin gravitasyon etkisi düşer, Dünya orbitalının eksantrikliğin ve eğikliğin değişimi.

İklim değişimleri: yaklaşmakta olan küresel tehditler. Dünya gezegeninde hayatın mümkün olmasının sebebi cam bahçesi etkisinden kaynaklanır. Cam bahçesine neden olan gazların doğal görüntülenmesi – bir cam sıcaklığa çıkmasını izin vermeyen ve bu gazların Dünya sıcaklığına katkıları vardır, öncelikle, **su buharı (H₂O), karbon dioksit (CO₂), metan (CH₄), azotlu oksit (N₂O) ve troposfer ozonu (O₃)** Güneş enerjisini dünyaya gelmesini görünür ışık gibi sağlar, sonra atmosfer tarafından infrakırmızı ışığa gibi yakalanır. Bu olgu üzere gezegenimizin sıcaklığı yönetilir.

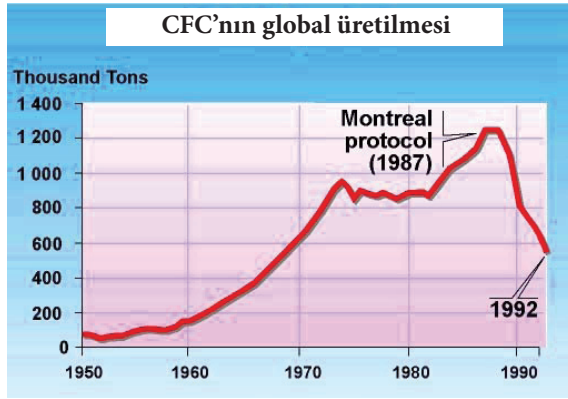


Şekil 3. Atmosferde CO₂ dönmesi

İklimin değişeceğini neden bekleriz? Endüstrileşmede kalıtım yakıtların yanması ile camsal gazların yayılması, ormanların kesilmesi ve tarımcılık için toprağın temizlenmesi ile sürekli çoğalır.

Son 100 yılda camsal gazlar atmosferde doğal süreçlerinden daha hızlı yayılır. Ek olarak yayılan yeni sentetik gazlar **klorofluorlu karbonlar (CFC)**. Üzülerek, bu gazların atmosferde yoğunlaşması sürekli çoğalır. Bunlar camlı bahçe etkisini destekleyerek sağlarlar.

Bu gazların yüksek miktarda çoğalması sıcaklığın troposfere çıkmasını engeller böylece Dünya'nın global ısınmasına katkıda bulunur ve ekosistemin global değişimlerine (Şekil 5).



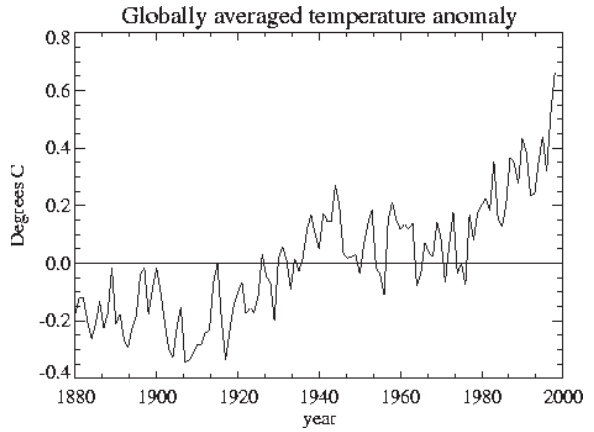
Şekil 4. CFC'nin global üretilmesi

İklim bilgileri 160 yıl önce atmosferde camlı gazlar ve global sıcaklığın sıkı bağlantısını gösterirler. 1896 yılında İsveç kimyageri S. Arrhenius atmosferde CO₂ miktarının katlanması kalıntı yakıtın yanmasıyla global sıcaklığın artması 5,5°C mümkün olabilir. Bu değer bilgisayar yardımı ile yapılan hesaplamalardan alınan sonuçlara yakındır 1,5°C ila 4,5°C, atmosferde CO₂ katlanmasıyla.

1995 yılında Dünya bilim camiası değişiklik yapılmıştır ve geçen yüzyılda sıcaklık Dünya'da 0,5°C değerinde arttığını bilgi olarak vermiştir. 2001 şubat ayında Birleşmiş Milletler çatısı altında iklim değişimi Devletlerarası kurumu global sıcaklığın artması nedeni insan faktörü olduğunu ifade etti.

1995 yılında yapılan görüşlere göre Dünya hava sıcaklığı artı çoğalması 1°C – 3,5°C civarın 2100 yılına kadar beklenir. Son 10000 yılda dünyanın en hızlı iklim değişimine bedeldir.

Bu oranlardaki sıcaklığın artması çok yönde hayatımızı etkiler, hava sıcaklığı değişimi ve içecek su dağılımının değişimi. İnsan sağlığı, orman canlılığı ve diğer doğal alanları, birde tarımcılık ürünleri önemli etkiler altında kalacak.



Şekil 5. 1880 ile 2000 yılları arasında sıcaklığın global değişimi

Daha yüksek sıcaklıklı Dünya global su döngüsünü hızlandırır: okyanuslar arası su değişimi, atmosfer ve arazi. Yüksek sıcaklıklar daha büyük buharlaşmalar ve toprağın daha hızlı kurumasını yaparlar. Atmosferde su miktarın daha büyük olması daha çok yağmura ve kara nedendir. Son zamanlarda su döngüsünün ilk işaretlerini görmüş oluruz. Bu olayları su baskıları takip eder, toprak erozyonları, birde bazı canlı organizmaların yok edilmeleri. Bazı bölgelerde buharlaşmanın artışı, kuraklıklar oluşturur, çünkü çok yağmurlar başka bölgelerde yağar.

Son 100 yılda global ortalama deniz yüksekliği 10 ila 25 cm artmıştır, kısmen suyun ısınması ile genişlemesinden kaynaklanır.

Son yüzyılda buzulların erimesiyle, deniz yüksekliğinin artmasına sebep olmuştur. Alaska'nın arktik alanı ve Sibiryaya bir zamanları donmuş toprak sayılan, erimeğe başladı ekosistemleri ve altyapıları altüst etmeğe başladı. Tundralarda erime ve ısınma organik maddenin bozulmasına ve karbon ve metanın serbeslenmesine sebep olur ve camsal gazların ek kaynağı oluşur. Global iklim değişimleri günden güne büyük risklere sebep olacağı ve bundan dolayı camsal gazların yayılmasını önleyecek eylemlere odaklanmak gerekir.

Global iklim sistemi için doğru tahminler yapılamadığı için yaşanılan ortamın iyice korunması gerekir.



İklim değişimleri ile ilgili uluslararası girişimler. 80 yıllarında, bilimsel kanıtlara dayanan global iklim değişimleri ve onlardan yönetkiler, bilim adamları, siyasetçiler ve kamu için ek endişe uyandırdı. 1992 yılında Rio de Janeiro kentinde *iklim değişimler çerçeve sözleşmesi (United National Framework Convention on Climate Change UNFCCC)* kabul edildi ve bunun amacı "iklim değişimlerde camsal gazların miktarını insana tehlike yaratmayacak seviyeye düşürmek". Fakat gelişmiş ülkeler buna pek saygı katılmayarak göstermediler bundan dolayı 1995 yılında Berlin dönemi ortaya konuldu, bununla müzakerelere süreci sağlandı ve çerçeve sözleşmesine 2000 yılları döneminde daha büyük katılım kararlandı. Bu süreç Kyoto protokolün imzalanması 1997 yılında sağladı.

Kyoto protokolü çok iyi bir adımı oluşturur camsal gazların yayılmasının sınırlanması için (CO_2 , CH_4 , N_2O , HFC, ClFC_4). Bilindiği gibi atmosfer sınırları tanımadığı için bu hepimizin problemi olması gerekir.

Sorular ve ödevler

1. Atmosferin yapısı nasıldır?
2. Bir balonu sabah 7 de Üsküp üzerinde görürseniz, akşam 19 da nerede olabilir? Neden?
3. Evrenin elektrikleşmiş parçacıkları neden Dünya'ya ulaşamazlar?
4. Global iklim değişimleri nedenleri kimlerdir?
5. Camsal gazlar nedir?
6. İklim değişimine insan nasıl etki eder?
7. Dünya hayatı için ozon kabuğun etkisi nasıldır?
8. Ozon nasıl yok edilir ve yüksek seviyede ozon kabuğunun yok edilmesinin yönetkileri kimlerdir?

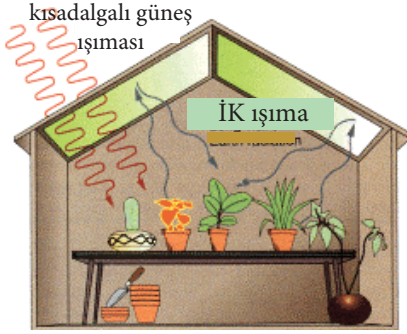
İklim kavram gibi *güneş ışınların eğilimi* manasına gelir, onu ilk olarak M.Ö. II y.y. eski yunan astronom Hiparkus kullanmıştır. XVIII yüzyılına kadar iklim özellikleri eğilimle açıklanmıştır, daha doğrusu güneş ışınlarının düşme açısı ile verilen alanda.

Aleksandar Humbolt (**Alexander Humboldt**) alman bilim adamı ve gezgin yazar.

Fazla bilgiler global sıcaklığı (Climate Change), ozon kabuğu (Ozone layer) ve onların korunması önlemleri Kyoto protokolü için internetten ve diğer bilgi kaynaklarında arayın.

Bunula ilgili seminer hazırlayın ortamın korunması için siz ne yapabiliyorsunuz.

