LISE BIRINCI SINIFLAR İÇİN FİZİK DERS KITABI

FİZİK I

Zoran Stankoviç
Melita Stankoviç
Marija Velevska

lamina

FİZİK I, Lise Birinci Sınıflar için Fizik Ders Kitabı
Telif hakları © 2025 Ars Lamina

Yayınevi
Ars Lamina – yayıncılık, Üsküp 2025

Editör
Branka Bugariska

Yazarlar
Zoran Stankoviç
Melita Stankoviç
Marija Velevska

Bilimsel redaksiyon
Doç. Dr. Jana Bogdanoska, Fizik Enstitüsü, Fen-Matematik Fakültesi, Üsküp "Aziz Kiril ve Metodiy" Üniversitesi

Makedoncadan çeviri
(„ФИЗИКА I, учебник по предметот Физика за прва година гимназиско образование", Арс Ламина 2025)
Ahmet Osmani

Dil redaksiyonu
Önder Özgürlü

Tasarım
Pointer Creative Agency

Grafik ve teknik düzenleme
Ars Lamina – yayıncılık

Baskı
Ars Lamina, Üsküp 2025

Tiraj
220

Tüm hakları saklıdır. Bu kitabın hiçbir bölümü, yayınevinin yazılı izni olmadan herhangi bir şekilde veya herhangi bir yolla, elektronik ya da mekanik, fotokopi, kayıt veya arşivleme sistemi dâhil olmak üzere, çoğaltılamaz veya aktarılamaz.

Bu ders kitabı, Kuzey Makedonya Cumhuriyeti Eğitim ve Bilim Bakanlığı'nın 25.08.2025 tarihli ve 26-992/1 sayılı "Lise birinci sınıf Fizik dersi için ders kitabının onayı ve kullanımı" kararı ile ortaöğretim liselerinde kullanım için onaylanmıştır

CIP - Каталогизација во публикација

Национална и универзитетска библиотека «Св. Климент Охридски», Скопје

53(075.3)=512.161

STANKOVIÇ, Zoran

Fizik I : lise birinci sınıflar için fizik ders kitabı / Zoran Stankoviç, Melita Stankoviç, Marija Velevska ; [makedoncadan çeviri Ahmet Osmani]. - Üsküp : Ars Lamina – yayıncılık, 2025. - 263 стр. : илустр. ; 26 см

Превод на делото: Физика I : учебник по предметот Физика за прва година гимназиско образование. - Библиографија: стр. 263

ISBN 978-608-280-189-6

1. Stankoviç, Melita [автор] 2. Velevska, Marija [автор]

COBISS.MK-ID 67006469

ÖNSÖZ

Fizik, doğa bilimlerinin temel taşlarından biridir. Doğayı evrensel yasalar aracılığıyla inceler ve en küçük parçacıklardan galaksilere kadar dünyaya ilişkin insan anlayışını sürekli derinleştirir. Elindeki bu ders kitabı, bilimin temelini oluşturan keşif, mantıksal düşünme ve araştırma dünyasına seni tanıtmak amacıyla hazırlanmıştır.

Bu ders kitabı, lise bir sınıfı öğrencileri için hazırlanmış olup öğretim programıyla uyumludur. İçerikler, merak uyandıran, analitik düşünmeyi geliştiren ve kesin gözlem, ölçme ile bilimsel yöntemi kullanma alışkanlıklarını kazandıracak biçimde işlenmiştir. Günlük yaşamdan çeşitli örnekler, pratik alıştırmalar ve deneysel etkinlikler sayesinde öğrenciler fiziksel kavramların doğasını daha kolay anlayabileceklerdir.

Kitap, bilimsel yöntemin temellerini, ölçü birimlerini ve fiziksel büyüklüklerin temellerini, bilimin varlığı için vazgeçilmez araçları açıklayan konularla başlar. Devamında mekanik hareket, kuvvetler, enerji ve dinamik yasalar gibi klasik fiziğin temellerini oluşturan konular ele alınır. Özellikle, araştırma becerilerinin geliştirilmesine, gerçek yaşamdan örnekler ve bağımsız düşünme görevleriyle özel önem verilmiştir.