22.2. ŞİŞECAM BAHÇE (CAMSAL BAHÇE) ETKİSİ



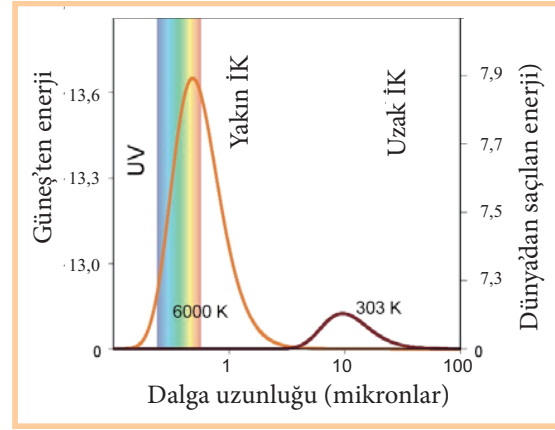
Cisimler hangi tayf aralığında ışıma yaparlar sorusuna, cisimler 300 K ve 6000 K sıcaklıkta maksimum ışıma şiddetine sahiptirler, ilkleri infrakırmızı (İK) kısımda diğerleri tayfin görünen kısmında. Bu dalga uzunluğu değişimin çok etkileri var onlardan biri **şişe bahçe etkisi** dir.

Dalga uzunluğu λ_{\max} 'da yayılan ışımının en büyük şiddeti vardır ve **yerdeğişim için Vin kanunu** verilmiştir:

$$\lambda_{\max} = \frac{C}{T}, \quad (7)$$

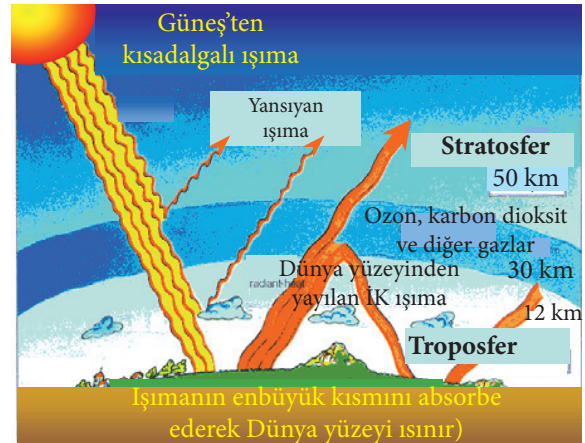
Burada $C=2,89 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$ Vin sabitesi dir, mutlak sıcaklık T . Vin kanununa göre sıcaklığın yükselmesi ile maksimum şiddet tayfta ışıma daha küçük dalga uzunluklarına yerdeğişimi yapar (Şekil 1).

Maksimum şiddetli 483 nm güneş ışıması camdan kolayca geçer. Cam içindeki cisimler onu kolayca absorbe ederler ve sonra enerji olarak yayarlar. Onların sıcaklığı daha düşük olduğu için onların yaydıkları ışıma daha küçük dalga uzunluğunda (tayfta infrakırmızı kısımda) dır. Bu dalga uzunluğu camdan geçemez, cam **infrakırmızı ışınları absorbe eder**. Böylece cam içerisi ısınır. Cam Güneş sıcaklığını durdurduğu gibi atmosfer de Dünya sıcaklığını durdurur.



Şekil 1.

Biliyor muydunuz bizde insanlar şişecam bahçesinde yaşıyoruz? Şişecam etkisi Dünya atmosferinde önemli bir doğal fenomen dir. Şu şekilde oluşur (Şekil 2).



Şekil 2. Şişecam etkisi

Güneş ışıması Dünya atmosferinden kısa dalga uzunluklu ışıması gibi, tayfin infra kırmızı görünür aralığına yakın. Bu ışımanın bir kısmı Dünya yüzeyine gelmeden önce atmosfer tarafından absorbe edilir, bulutları ekleyerek, bir kısmı da uzaya yansır. Ancak, yansımanın en büyük bir kısmı Dünya yüzeyine ulaşır.

Ulaşılan ışımaya Dünya yüzeyinden absorbe edilirse Vin knununa göre infrakırmızı alanına ışımaya yapılmıştır (sıcaklık enerjisi gibi) Dünya torposferinde.

Su buharı molekülleri H₂O; karbon dioksit CO₂; metan CH₄, diazot oksit N₂O, ozon O₃ ve diğerleri troposferde mevcut olanlar, uzundalgali ışımayı absorbe ederler onlara düşen uzaya tekrar dönerken böylece troposfer ısınır. Atmosferi terkeden ışımaya infrakırmızı alanına yakındır (8-12·10⁻⁶ m).

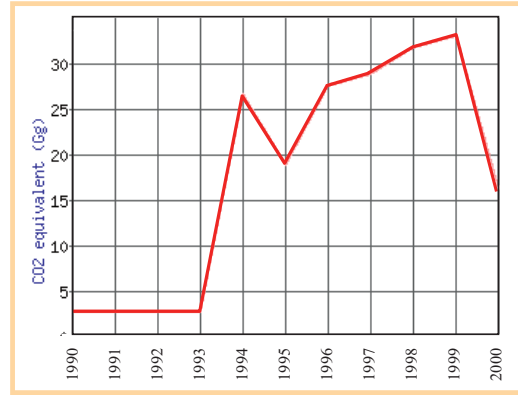
Gazların molekülleri şışecamı bahçesinde troposferde absorbe ettikleri sıcaklık enerjisini verirler. *Hava kabuğu Dünya temperaturünü tutar.* Şışecamı gazların olmamasıyla gezegenimizin temepatürü 33°C azalır, Dünya'yı Güneş sisteminde canlı varlıksız bir gezegene dönüştürerek.

Troposfere yakın bölgede şışecam bahçesi gazların sınırlı miktarı sıcaklığın bir kısmı stratosfere çıkmasına izin verir.



Şekil 3. Atmosferde gazlar miktarının artması için neden olan kirleticiler

Şışecam bahçe etkisi doğal fenomen dir ve onun yüzünden Dünya üzerindeki temperatur hayat için uygundur. Şışecam etkisinin var olması kanıtı diğer gezegenlerden de gelir. Örneğin, Venere gezegeninde atmosferin 90% CO₂'ten oluşmuştur ve yüzeyindeki temepartür 532°C fazladır nitekim atmosferi olmadığı zaman.



Şekil 4. Atmosferde karbon dioksit miktarının artması

Güçlendirilmiş şışecam bahçesi etkisi nedir? Atmosferin temel yapısı milyonlarca yıl değişmediğine inanılmaktadır, bazı seyrek komponentler, CO₂ gibi değişirler. Bugün karbon dioksit miktarı, metan, diazot oksit atmosferde geçmişten daha hızlı artarlar (şekil 4). Bu durum endişeye neden olur global iklim değişimi ile ilgili. Atmosferde CO₂'den mada sentetik gazlar da gönderilir hloro fluoro karbon (CFC) (freonlar) gibi, CO₂'den farklı 7000 kez daha büyük sıcaklık absorbe etme kapasiteleri vardır. Bu gazlar miktarının artışı troposferden sıcaklığın serbeslenmesine izin verilmediği için Dünyada global sıcaklığın yükselmesi ve global ekositem değişimi olur.

Dünya iklim sistemine gelen enerji ondan da infrakırmızı ışınması ile uzaya dönerek ayrılır. Dünya yeryüzeyinde istikrarlı bir temperaturün sağlanması için Dünya'ya gelen ışımaya ve Dünya'yı terkeden ışımaya arasında denge sağlanması gerekir. Aksi takdirde Dünya yüzeyi devamlı ısınır (daha fazla enerji gelir daha enerji ise terk eder).

Ne yapılmalı?

Rio de Janeiro kentinde 1992 yılında iklim değişimi çerçeve sözleşmesinde şu karar yayınlandı: *insanın etkinliklerinden dolayı serbeslenen gazlar miktarının çoğalması ile şişecam bahçe etkisi güçleşir ve neden olarak Dünyada ek ısınma olur.*

Şişecam bahçe etkisi Dünya'ya milyonlarca yıl rahatlık sağlarken, insanın hızlandırılmış etkinliklerinden dolayı son yüzyılda ciddi bir tehde dönüşür. Endüstrileşme ve nüfusun çoğalması, kalıntı yakıtların yanması ile ek miktarda gazların yayılması, ormanların kesilmesi ile ve yeni sentetik gazlar, sürekli çoğalır. Son 100 yılda şişecam bahçe ek gazlar miktarı daha hızlı yayılır onları yokeden doğal süreçlerden. Karbon dioksit Dünya ömür boyu kadar biosfer gibi bilinen ve atmosferin çok sayıda süreçleri fotosentez ve soluk alma arasında değişimi yapılır. Atmosfer aynı zamanda CO₂ okyanus ve ırmaklarla değişim yapar. CO₂ bir kısmı deniz yüzeyinden absorbe edilir, farklı yollarla okyanusun derinliklerine taşınır. Bundan mada CO₂ diğer değişimlere dönüşür.

Sonunda, şöyle bir soru kaçınılmazdır: şişecam bahçesi değişimlerinden nasıl sonuç olarak nasıl değişimler beklenebilir?

Doğru cevaplamak için atmosferdeki gazlar miktarı ve onların ısınma nedeni oldukları arasındaki bağılılığı bilmek gerekir. Diğer yandan global ısınma ve global iklim değişim bağılılığı daha birleşiktir.

Diğer bilim dallarından farklı olarak, şişecam bahçe etkisi deneyleri laboratuvar şartları altında yapılamaz. Bundan dolayı global ısınmanın araştırılması en iyi yöntem, şişecam bahçenin güçlendirilmesi güçlü bilgisayarda numerik modellerin çalıştırılması ile yapılır.

Hava temeperatürün çoğalması için en yeni tahminlere göre 2100 yılında ortalama temeperatürden 1 ila 3,5°C daha büyüktür. 2100 yılında "Status quo" senaryosuna göre sıcaklığın yükselmesi sonucuna göre deniz yüksekliği bugünkü seviyeden 15 ila 95 cm yükselecektir. Önceki tahminler deniz seviyesinin yükselmesi Antarktik'teki buz kayasının bozulmasından dolayı kaynaklanır, bugünse öyle bozulmalar imkansızdır yada milyonda bir olasılıklıdır. Olsun ki global iklim sistemi için daha doğru tahminlerin yapılması imkansızdır fakat yaşadığımız ortamın daha iyi korunması gerekir.

Sorular ve ödevler

1. Şişecam etkisi nasıl açıklanır ve şişecam bahçesinde temeperatürün yükselmesine neden nedir?

2. Eğer vucüt sıcaklığı 30°C olduğuna göre, ışımanın dalga uzunluğu nekadardır? Eğer Güneş'in temeperatürü 6000 K olduysa bu ışımanın maksimumu nerde bulunur? Ne kararlaştırırsınız? ($C=2,89 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$).

(Cevap: Dünya cisimleri dalga uzunluğu $\lambda=9,5 \mu\text{m}$ İK ışıma yayarlar; Güneş ise $\lambda=480 \text{ nm}$ ışıma yayar. Şekil 1. deki grafikten görüldüğüne göre birincisi İK bulunur diğeri ise taryın görünen kısmında bulunur).

3. Güçlendirilmiş şişecam bahçe etkisi nedir?

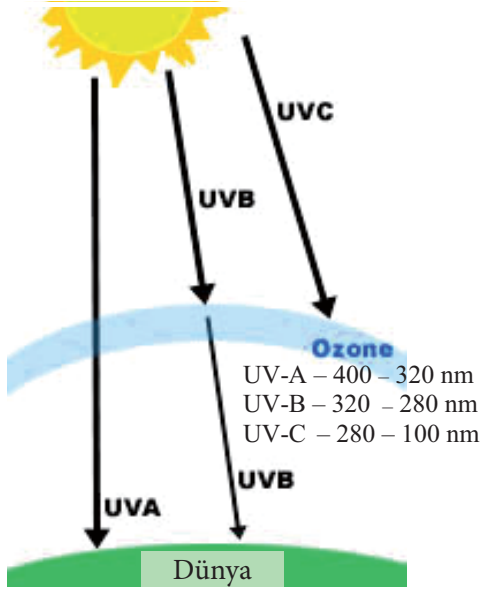
4. Şişecam bahçe değişimleri sonucundan nasıl değişimler beklenir?

5. Ayda gündüz ve gece temeperatürleri arasında neden büyük fark vardır?

Şişecam bahçe etkisi (Grynhaus effect) hakkında daha detaylı bilgiler internet yada diğer bilgi kaynaklarında arayın. Bu konu üzere proje yapınız.

22.3. OZON KABUĞU DEĞİŞİR

Ozon stratosferde yerleşen Güneş'ten tehlikeli ultraviyole (UV) ışımayı absorbe eder. Fakat, son yıllarda insanlar ozon kabuğunu tehlikeye attılar atmosfere stratosfer ozonunu yokedecek süps-tanslar serbesleterek ve doğanın dengesini bozarak. Onun miktarı coğrafi genişliğine, yıllık hava durumuna ve denizüstü yüksekliğe bağlıdır.

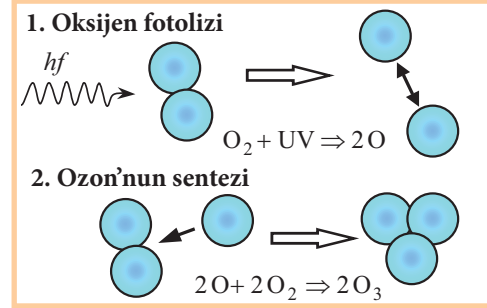


Şekil 1. Ozon kabuğundan büyük enerjili UV ışımayı absorbe etmek

Ozon (O_3) temel oksijen şeklinde dir ve her molekülün 3 atomu vardır, iki yerinde oksijende (O_2) olduğu gibi. Ozon stratosferde (10-15 km yükseklikte) oksijen molekülleri ve *fotoliz* denen dalga uzunluklu 176-244 nm Güneş ışınması reaksiyonunda oluşur. Bu esnada O_2 molekülleri atomlara ayrılır ve diğer O_2 molekülleri ile ozonu O_3 oluşturur (şekil 2).

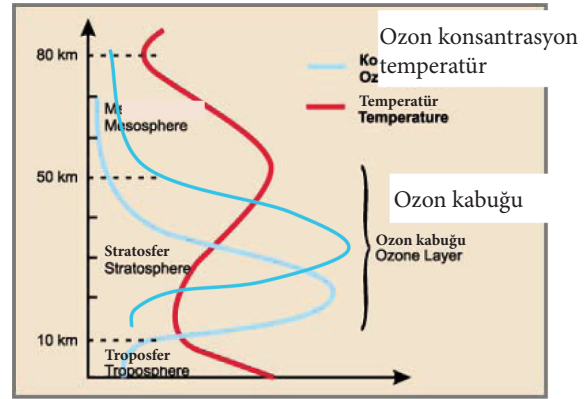
Öyleki Güneş'in ultraviyole ışınması sürekli yeni ozon üretirir, ozon molekülleri ise sürekli yokedilir katalitik reaksiyonlarda oksijen, azot, hidrojen, hlor ve brom içeren doğal birleşikler tarafından. Bu süps-tanslar atmosferde sürekli mevcutmuşlar, çok daha önceden insan ortamı

kirletmeden önce. Bunlar topraktan ve okyanuslardan metil hlorid, metil bromid, azot monoksit şeklinde gelirler ve doğanın dengesini sağlarlar kim ki Güneş'in zincirleme etkisinden pek az bozulmuş sayılır.



Şekil 2. Ozon'un fotosentezi

Ozonun 90% stratosferde yerleşmiş bulunur ve maksimum yoğunluğu 19-25 km bulunur. Stratosfer ozonun dib kısmı troposfer ara bölgesinin yüksekliği ile belirlenmiştir troposfer ve stratosfer arasında izoterm sınır bölgesi dir, kutuplardan 8-10 km yüksekliğinde ekvator'den ise 18 km yüksekliğinde.



Şekil 3. Ozon stratosfer temperatur yapısını belirler

Fotoliz sürecinde sıcaklık serbeslenir, ozon stratosferin sıcaklık yapısını belirler. Sıcaklık troposferde düşerken, stratosferde yükselir (şekil 3). Grafikten görüldüğü gibi sıcaklığın en düşük olduğu yerde ozon tabakası orada kalın dır.

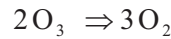
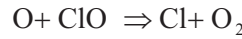
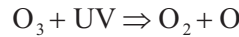
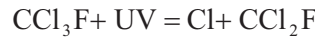
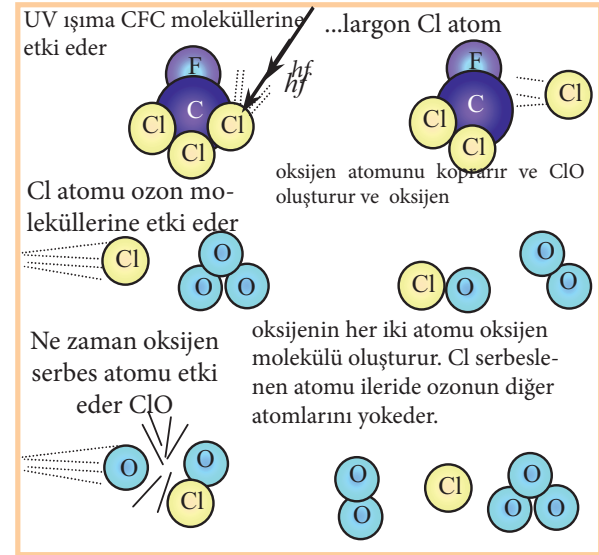
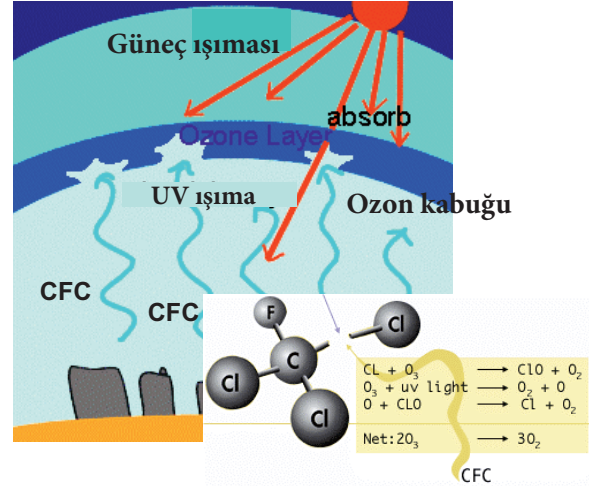
Global ozon kabuğun durumu bugün nasıldır?

Bugün global ozon seviyesi önemli daha düşük 1980 yılında kararlaştırılan seviyeden dir. Ozon kabuğu için insanın farklı etkinlikleri tehdit tir, örneğin, dondurucularda kullanılan süpsanslar ve püskürteçler (klor flor karbonlar - CFC). Çok etkisiz ve suda gazlarda çözünmezler, havada akım yoluyla stratosfere taşınır. CFC stratosferde yüksekenerjetik fotonlar Güneş ışımından (230 nm) absorbe ederler ve serbes klor elde edilir. Bir defasında serbeslenen klor ozonu seri katalitik reaksiyonlarla yokeder (şekil 4). Reaksiyonlar stratosferde çok düşük sıcaklıkta (-80°C) oluşur.