Bu kitabın, yalnızca Fizik dersinin içeriklerinde değil, bilim insanlarının düşünme biçiminde de sana rehber olmasını umuyoruz. Seni soru sormaya, deney yapmaya, keşfetmeye ve doğaya farklı gözlerle, gündelik olguların ardındaki mantık ve yasaları arayan gözlerle, bakmaya teşvik etsin.

Sonuç olarak, fizik sadece formüller ve teoriler toplamı değildir – o, dünyayı anlama biçimidir. Bu kitabın sayfalarında ilham verici bir yolculuk dileriz.

Yazarlar

İÇİNDEKİLER

KONU 1: Fiziğin Bilimsel Yönteminin Temelleri

1.1 Uluslararası Ölçü Birimleri Sistemi 12

Fiziksel Büyüklükler 12
Temel ve Türemiş Fiziksel Büyüklükler ve Birimleri 13
Skaler ve vektörel fiziksel büyüklükler 14

1.2 Bilimsel araştırma 17

Marko'nun Araştırması: Düşen Cisimler 17
Bilimsel Yöntemin Aşamalar 19
Bilimsel Araştırma için Temel Kavramlar ve Tanımlar 20
Bilimsel Sonuçların İşlenmesi 20

Özet 25

KONU 1: NE KADAR ÖĞRENDİĞİNİ KONTROL ET 26

KONU 2: Kuvvetler ve Hareketler

2.1 Mekanik hareket 30

Mekanik Hareket, Referans Sistemi, Referans Cismi 30
Hareketin Göreliliği 31
Madde Noktası 31
Yörünge, Kat Edilen Mesafe, Yer Değiştirme 31

2.2 Düzgün doğrusal hareket 35

Düzgün Doğrusal Hareket Sırasında Cismin Konumu ve Hızı 35
Zamana Göre Cismin Konum Grafiği 37
Düzgün Doğrusal Hareket Sırasında Alınan Yolun Grafiği 40
Düzgün Doğrusal Hareket Sırasında Hız Grafiği 41

2.3 Düzgün Hızlanan Doğrusal Hareket 45

Ortalama Hız 45
Anlık Hız 47
İvme 47
Düzgün İvmeli Doğrusal Hareket 48
Eşit İvmeli Doğrusal Harekette Hız Kanunu 49
Düzgün İvmeli Doğrusal Hareket İçin Hız Grafiği 49

Deney: Eğimli bir düzlemde yuvarlanan bir topun hızının ve ivmesinin ölçülmesi..

Özet **58**

2.4 Cisimlerin Karşılıklı Etkileşimi. Kuvvet ve Kuvvetin Etkileri **59**

Kuvvet 59
Kuvvetin Etkileri 60
Kütle 61

2.5 Kuvvet Çeşitleri **63**

Yerçekimi Kuvvetleri 63
Elastik Kuvvetler 65
Ortam Direnci Kuvvetleri Sürtünme Kuvveti Neden Oluşura 70
Sürtünme Kuvvetinin Olumsuz Etkileri 71
Kuvvet Diyagramı 76
Bileşke Kuvvetleri ($\vec{F}_R$) 78

2.6 Newton'un yasaları **81**

Newton'un Birinci Yasası 81
Eylemsiz Referans Sistemleri 82
Cisimlerin Eylemsizliğinin Ölçüsü Olarak Kütle 82
Newton'un İkinci Yasası 84
Kuvvet Etkisi Altında Cismin İvme Grafiği 84
Newton'un Üçüncü Yasası 86
Kuvvet Çeşitleri ve Newton Yasaları ile Problem Çözümü 89

2.7 Cismin Momemtumu ve Momentumun Korunumu Yasası **99**

Cismim Momentumu 99
İtme Kuvveti 100
Momentumun Korunumu Yasası 102

Özet **105**

2.8 Dairesel Hareket **106**

Düzgün Dairesel Hareket, Doğrusal Hız, Periyot ve Frekans 106
Açısal Dönüş ve Açısal Hız 108
Merkezcil İvme 109
Teğetsel İvme ve Açısal İvme 112

2.9 Yerçekimi **118**

Yerçekimi İvmesi 120
Güneş Sisteminde Gezegenlerin Hareketi _ 122
Kütleçekimi Alanı ve Kütleçekim Alanının Şiddeti? 123

2.10 Bir Cismin Dünya'nın Yerçekimi Alanındaki Hareketi ve Durumu **128**

Serbest Düşüş 129

Dikey Atış 130
Yatay Atış 133
Yüksekten Düşme 136
Ağırlıksızlık Durumu 141
Tepkisel Hareket 143
Birinci Kozmik 147

Özet **152**

2.11 Kuvvetin Döndürme Etkisi **154**

Kuvvetin Döndürme Etkisi 154
Mutlak Rijit Cisim Sabit Bir Eksen Etrafında Mutlak Rijit Cismin Dönme Hareketi 154
Kuvvet Momenti 154
Kuvvet Çifti Momenti 157
Dönme Hareketi Dinamiğinin Temel Yasası 158
Açısal Momentum 165
Açısal Momentumun Korunumu Yasası 167

Özet **172**

KONU 2: NE KADAR ÖĞRENDİĞİNİ KONTROL ET **174**

KONU 3: Enerji

3.1 Mekanik enerji **180**

Kinetik Enerji 180
Potansiyel Enerji 181

3.2 İş ve güç **186**

Mekanik İş 186
İş ve Kinetik Enerji 188
İş ve Potansiyel Enerji 192
Güç 194
Makinelerin Verimlilik Katsayısı 194

3.3 Enerjinin Korunumun Yasası **197**

Konservatif Kuvvetler ve Konservatif Kuvvetlerin Yaptığı İş 197
Mekanik Enerjinin Korunumu Yasası 198
Konservatif Olmayan Kuvvetler 200
Enerjinin Korunumu Yasası 200

Özet **205**

KONU 3: NE KADAR ÖĞRENDİĞİNİ KONTROL ET 206

KONU 4: Akışkanlar

4.1 Basınç ve Basıncın Akışkanlarda İletilmesi 210
Akışkanların Temel Özellikleri 210
Basınç ve Basınç Kuvveti 211
Paskal Yasası 213
Basınç Kuvveti 213
Hidrolik – Paskal Yasası Aksiyonda 215
Hidrolik Makineler 216

4.2 Hidrostatik Basınç 220
Bilimsel Araştırma 220
Hidrostatik Paradoks 224

4.3 Kaldırma Kuvveti. Arşimet Kuvveti 230
Kaldırma Kuvveti 230
Arşimet Yasası 230
Yüzme, Batma ve Yüzeyde Kalma 232
Arşimet Yasasının Pratikte Uygulanması 236

4.4 Süreklilik Denklemi. Bernuli Denklemi 242
Süreklilik Denklemi 243
Bernuli Denklemi 246
Bernuli Denklemi için Örnekler 248

Özet 254

KONU 4: NE KADAR ÖĞRENDİĞİNİ KONTROL ET 256

EK BİLGİ 259
Ek Bilgi 1: Vektörler ve vektör işlemleri 259
Ek Bilgi 2: Trigonometrik Fonksiyonlar 261
Ek Bilgi 3: Güneş, Dünya ve Ay'ın bazı özellikleri 262
Ek Bilgi 4: Fizikte kullanılan alfabe 262

Kullanılan Kaynaklar 263

Bu Ders Kitabı Nasıl Kullanılır

Ana konu
Her konunun başında onun başlığı verilmiştir. Bu başlık sana tam olarak ne öğrendiğini ve konunun ana fikrinin ne olduğunu gösterir.

Bu konudaki içerikler
Burada konunun içinde yer alan tüm dersler belirtilmiştir. Bu bölüm, nelerin incelendiğini ve konunun nasıl düzenlendiğini görmene yardımcı olur.