Yangını söndürmek için UV ışınları için kullanılan brom flor karbonlar karışım bromu, Stratosfere serbelenebilir. Bromun 30 kez ozonu yok etmek için kabiliyeti var. Karbon hidratlerin halojen derivatleri fluor ve klor yerine diğer halojen elementi içerir, örneğin, brom, iyot ve diğerleri, stratosferde yüzlerce yıl kalabilirler. Hava akımları ile hareket ettirilenler CFC gazları ozon kabuğuna gelecek yıllarda da tehlikelidirler.

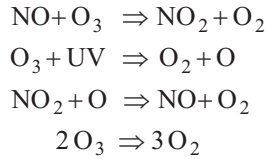
Ozon için tehlike süpersonik uçaklardan da gelen N₂O oluşturur bunlar stratosferin alçak kısımlarında uçuş yaparlar. Azot oksitleri taşıt araçlarından, termosantraller, yakım endüstri süreçlerinde oluşur.

Bu gazların miktarı klordan ve bromdan birkaç kez daha büyüktür ve okyanuslardan normal metilhidrid ve metil bromit gibi gelirler. Bu sentetik gazlar atmosfere serbes bırakılan ozonu ciddi global nedenlerle yokederler.



Şekil 4. CFC ve UV ışınması reaksiyonunda ozonun yok edilmesi

Ozonun yok edilmesi katalizör gibi azotmonoksit (NO) ve UV ışınması reaksiyonu sonucundan kaynaklanır:



NO oluşması uzay ışımasından kaynaklanır (kutuplarda uzay ışıması hemende paralel olarak düşer). NO ortamdaki dağılımına dikkat edilirse Dünya mıknaıtıs alanı onun konsantrasyonuna dolaylı olarak etki eder bununla beraber ozona da aynı etkisi var. Araştırmalara göre NO üretimi kutuplarda en büyüktür, bundan dolayı ozon boşlukların burda olması mantıklıdır. Kutuplarda ozonun yok edilmesi hlor ve brom mikrarının çoğalmasına neden dir.

Ozon stratosferde ekfatörde tüm yıl boyunca oluşur. Hava akımları ile kutuplar coğrafi genişliklerine taşınır.

Antarktik üzerinde ozon kayıpları büyüktür. Bunun nedeni kutuplardaki stratosfer şekilleri su buharını çekerek ve azot karışımlarını absorbe ederler. Eylül ayında Antarktik ilkbaharı denen gelerek (Güneş ve UV ışınların gözükmemesi), istikrarlı depolar kutuplarda stratosfer şekilleri yüzeyinde klor ve bromun aktif türlerine geçmeler ve ciddi manada ozonu yokederler. Bunun sonuçları: eylül ve ekim ayında ozonun 40% kaybı (kutup kasırgası – güçlü batı yelleri ozonu götürürler) ve şu an ozonun en büyük boşluğu 24 milyon km² alan büyüklüğü (şekil 5, 6, 7).

Arktik üzerinde ozonun yok edilmesi büyük değildir, iki nedenden ötürü: stratosferdeki temperatur çok seyrek -80 °C ulaşır hava kütlelerinin orta coğrafi genişliklerinde değişmesi ile; Arktik üzerinde akım kış öncesi durdurulur Güneş ışığı Antarktikteki gibi süreçleri yapmadan önce.

Global olarak 1970 den buyana ozon azalır sadece ekvatörde ise aynıdır (ozon kabuğu eski yıpranmış bez gibi). Eğer ekvatör bölgesi çıkarılırsa, orada ozondeğişimi yoktur, orta ve kutup coğrafi genişliklerinde 1984-1993 yılları arasın-

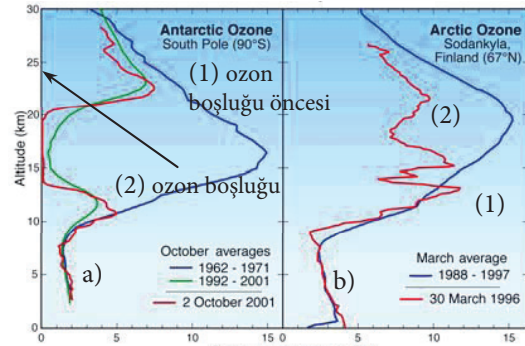
da 1964 yılına kıyasen ozon düşüşü 2 katı kadar daha büyüktür.



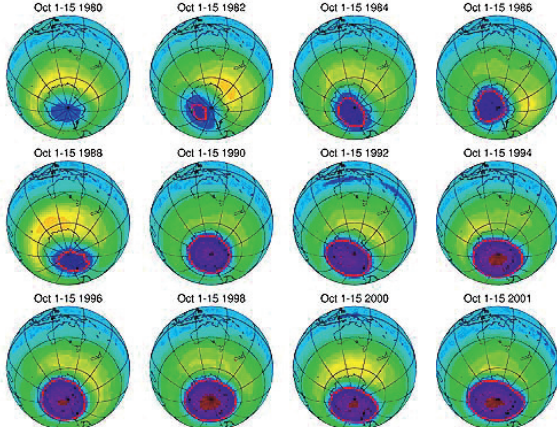
Şekil 5. Antarktik üzerinde ozon boşluğu

Troposferde, kuzey kutup coğrafi genişliğine göre ozon konsantrasyonu son 100 yıl içerisinde 2 katı kadar daha büyüktür ve ileride de artma ihtimali vardır. Ozon stratosferdeki kayıpları kapatamaz.

Ozona kıyasen stratosferde, UV ışınlarına karşı pozitif filter rolü olan, troposferde ozon, kimyasal karışımı benzer olarak, bozucu özelliği vardır. O diğer moleküllerle şiddetli reaktiftir ve onun büyük konsantrasyonu canlı sistemlere zehirli dir ve onların dokularına zarar verir.



Şekil 6. Stratosferde ozonun düşey profili: a) Antarktik üzerinde (1) ekim 1962-1971 ve (2) 2 ekim 2001; b) Arktik üzerinde (1) mart 1988-1997 ve (2) mart 1996



Şekil7. Antarktik üzerindeki boşluğun genişlemesi 1980, 1982, 1984, 1986, 1988, 1990, 1992, 1994, 1996, 1998, 2000, 2001 yılı.

Ozon'un yokedilme nedenleri. Dünya atmosferinde kabul edilen ve serbesletilen sıcaklık dengesine ozon etki eder. Ozon Dünyadan gelen infrakırmızı ışığı tekrar ona geri yansıtır, daha alçaktaki katmanların ısınmasına yardımcı olur (şişecam bahçe etkisi). Böylece ozonun troposferde büyümesi daha doğrusu troposfer ara kısmında, ısınmayı oluşturur, stratosferde ozonun azalması ise soğumsına neden olur.

Ozon Güneş tayfından 280 nm dalga uzunluğunda gelen UV ışığı absorbe eder onun sadece bir az kısmı Dünya yüzeyine gelir. Ozonun yok edilmesi UV-B ışımının Dünya yüzeyinde çoğalmasına neden olur bu ise canlı varlıklara ciddi manada tehlike oluşturur: deri kanseri, gözde katarakt (göz bebeğinde bulanıklık) oluşması, DNK'nın zarara uğraması, immunolojik sistemin etkisinin azalması, bazı ekosistemlerin bozulması, özel olarak CO₂ boşaltan deniz fitoplanktonu ve iklim değişim nedenleri.

Ozon kabuğunun korunması için yapılması gerekenler nedir? Ozon kabuğunun yok edilmesi başlangıçta bilim adamlarını ve uzman kişileri telaşlattı, daha sonra dünya organizasyonlarını da angaje etti. Bu durumdan çıkınacak yol ozon kabuğuyla ilgili **Birleşmiş milletler yaşama**

ortamı programın (UNEP) hükmet konseyi 1997 yılında ozon kabuğunun korunması temellerini ortaya koydu. 1985 yılında Vien sözleşmesi ile ülkeler insan sağlığını ve yaşama ortamını korumaları için önlemler almaları gerekir.

1987 yılındaki Montreal protokolü yardımı ile önlemler verilmiştir ve 1994 yılında CFC azalması 20% kadar gerekir, 1998 yılında ise 50% kadar azalması gerekir. Bu önlemler yardımı ile ozon kabuğunun yenilenmesi için tahmin etmek zordur.



Paul Crutzen Mario Molina Sherrwood Rowlend

1995 yılında ozonun yokedilmesi kimyasal reaksiyonları ortaya atmalarından dolayı Nobel ödülü ile ödüllendirilen Paul Crutzen (1933 doğumlu) od Maks Plank enstitüsünden, Mario J. Monia (1943 doğumlu) Masaçuset enstitüsünden ve F. Sherwood Rowlend (1927 doğumlu) Kaliforniya üniverzitesinden.

Sorular ve ödevler

1. Ozonun oluşması nasıl açıklanır ve oluşur?
2. Dünyadaki hayata ozon kabuğunun etkisi nasıldır?
3. Ozon nasıl yok edilir ve ozon kabuğunun daha çok yok edilmesi ile nedenleri nedir?

Ozon kabuğu için daha detaylı bilgiler (Ozone layer) internette arayın.

Ozon kabuğu için koruma projesi yazın.

22.4. GÜRÜLTÜNÜN CANLI ORGANİZMALARA ETKİSİ

Gürültü kavramı uzun vadeli şiddetli ses manasına gelir. Gürültü gibi etki eden ses dalgaları işitilen ses aralığındaki tüm frekansları içerebilir.

Gürültü insanın işine ve hayatına negatif etki eden faktörlerden biridir. Kent ortamlarında gürültü ciddi bir sorundur. Araştırmalardan alınan neticelere göre taşıt araçları gürültünün oluşmasına 90% katkıda bulunur.