Konuya giriş
Bu bölümde öğrendiklerinizi ve konu ile ilgili en önemli olan şeyleri kısaca özetlemelisiniz

Amaçlar:
Konuyu öğrendikten sonra edineceğiniz bilgi ve beceriler aşağıda listelenmiştir.

Ana içerik
Bu, ders kitabının en önemli bölümüdür. Burada konunun içeriğini açıklayan ana metni, fizik yasalarını tanımlayan formülleri ve bunları daha kolay anlamana yardımcı olacak birçok resim ve grafik bulacaksın.

Tanımlar
Tanımlar, önemli kavramların açık ve kısa açıklamalarıdır. Bunlar özellikle daha kolay fark etmen ve hatırlaman için ayrılmıştır.



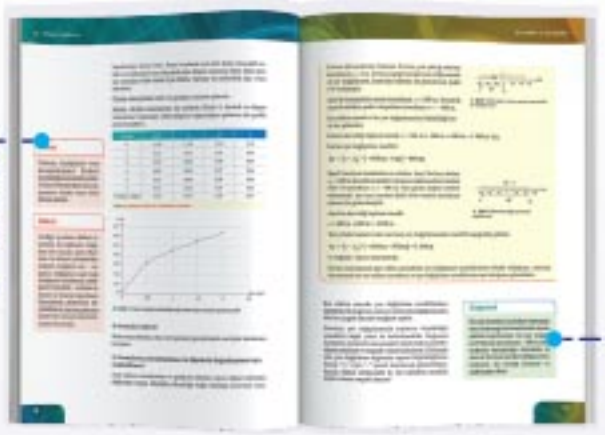
Çözülmüş örnekler
Öğrenci kitabında birçok tam çözümlü örnek bulacaksınız. Bunlar, yeni konuyu daha kolay anlamanıza yardımcı olacak ve problemleri nasıl doğru bir şekilde çözeceğinizi gösterecektir. Benzer problemleri kendi başınıza çözerken de faydalı bir rehber olacaktır.

Bir bilim insanı gibi düşünün
Bu bölümde, tek başına ya da bir grup içinde yürütmen gereken bilimsel araştırmada izlemen gereken adımlar verilmiştir.

Bu iki bölüm, bilim insanlarının düşünme biçiminde senin rehberin olacak ve sana soru sormayı ve deney yapmayı teşvik edecektir.



Deney
Öğrenci, sınıfta gerçekleştirdiğiniz çeşitli deneylere katılır.
Her deneyde; yapılacak iş, gerekli malzemeler, yapılacak işin adımları, sonuçların nasıl organize edileceği ve sonuçlara daha kolay ulaşmanızı sağlayacak sorular açıkça belirtilir.

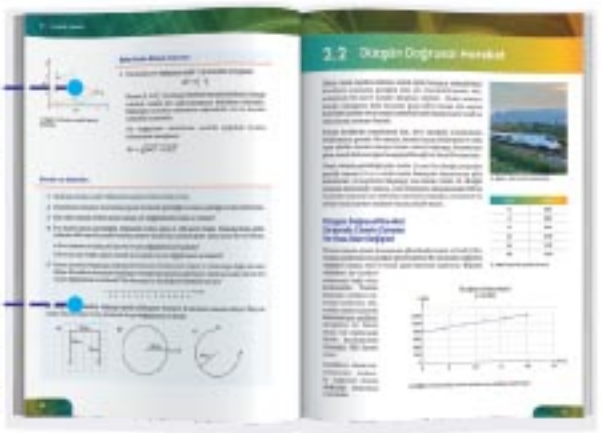


Dikkatli ol
Ayrıca eğitim sırasında özellikle dikkat etmeniz gereken bazı önemli bilgiler de var.