Gürültü olabilir: **kentsel** onu ulaşımdaki motor araçları oluşturur ve **endüstriyel** onu endüstri makineleri ve motorları oluşturur.

Şiddetli ve uzun vadeli gürültü insan organizmasına etki eder: *sinir bozukluğu ve ağrılar oluşturur, kan basıncını büyütür ve işitme sistemini zayıflatır. Büyük gürültü kalp aritmi ve kas gerginliği oluşturur.*

Rezonans teorisine göre, kulaktaki membran kılıçıkları zorunlu uzun vadeli titreşirler ve elastik özelliklerini ve titreşim kabiliyetini kaybederler. Örneğin, kazan üretiminde çalışan kişiler kısmen sağır olurlar, gürültüye uygun olan frekanslar aralığı çekiç vuruşlarından üretilen.

Ses dalgalarının bazı fiziksel özelliklerini hatırlayalım.

Şiddet yada ses dalga şiddeti I enerjetik özelliği gibi akustik basınç P_{\max} amplitütünün karesi ile doğru orantılıdır ve ortamın akustik direnci $R_a = \rho v$ ters orantılıdır. Doğrusal boyuna dalga için geçerli sayılır:

$$I = \frac{1}{2} A^2 \omega^2 v = \frac{P_{\max}^2}{2\rho v} = \frac{P_{\max}^2}{2R_a}, \quad (1)$$

burada A ses dalgası amplitütüdür, ω dairesel frekans, v dalganın yayılma hızını oluşturur. Demek, akustik basıncın amplitütünü ölçerken ses şiddeti belirlenir.

Ses seviyesi. İnsan kulağı geniş frekans aralığına hislidir ($20 \text{ Hz} < f < 20 \text{ kHz}$) belirli şiddeti vardır. Ses şiddeti birimi $I_{\max} = 1 \text{ W/m}^2$ alınmıştır ve ağrı oluşturur. Bu maksimum ses şiddete kulağın ağrı ile işitiği **ağrı sınırı** yada **işitme üst sınırı** denir.

Ses dalga şiddetinin minimum değeri ses hissi oluşturana **işitme sınırı** denir. Frekans $f=1000 \text{ Hz}$ değerinde $I_{\min} = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ dir.

İşitme aralığında ses şiddetlerinin geniş kapsamı için **ses seviyesi** kullanılır. Belirli şiddeti I ses seviyesi L şöyle belirlenir:

$$L = k \log \frac{I}{I_{\min}} \quad (2)$$

burada k sabite dir, I ses şiddeti; I_{\min} referens ses şiddeti – işitme sınırı $f=1000 \text{ Hz}$ frekans için. Denklem (2)'de $k=1$ alınır ses seviyesi **bel (B)** birimi ile gösterilir, eğer $k=0$ ozaman **desibel (dB)** birimi ile gösterilir.

Fakat bunlar 10 kez daha küçük birimle gösterilirler daha doğrusu desibel (dB), desibel olarak verilen ve maksimum ses şiddeti 0 ile 120 dB dir.

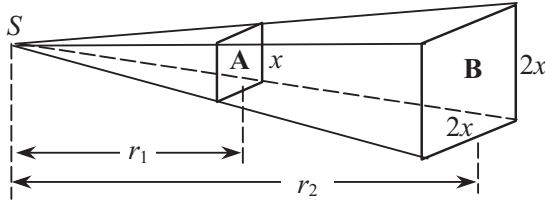
Gürültünün azalması iki temel kanuna dayanır geniş sınırlarda geçerlidir ve diğer enerji bilgileri – mekanik dalgalar, elektromanyetik dalgalar (ışık, röntgen ve γ -ışınları).

Birinci kanuna göre ses şiddetin azalması I mesafenin r karesi ile oluşur:

$$I \sim \frac{1}{r^2} \quad (3)$$

Bu kanunu nasıl deneyebiliriz? S kaynağın-
dan $r_1=1\text{m}$ mesafede A yüzeyi normal olarak ko-
nulsun (şekil 1). Yüzey A kareyi oluşturur ve ke-
narı x dir alanı ise x^2 dir. Eğer 1s zaman süresinde
ses dalgası A yüzeyinden 1J enerji taşır, ses şid-
deti tanımına uygun A'dan $I_1 = \frac{1}{x^2} \text{W m}^2$.

Bununla uygun, iki kat daha büyük mesafeyi in-
celeylim ($r_2=2\text{m}$) kare B ve kenarı $2x$ olsun. On-
dan 1s zaman süresinde ses dalgaının aynı enerjisi
taşınır. Tanıma göre ses şiddeti $4x^2$ yüzeyden
 $I_2 = \frac{1}{4x^2} \text{W m}^2$.



Şekil 1. Ses şiddetinin I azalması kaynaktan
mesafenin karesiyle

Şiddetlerin I_1 ve I_2 kıyaslanmasında kaynak-
tan mesafe 2 kez büyütülürse, ses şiddeti dör kez
azalır:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} \quad (4)$$

Geometrik etkenden (mesafeden) şiddetin
etkisini veren kanun eğer ses diğer etkenlerden
azalmazsa o zaman geçerlidir.

Elastik ortamdan geçen ses dalgası ortamın
direncinden enerjisinin bir kısmını ısıya dö-
nüştürür, diğer kısmı iç sürtünmeyi yenmesi için-
dir. Çünkü ses dalgası şiddeti amplitüt karesi ile
doğruorantılıdır, x kalınlıkta ortamdan geçerken
enerjinin absorbe edilmesi ile ses dalgasının şid-
deti azalır ve şöyle verilir:

$$I_x = I_0 e^{-\alpha x} \quad (5)$$

burada I_0 düşen dalga şiddeti dir, I_x kalınlığı x
olan maddesel ortamdan geçmek için ses şiddeti,
 α absorpsiyon sabitesi. Farklı maddesel ortamlar
için absorpsiyon sabitesi frekansa bağlıdır.

En iyi ses yalıtım özellikleri gözenekli mal-
zemelerde bulunur, polistiren, pamuk, sünger ve
gibileri. Ses bölmeleri yada ekranlar sestem ko-
runmak için kullanılan ses dalgalarının uzunlu-
ğundan büyük boyutlarda olmaları için gözünün-
de bulundurmaları gerekir. Aksi takdirde sesin kırıl-
masını olur ve ses ekran arkasından yayılır. İşitilen
ses aralığının havadaki dalga uzunluğu 1,7 cm ile 17
m aralıkta bulunur.

Gürültünün tehlikesinden korunulur öy-
leki hava alanının yakınlığında yüksek duvarlar ya-
pılır ve yanında bitkiler ekilir ve birkaç kez yansı-
ma yapmakla onların şiddetini azaltırlar. Buna
benzer caddeler etrafında büyük otlaklar ekilir.

İnsan gürültüden korunmak için cadde ke-
narlarından ve uçakalanlarından uzak yerlerde
bulunması gerekir. Evlerin yapılması esnasında
kullanılan malzemeler iyi ses yalıtkanları seçil-
mesi gerekir.

Korunma kanunu ile yüksek frekansların
izinli ses seviyesi 70 ila 80 dB, düşük ses frekan-
ları ses seviyesi 90-100 dB olmalıdır. Belirli odalar
mecburi yüksek sakinlikli odalar için ses seviyesi,
örneğin, hastanelerde 15 dB, kütüphanelerde 20
dB, yatak odalarında 20 dB ila 30 dB olmalıdır.

Gürültüyü farklı oluşturanların ses seviyesi
tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1.

Ses kaynağı	L(dB)
işitme seviyesi	0
1m uzaklıkta fısıldamak	20
normal konuşma	40
ortalama hareketli sokak	60
yüksek sesli konuşma, trafik	70
hareketli cadde, tren geçişi	90
jet uçak motoru (20m)	120

İnsanların gürültüden korunmaları için kent ortamlarında gürültünün ölçünmesi yapılır. Gürültünün ölçünmesi *sonometre* aracı ile ölçülür daha doğrusu *fonometre* (şekil 2). Onunla ses seviyesi belirlenir ve onun yüksekliği.



Şekil 2. Sonometre

ÖRNEK 1. Ses seviyesi 500m uzaklıkta bulunan reaktif uçağın motoru nekadardır, eğer ki 50m uzaklıkta ses seviyesi $L_1=140\text{dB}$ olduğuna göre ses şiddeti $I_1=100\text{ W/m}^2$ ise?

Çözüm: 500m uzaklıkta ses şiddeti denklem (4)'e göre şöyledir:

$$I_2 = I_1 \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2 = 100\text{ W/m}^2 \left(\frac{50\text{ m}}{500\text{ m}} \right)^2 = 1\text{ W/m}^2$$

Ses seviyesi:

$$L_2 = 10 \log \left(\frac{I_2}{I_{\min}} \right) = 10 \log \left(\frac{1}{10^{-12}} \right) = 120\text{ dB}$$

Elde edilen değer ağırlık sınırına uygundur. Buradan işçilerin işitme sistemi zedelenmeden reaktif uçağın motoruna risksiz yaklaşabilecekleri 500m enküçük mesafeyi oluşturur.

BİLGİNİ GENİŞLET

Mekaniksel titreşimler frekansları infrasesleri içerir ($f < 16\text{ Hz}$) ve sesin bir bölümü sasıntılara ve *titreşimlere* düşer.

İnsan vücudu bir birleşik osilatör gibi kütlesi, elastikliği ve sönümlüğü ile alınır. Vücudün her elementi öz frekansına sahiptir. Bu frekansların uyarılması taşıt araçlarında oluşur, osilatör makineleri yardımı ile çalışır yada üzerinde durduğu tabanın.

Rezonans olayları dış orta etkilerde, insan organizmasının sönümlülük sabitesi büyük olduğu için çok zor oluşurlar. Bu titreşimler rezonans yöntemi ile etki ederken, organizmada zedelenme oluşturular. Örneğin, göz elmacığının rezonansında görme keskinliği azalır. Hiçbir, uzun vadede ve şiddetli titreşim dokuların bozgunluğuna ve belli organların veya diğer hastalıklara sebep olmaz.

İnfraseslerden ve titreşimlerden korunma zor yapılır.

Sorular ve ödevler

1. A ve B noktaları yuvarlak ses kaynağı ile aynı doğru üzerinde yatarlar. A noktasında ses seviyesi 60 dB dir, B noktasında ise -50 dB. AB noktaları arasındaki mesafe $AB=5\text{m}$ dir. Ses kaynağı ve A noktası arasındaki mesafe nekadardır? (Cevap: 2,3m)

2. İki nokta arasında ses seviyesi nekadardır farklıdır eğer ses kaynağından 1m ve 10m uzaklıkta bulunursalar? (Cevap: 20 dB)

3. Ses kaynağından 5 m uzaklıkta ses seviyesi 100 dB dir. Ses seviyesi ses kaynağından 10m uzaklıkta nekadardır? (Cevap: $\approx 94\text{ dB}$)

22.5. CANLI ORGANİZMALARA İYONLAŞTIRICI IŞIMANIN ETKİSİ

İyonlaştırıcı ışımaya tüm canlı organizmalara kuvvetli etkisi vardır bakterilerden başlayarak ve virüslerden memelilere kadar. O etkinin karakteri ve nedenleri ışımaya dozuna ve türüne bağlıdır. Aynı bir ışımaya farklı organlara farklı etki eder. Canlı maddeye farklı kaynaklardan elde edilen iyonlaştırıcı ışımaya etki eder:

- **Kozmik ışınlar.** Kozmik ışımaya her yerde mevcuttur ve en önemli faktörlerden biri hayatın gelişmesi için önemli olan kendiliğinden mutasyonları oluşturur. Yüksekliğin artması ile kozmik ışımaya şiddeti de artar, hava trafiğindeki yolcularda radyasyonlu zedelenme riski artar. Böylece örneğin, New York-Paris yolculuğunda yolcunun alabileceği ortalama doz 30 µSv.

Süpersonik uçuşu 19km yükseklikte kozmik ışımaya dozu

- **Doğal radyoaktif kaynaklar.** Bunlar dünyaya kabuğunda genişçe yaygındırlar. Sık rastlanan ²³⁸U, ²³²Th, ²²⁶Ra ve onların parçalanma ürünleri, onlardanen sık radon Rn dur. Bu gaz şeklinde topraktan çıkar ve kapalı yerlerde birikir. Yukarıda anılan radyonuklidlerden, doğada radyoaktif ⁴⁰K ve radyoaktif izotoplar ¹⁴C ve ³H bulunur kozmik ışımaya ile bombarde edilerek oluşurlar.

- **Yemekte ve suda radyoaktivite.** Organizmaya yemek ve suyla çok sayıda radyonuklidler alınır ve bunların büyük bir kısmı organizma dokularında birikirler. Bunlardan en sık olanlar uranyum, torium, kalyum ve karbon dur. İkinci Dünya savaşından sonra nükleer denemelerinden sonra atmosfere büyük miktarda radyoaktif Sezyum ¹³⁷Cs serbeslendi ve toprak ve tüm biyolojik dünya bu maddeyle kirlenmiştir. Radyoaktif

⁹⁰Sr organizmada en fazla kemiklerde birikir kalisyum gibi ve uzun yıllar boyunca kalır. ¹³⁷Cs organizmada kısa sürede kalır ve düzgün bir şekilde yayılır. ¹³¹I kısavadedeli izotopu oluşturur tiroid bezinde birikir.

Her gıda ürünün daha çok veya daha az radyonuklidi vardır. En sık rastlanan ⁴⁰K, ²²⁶Ra ve ²³⁸U ve onların parçalanmış ürünleri. Tablo 2'de bazı gıda ürünlerinde ⁴⁰K ve ²³⁶Ra miktarı verilmiştir.

- **Işımaya maruz kalma.** Farklı etkinlikler için radyasyon hazırlıkları kullanırken, bu işle özel olarak uğraşan kişiler ışımaya altında maruz kalırlar. Radyografi araçları ile çalışırken, x-ışınları, neutron kaynakları, akseleratörler ve sayı. Bunlar nükleer santrallerde çalışan kişilere aittir.

- **Tıbbi teşhis ve tedavi esnasında ışımaya.** Teşhiste ve terapide bazı hastalıklara karşı kullanılır. Tıbbi ışımaya kullanılır: röntgen teşhis bakımında enyaygın tıbbi ışımaya. Gelişmiş ülkelerde her 1000 kişide 300 ila 900 bakım, bunlara dış çekimi ve akciğer radyografisi girmemiştir. Terapi dozları çok daha büyüktür, bu durumda onun ışımaya altında ne kadar kaldığı tahmin edilir.

Nükleer patlamalarında canlı ortam ¹³⁷Cs ve buna benzeri ⁹⁰Sr ondan sonra ²³⁹Pu ve ²⁴⁰Pu ile kirlenir.

İyonlaştırıcı ışımaya kaynakları gibi deneysel nükleer patlamaları da sayılır bir de nükleer santrallerin patlaması da.

Nükleer deneyler araştırma nedeniyle yıkıcı becerikliği için yapılır. Bunlar atmosferde, su altı ve su üzeri yapılır. Her ihtimale karşı, yapıldıkları ortamda canlı ortamı yok ederler ilerideki binlerce yılı için.

Örneğin, Nevada kenti Las Vegas'a yakın çölde, yeraltı nükleer denemeleri yapmıştır ve radyoaktif kirlenmesi o bölgede yapılmıştır hala geceleri arlamaktadır, buraya gelen ziyaretçiler yarım saatten fazla kalamazlar.

Dozimetre büyüklükleri ve onların birimleri

Işımanın etkisi maddesel ortama esasen canlı organizmalara kantitatif bir şekilde gösterilmesi için *absorbe dozu* ve *eşdeğer (ekvivalent) dozu*.

Absorbe dozu D kavramı ışınım (fotonlar, elektrikleşmiş parçacıklar, neutronlar) geçtiği ortamda bıraktığı toplam enerjiye denir. Işıma madde hacminden geçsin ΔV ve onun kütlesi Δm olsun, bu kütleyle ΔW_D enerjisini bırakır, hacimden çıkacak ışınım ΔW_D kadar daha az enerji vardır.

Ozaman absorbe dozu şöyle verilir:

$$D = \frac{\Delta W_D}{\Delta m} . \quad (1)$$

SI sistemden absorbe dozu birimi 1 Gy (**grey**) dir. Herhangi bir iyonlaştırıcı ışımadan absorbe edilen 1J enerji, ışınım ortamında 1 kilogram kütleyle verilen

$$1 \text{ Gy} = \frac{\text{J}}{\text{kg}} \text{ (grey)} .$$

Aynı ışınım enerjisi, biyolojik sistemden absorbe edilen farklı tür ışımalardan (α , β , γ ve diğer) aynı biyolojik etkileri yapmaz. Biyolojik zedelenmeler **eşdeğer dozu** H ile karakterize edilir. Şöyle tanımlanmıştır absorbe dozu D ve biyolojik kalite faktörü Q çarpımı:

$$H = D Q . \quad (2)$$

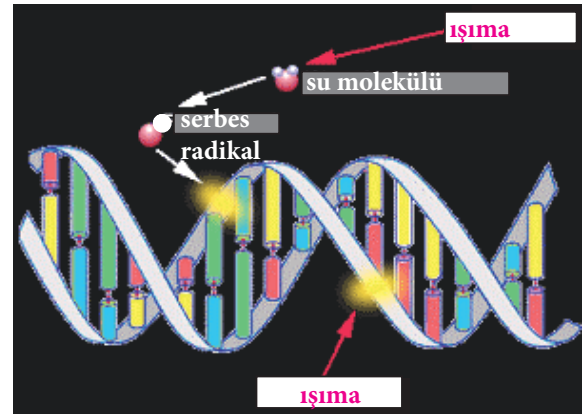
Biyolojik kalite faktörü Q verilen ışınımın radyasyon duyarlılığı ve röntgen ışınımında absorbe edilen aynı doz radyasyon duyarlılığından daha büyüktür yada $Q=1$.

Q boyutsuz bir büyüklük olduğu için eşdeğer doz boyutları absorbe doz boyutlarına eşittir. Fakat, 1 J/kg absorbe dozu ve 1 J/kg eşdeğer doz kalite olarak farklıdır: birincisi dozu enerjiler olarak karakterize eder, ikincisi biyolojik olarak. SI sisteme göre eşdeğer doz

$$1 \text{ Sv} = \frac{\text{J}}{\text{kg}} \text{ (sivert) }$$

Sivert eşdeğer dozu absorbe dozundan 1 Gy ve $Q=1$ belli özel iyonlaşma oluşturur.

Örneğin, absorbe dozu 10 Gy, hızlı neutronlardan ve kalite faktörü $Q=10$ olduğuna göre, 10 Sv eşdeğer dozuna uygundur. Neutronlar 10 kez daha büyük zedelenmeler oluşturular nitekim absorbe dozu röntgen yada γ -ışımadan alınan $Q=1$. Her iki olayda aynı enerji absorbe edilmiştir, eşdeğer dozu neutron ışımasından daha büyüktür ve dokularda daha büyük bozukluklar oluşturur. α parçacıklarda, ağır çekirdekler ve fisyon bölümleri ve fisyon parçaları $Q=20$.