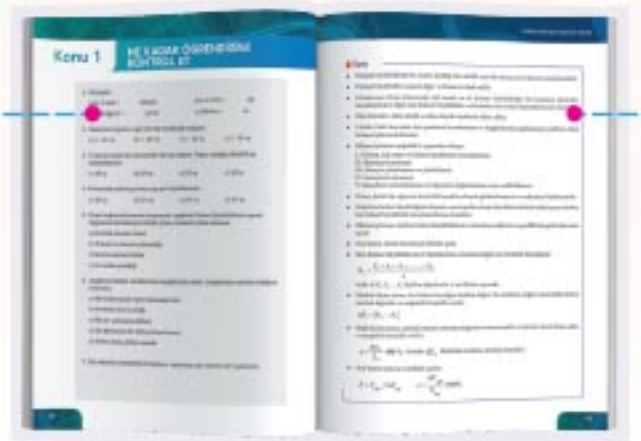
Bir düşünün.
İçeriğin kendisinde de cevaplamanız gereken bazı sorular var.

Daha fazlasını istiyorsun
Her dersin sonunda, bilginizi genişletecek ek bilgiler bulacaksınız. Bağımsız olarak araştırma yapmanızı ve temel içerikte verilenlerden daha fazlasını öğrenmenizi teşvik ederler.

Sorular ve cevaplar
Her dersin sonunda öğretmenin sorularını bulacaksınız. Bu sorular, derste veya evde bağımsız çalışmanız için tasarlanmıştır. Bu sorularla dersi ne kadar iyi öğrendiğinizi ve neleri tekrarlamanız gerektiğini kontrol edebilirsiniz.



Her konunun sonunda **ne kadar öğrendiğinizi kontrol edin**
Konunun tamamına ne kadar hakim olduğunuzu kontrol etmenize yardımcı olacak sorular bulacaksınız. Bu sorular düşünmeyi ve Konuyla ilgili daha önceki derslerde edindiğiniz bilgileri tekrar edin.



Mod
Bazı konuların sonunda veya birkaç dersten sonra ikinci konuda kısa bir özet yer alıyor.
En önemli tanımları, formülleri ve anahtar terimleri içerir. Ana hatlar, konuyu daha kolay gözden geçirmenize ve hatırlamanıza yardımcı olacaktır.

Konu 1

FİZİĞİN BİLİMSEL YÖNTEMİNİN TEMELLERİ



Bu konudaki içerikler:

1. Uluslararası Birim Sistemi
2. Bilimsel Araştırma

Fizik, evrenin işleyişini belirleyen temel yasaları inceleyen temel bir doğa bilimidir. Maddeyi, enerjiyi ve onların karşılıklı ilişkilerini inceler, böylece atomdan Kozmosa kadar her şeyi anlamamızı sağlar.

"Fizik" kelimesi, Eski Yunancadaki "φύσις" (fysis) anlamına gelir ve "doğa" anlamına gelir. Onun amacı, doğa olaylarını evrensel yasalar aracılığıyla açıklamak ve tanımlamaktır. Bu yasalardan bir kısmı seni bilimin dünyasına tanıtacak olan bu ders kitabında ele alınacaktır.

Amaç:

- Ölçüm büyüklüğünü belirlemek için ölçü birimlerini adlandırmak.
- Skaler ve vektörel büyüklükler arasında ayrım yapmak ve bunların kullanımını gerekçelendirmek.
- Bir deneme veya simülasyon yoluyla araştırma tasarlamak ve yürütmek, verileri işlemek ve sonuçları sunmak, bu sırada bilimsel yöntemi uygulamak.



1.1 Uluslararası Ölçü Birimleri Sistemi

Mesafe, zaman veya kütle ölçülüp nicel olarak tanımlanamazsa bunlardan bahsedebilir misin? Ölçüm olmadan bir şehrin ne kadar uzak olduğunu, bir filmin ne kadar sürdüğünü veya iletkenlerden ne kadar akım geçtiğini kesin olarak bilemezdik. Bu durumda, fizik de dâhil olmak üzere herhangi bir bilim, gerçekliği bilimsel biçimde açıklayamazdı.

Fiziksel Büyüklükler

Fizikte, etrafımızda gördüğümüz olayları ve gerçekleşen olguları tanımlamak için **fiziksel büyüklükleri** kullanırız – örneğin, cisimlerin nasıl hareket ettiğini, boyutlarının ne kadar büyük olduğunu, kütlelerinin ne kadar olduğunu, bir olayın ne kadar sürdüğünü vb.