Şekil 1. DNK molekülünün ışıma ile bozulma çeşitleri

Biyolojik değişimler ışınım sonucu olarak ilk sırada iyonlaştırıcı etkiye borçludurlar. İyon çiftlerin oluşması ve reaktif serbest radikallerin oluşması dönüşüm nedenidir ve kimyasal ürünlerin oluşması.

a etkisinde su molekülü ayrılır daha doğru su radyoliz oluşur ve reaktif serbes radikaller oluşur H^+ , OH^- ve HO_2 birde H_2O_2 . Bu radikaller diğer moleküllerle biyolojik sistemlere yanıt verirler ve yeni tür moleküller oluşur. Radikaller su karışımında organik molekülleri yanıtlarlar, onlardan H atomları alınır bazan molekülün bütün kısmı alınır. Böyle organik radikallerin davranışı biyolojik etkiye önemlidir diğer radikallerle reksiyonda bulunurlar.

Işıma nedenleri

Kendi doğasına göre, ışıma insan organizması için zararlıdır. Düşük dozlarda bile, ışıma değişimler yapar ve zamanla bunlar genetik değişimi yaparlar. Büyük dozlarda ışıma hücreleri yokeder, organları zedeler bile ölüme sebep olabilir. Büyük dozlu zedelenmeler birkaç saat sonra gösterilir, fakat kansere dönüşmesi için uzun zaman geçmesi gerekir. Kalıtsal deformasyonlar ve genetik bozulmalardan oluşan hastalıklar ilerideki nesillere miraz kalır.

Radyasyonun genetik nedenleri şöyle ayrılır: *hromozom aberasyonları ve gen mutasyonları*.

Hromozom aberasyonlar. Işıma **Mutasyonlar** hromozomunu sökerek hromozom abrasyonları oluşturur. Işıma mutasyonlar iki türlü oluşturur: *dolaysız* DNK baz çiftleride kimyasal değişimler oluşturmakla ve *dolaylı* daha büyük zedelenmeler oluşturur.

Akut etkileri memelilerde en iyi araştırılmıştır x veya γ -ışıması ile. Gelişmiş canlı varlığı tüm vücudu radyasyon etkisi altında kalır, özel değişimler organ dokularında oluşur.

100 Gy büyük dozlar merkez sinir sistemini zedeler ve ölüm bir yada iki gün sonra olur. Hastalık solunum güçlükleri ile başlar, hareketi kaybetmek, ve diğer. 9-100 Gy aynen tehlikeli dir.

Ölüm 3-5 gün sonra oluşur ve sindirim sisteminde zedelenmeler var, iştahı kaybetmek, kusmak, Depresyon. 3-9 Gy dozlarda kan hücrelerinde değişimler ve 10-15 gün sonra kanama, leukosit sayısının azalması ve sayı.

Toplam akut radyasyon yaralanması ışıma etkisi sonucu dur. Bu birleşmiş etkiye *akut radyasyon sendromu* denir.

Gecikmeli etkiler. Organizmalarda akut ameliyatlarından sonra akut yaralanması ışımadan ve uzun vadede ışıma altında kalmak, zamanla organ dokularında patolojik değişimler oluşur.

Kanser etkisi iyonlaştırıcı ışımadan oluşan daha ilk günlerde bilinir, daha sonraları insanda çok örneklerle tazdıkları. Işıma farklı tür kanserlere sebep olabilir.

İyonlaştırıcı ışımanın alınan dozuna tehlikeli etkinin bağlılığı için koyu kurallar vardır daha doğrusu *maksimum izinli doz* belli zamanda alınır. Bunlar sınırlı dozlar dırlar ve tehlikeli biyolojik etkileri ölçünemez. Meslek olarak ışıma altına kalan şahıslar (haftalık 40 saat) için yıllık 50mSv dir, Amatör gibi şahıslar için yıllık 1mSv dir.

Böyle düşük değerleri izinli dozun küçük radyasyon riski taşır, insan için ölüme neden olması tahmini çok azdır.

22.6. RADYOAKTİF ATIK

Radyoaktif atık problemi geniş problemlerin sadece bir segmentini oluşturur. İyonlaştırıcı ışın kaynakları bilimde geniş çapta uygulanırlar, teknikte, tıpta, endüstride, tarımda, araştırmada ve sayı. Onun elde edilmesi aynen onun uygulanmasıyla da radyoaktif atığı malzeme elde edilir. Tanıma göre *gerekmeyen ürün olarak ileride de radyoaktif tehlikesini taşır ve onun atılması uygun şekilde göre yapılır, taşınır ve depolanır.*

Radyoaktif atığı malzeme olarak özel aktivitesi (Bq/m³) kanunla verilen sınırdan daha büyüktür. Bundan dolayı tehlikeli etkisi en küçük kısmı bile biosfere ulaşması gerekmez. Radyoaktif atığı ile artık fizikçiler ve nükleer teknisyenler uğraşmaz. Bugün nükleer santraller ve radyoaktif atığı için hükümet ilgi gösterir, sivil kuruluşlar, endüstri ve kamu ilgilenir. Hepsinin amacı aynıdır: ortamın global korunmasıdır.

Radyoaktif atığı kalan etkinliğe göre sınıflanır, ışın türü, hal durumu, bir ışınım devam edilme süresi (yarıparçalanma süresi). Radyoaktif atığın böyle ayrılması önlemlerin alınması için yapılır.

Radyoaktif atığın aktivitesine göre şöyle ayrılır: 1. düşük, 2. orta, 3. yüksek radyoaktif.

Radyoaktif ışınımın zaman göre devam etmesi şöyle ayrılır: küçük yarıparçalanma periyodu (30 yıldan küçük) ve büyük yarıparçalanma periyodu (30 yıldan büyük).

Yarıparçalanma zaman göre ve kalan aktivite seviyesi ve serbeslenen enerji Uluslararası atom enerjisi kurmunun tavsiyesine göre şöyle sınıflandırılır:

I. Radyoaktif atığı yüksek seviyeli radyoaktivite ve büyük yarıparçalanma periyodu;

II. Radyoaktif atığı orta seviyeli radyoaktivite ve büyük yarıparçalanma periyodu;

III. Radyoaktif atığı düşük seviyeli radyoaktivite ve büyük yarıparçalanma periyodu;

IV. Radyoaktif atığı orta seviyeli radyoaktivite ve küçük yarıparçalanma periyodu;

V. Radyoaktif atığı düşük seviyeli radyoaktivite ve küçük yarıparçalanma periyodu.

Yüksek seviyeli radyoaktiviteli radyoaktif atığı büyük miktarda radyoaktif malzeme kapsar büyük ve küçük yarıparçalanma periyotlu. Böyle atık m³ alanda 2kW enerji üretir, büyük önlemlerin alınması gerekir. Böyle atık yeni süreci başlatacak objelerden gelir, onun soğutulmasına ihtiyaç duyulur, uzaktan yönetme. Bunlara yüksek radyoaktif kullanılan kaynaklar ve kullanılan nükleer yakıtı düşer.

Yüksek radyoaktif atığı nükleer reaktörlerin çalışmasında oluşur. Böyle bir reaktör 100MW bir yıllık çalışmasında yüzlerce ton radyoaktif atığı üretir ve reaktörden çıkarılır değiştirilmesi için. Bu çıkarılan malzeme hala uranyum içerir, onlarca kilogram plutonyum, 20-30 kg elementler aktanid gruplarından, 1000 kg diğer fisyon ürünleri. Bu radyoizotoplardan bazılarının uzun süreli yarıparçalanma periyodu vardır.

Orta seviyeli radyoaktiviteli radyoaktif atığı Bu atığın küçük ve büyük yarıparçalanma periyodu vardır. Bu atığın bir kısmı nükleer santrallerde yapılır, ondan sonra teknolojik süreçlerde farklı araçlarla, endüstride, tıpta ve sayı. Bu atık bir de nükleer santralin yıllık bakımı esnasında elde edilir. Burada araçlar, bezler, filtreler, dipteki kalıntı katmanlar ve sayı. Bu atık kalaylı depolarda depolanır ve betondan yapılmış yeraltı depolarda dizilirler. Depo dolunca tekrar çimento ile örtülür yani kapanır.

Düşük seviyeli radyoaktiviteli radyoaktif atığı yeterli radyoaktif malzemesini kapsar. Bunun taşınması ve depolanması için özel önlemler ve koruma gerekmez. Bu atık korunma araçlarından (eldivenler, kağıtlar, laboratuvar araçları) oluşur ve teknolojik süreçlerde kullanılır.

Bu atığı ellemek için özel koruma gerekmez. Önceleri böyle bir atık için özel ilgi gösterilme-

miş. Bugün ise bunun için özel prosedürler depolanması için var.

Radyoaktif atığı orta ve düşük seviyeli özel depolarda depolanır.

Radyoaktif atığı sıralanır ve yarıparçalanma periyoduna göre kısavadeli ve uzunvadeli atıklara ayrılır. Kısavadeli atık 100 ila 3000 yıldan daha uzun vadeli olamaz. Bu atığa giren radyonuklidlerin yarıparçalanma periyodları 30 yılı aşmaz (örneğin Cs-137).

Radyoaktif atığı koruma amacı nedir ve gerçekleştirilebilir mi?

Eğer radyoaktif atığı oluşturduğu risk kabullenir büyüklükte azalır, onun ortamdaki ve dış etkilerden yeterli uzun vade için yalıtılması gerekir.

Radyoaktif atığın tamamen çözülmesi için uygun bir yöntem bulunmamıştır (biosferden devredışı bırakılması yada radyoaktif elementleri olmayan elementlere dönüştürmek).

Radyoaktif atığı oluşturan organizasyonların korunmuş ve süreksiz depoları olması gerekir, örneğin, beton arme havuzları ve yeraltı sularının olmadığı yerlerde yapılmalı.

Şimdiye kadar bazı alternatif prosedürler mevcuttur:

- kapalı kablarda depolamak ve okyanusların derinliklerinde bırakmak;
- jeolojik sağlam yerlerde derinde gömmek.

Yüksek radyoaktif atığın depolanması için özel önemlidir. Reaktörler tarafından kullanılan yakıtına radyoaktif malzemelerin ayrılması için

yöntem uygulanabilir. Bu süreç çok pahalıya bedeldir. Her nasılsa uranyum ve plutonyumun ayrılması için hangi yöntem kullanılacak mühim değil, bu atık ilk önce nükleer santral etrafında durur taa ki sıcaklığını ve radyoaktivitesini kaybetmesin.

Hemende her ülkenin nükleer santral olan yeraltı depoları vardır radyoaktif atığı için. ABD çok sayıda nükleer santral bulunur ve radyoaktif atığı depoları vardır (askeri amaçlı nükleer objeleri için 70,000 tonluk kullanılmış yakıt deposu var ve 8000 ton radyoaktif atığı deposu var).

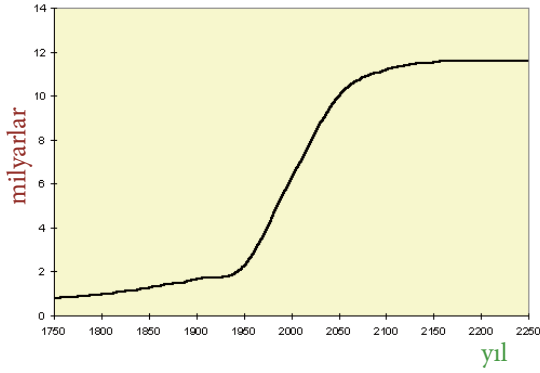
Sorular ve ödevler

1. Radyoaktif atığın ayrılması nasıldır?
2. Nükleer santralleri olan ülkelerde onun problemi nasıl çözülür?

22.7. ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARI

Enerji krizi

Dünya’ımızda en büyük problemlerden biri **nüfus artışı** oluşturur. Bilgilere göre dönemin son 300 yılında nüfus artışı çok büyüktür*. Çok sayıda araştırmacıya göre, dünya nüfusunun artışını gösteren eğri şekil 1’de gibidir. Bugün Dünya gezegeni nüfüsü 6 milyar üzeri dir. Tahminlere göre ilerideki 100 yılda artış kontrol altına alınacak ve durdurulacak.



Şekil 1. Dünya nüfusunün çoğalması 1750 den 2000 kadar ve ilerideki 250 yıl için tahminler

Aynı zamanda, hesaplara göre gıda üretim ve enerji bu gelişmeyi takip edemezler ve dünyada fukaralık hüküm sürebilir.

Enerji krizi nüfusun çoğalması ile meydana çıkan ve kalıtım yakıtın bitme sınırına gelmesi. Dünyada elektrik enerji üretimi karbon, petrol ve suya dayanır.

Bu esnada elektrik enerjisi birkaç enerjetik dönüşümünden elde edilir. Örneğin, bir termosantralde enerji birkaç dönüşümden elde edilir. Önceleri, güneş enerjisi fotosentez süreci ile biyolojik enerjiye dönüşür, ve sonraları kalıtım yakıtı olur. Kalıtım yakıtın yanması (kimyasal reaksiyon) sıcaklık enerjisi serbezlenir. Bu suyu ısıtır (sıcaklığın taşınması). Su buharı türbini döndürür (mekanik enerji), üçfazlı jeneratör yardımı ile, elektrik enerjisine dönüşür. Elektrik enerjisinin böyle yoldan elde edilmesi uzundur, her nasılsa en ekonomiktir.

Nükleerle benzer, atom nükleonlarındaki enerji, sıcaklık enerjiye döner, suyu ısıtır, sonra su buharı elektrik türbinlerini hareket ettirir.

Diğer güçlüklerden bu iki yöntem yaşama ortamını da kirletir, biri duman ve aşırı derece karbon dioksit, diğeri ise nükleer atığı ile.

Alternatif yöntemler vardır o da Güneş enerjisini istifade etmek. Bitmeyen bir enerji kaynağıdır, her gün her metre kareye verilir.

Sıcak su için düz toplayıcılar

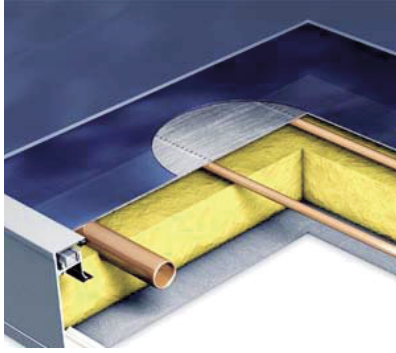
Basit güneş toplayıcıları sıcak su için vardır ve elektrik enerjinin harcam enerjisinini azaltırlar. Öyle bir toplayıcışekil 2’de gösterilmiştir. Güneş ışığı absorbe sabitesi yüksek olan malzemedeyakalanır. Işık sıcaklığa dönüşür. Bakır boruları ile su veya diğersıvı absorbe ettikleri sıcaklığı verirler.

* eğrinin matematik şeklini daha geç öğreneceksiniz, grafiksel 1750 ve 2000 yılları arasına benzer, şekil 1.



Şekil 2. Sıcak su için Güneş toplayıcıları

Toplayıcı yalıtılmış bir termoyalıtkan dır, sıcaklık kaçmamak için sistemden. Üst kısmında cam bulunur, sıcaklık enerji kaybı olmaması için (şekil 3).

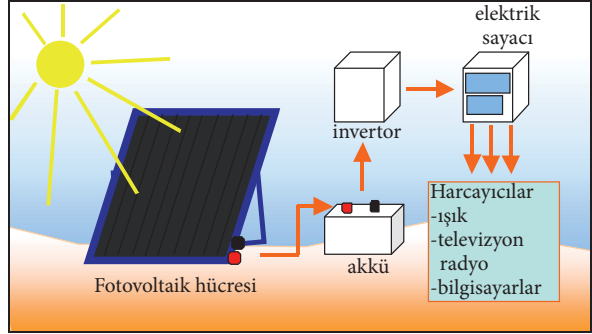


Şekil 3. Düz toplayıcının yapısı

Fotovoltaikler

Güneç enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren araçlar yapılmıştır. Bunlara fotovoltaikler (ışığı gerilime dönüştüren araçlar) denir. Bunlarda dönüştürme dolaysızdır: Güneş enerjisi kaynak gibi dolaysız elektriğe dönüşür. Fotovoltaik hücreleri (şekil 4) gösterilmiştir ve anında herhangi bir aracın bağlanması sağlanır, yada bir akü bağlanır akımla dolması için. Böylece yedeklenen elektrik enerjisi akkude daha sonra kullanılır güneş olmadığı zaman kullanılır.

Fotovoltaikten elde edilen gerilim harcıyıcı ile bağlanır ve kullanım işe dönüşür: ışık, ses, resim, bilgisayar ve sayı.



Şekil 4. Fotovoltaik elektrik enerjisinin yedekleme imkanı

Güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürme havayı kirletmemek ve gürültüsüz şrtı ile, fotovoltaik hücreleri bunu yapar ve doğayla mutlak arkadaş sayılırlar.

Fotovoltaikler yarıiletkenlerden yapılırlar, pano üzerinde cam ve plastik yüzeyi var. Fotovoltaik dönüşümün aslı güneş ışınları elektronboşluk çifti oluşturur bir pn temasında, bununla daha önceden tanışmıştık. Fotovoltaikler yüksek teknoloji dirler ve sadece küçük sayıda yüksek endüstrilemiş ülkelerde üretilir. Böyle bir pano, ev şatısına monte edilen şekil 5'te verilmiştir.

Fotovoltaiklerdeki problem termosantralleri ve nükleer santralleri bir kilovat saat enerjisi fiyatı ile yenmesi gerekecek. Fiyatar voltaiklere yaklaşıncı ozaman ciddi manada kullanımı sağlanacak dünya çapında elektrik enerjisi üretimi için.



Şekil 5. Fotovoltaik panosunun çatıda monte edilmesi



Şekil 6. Rüzgar-türbini

Makedonya Cumhuriyetinde yılda güneşli günler sayısı çoktur, ve güneş enerjisini istifade etme için çok uygundur. Son yıllarda güneş toplayıcılarının sayısında artış vardır. Fotovoltaik teknolojisini kullanmak için ülkemizde yıllar öncesi imkanlar sağlanmıştır, öyleki her üretilen kilovat saat 10 kez daha büyük fiyatı vardır diğer şekilde üretilen elektrik enerjisi fiyatlarına göre.

Enerji ve rüzgar

Dünyada bazı düz arazilerde, rüzgarın estiği yerler tüm yıl boyunca rüzgar ile elektrik enerji üretimi için uygundur. Bu amaç için rüzgarlı türbinler monte edilir ve jeneratörlere bağlanırlar. Bir tanesi şekil 6'da verilmiştir.

Aşağıdaki kavramların anlamını verin:

- dünya nüfüsü
- enerji krizi
- kalıtım yakıtı
- alternatif kaynaklar
- sıcak su güneş toplayıcıları
- fotovoltaikler
- rüzgar-türbinler.

Sorular, ödevler, etkinlikler

1. Bir sıcak su için güneş toplayıcısı tasarlayın: siyah boruyu sabitleyin zik-zak yada spiral şeklinde, alüminyum folyası ile sarın. Plak Güneşe baksın, boruyu suyla doldurun. Sıcak su başlangıçta ve bir saat sonra ölçün. Sıcak su farkı nedir?

2. Çevre gerekçesi için ekolojikdüzyazı yazın ve Makedonya Cumhuriyetindeki var olan potansiyel Güneş enerjisini kullanmak için. Üretilen elektrik enerji alternatiflerle kıyaslayın.