Fiziksel büyüklüklere örnekler: hız, ivme, zaman, kuvvet, enerji vb.

Fiziksel büyüklüklerin kendi sembolleri vardır ve bunlar genellikle o büyüklüklerin Latince veya Yunanca isimlerinin ilk harflerinden alınır ve el yazısı eğik (italik) Latin harfleriyle gösterilir..

Örnek

v (*velocitas* – hız), a (*acceleration* – ivme), t – (*tempus* – zaman), F (*fortis* – kuvvet), E (*energia* – enerji) vb.

Fiziksel büyüklükler, bir cismin herhangi bir özelliğini, niteliğini veya sürecini nicel olarak tanımlayabilen kavramlardır.

Fiziksel büyüklükler ölçülebilir (Şekil 1), sayısal bir değer ve uygun bir ölçü birimi ile ifade edilir.



▲ Şekil 1. Bir kumpasla uzunluk ölçümü

Belirli bir fiziksel büyüklüğü ölçmek, onu aynı türden ve büyüklüğü ölçü birimi olarak şartlı kabul edilen bir fiziksel büyüklükle karşılaştırmak anlamına gelir.

Ölçüm sonuçları, fiziksel büyüklüğün **sayısal değeri ve bir ölçü birimi ile kaydedilir**. Örneğin, arabanın hızı $v = 54$ km/h.

Doğadaki olayları tanımlayan fiziksel büyüklükler aksine, ölçü birimleri uzlaşım ile oluşturulur.

Temel Ve Türemiş Fiziksel Büyüklükler Ve Birimleri

Fiziksel büyüklüklerin ölçü birimleri her ülkede farklı olsaydı, bu durum özellikle bilim, ticaret ve sanayide çok fazla kafa karışıklığına, hataya ve yanlış anlamaya yol açardı. Aynı fiziksel büyüklük için birden fazla ölçü birimi olur ve bu bazen ciddi sonuçlara yol açmış olurdu. 1999'daki NASA görevlerinden biri de buna güzel bir örnektir (Şekil 2).



▲ **Şekil 2.** Mars Climate Orbiter uydusunun çizimi – 1999 yılındaki başarısız görev, ölçü birimlerindeki uyumsuzluk nedeniyle 125 milyon dolara mal oldu.

Uluslararası Birimler Sistemi (SI), dünyanın aynı standart ölçü birimlerini kullanmasını sağlamak amacıyla Ekim 1960'ta Paris'te oluşturulmuştur. Sürekli olarak geliştirilmekte ve yenilenmektedir.

Bu sistem şunları sağlar:

- hassasiyet, ölçümlerin tutarlılığı,
- verilerin kolayca karşılaştırılması ve
- sonuçların ve bilgilerin daha kolay anlaşılması.

Fiziksel büyüklükler ve ölçü birimleri iki gruba ayrılır: **temel** ve **türetilmiş**. Uluslararası Birimler Sistemi (SI), yedi temel ve iki ek fiziksel büyüklük ve ölçü birimi tanımlar. Diğer tüm fiziksel büyüklükler ve ölçü birimleri, bu temel ve ek fiziksel büyüklüklerden türetilir. Uluslararası Birimler Sistemi'nde tanımlanan temel fiziksel büyüklükler ve ölçü birimleri Tablo 1'de verilmiştir.

Fiziksel büyüklükler		Birimler	
İsim	Semböl	İsim	Semböl
Uzunluk	l	Metre	m
Kütle	m	Kilogram	kg
Zaman	t	Saniye	s
Termodinamik sıcaklık	T	Kelvin	K
Elektrik akımının yoğunluğu	I	Amper	A
Işık yoğunluğu	J	Kandela	cd
Maadde miktarı	n	mol	mol

Tablo 1. Temel fiziksel büyüklükler ve birimleri.

Fiziksel büyüklükler		Birimler	
İsim	Semböl	İsim	Semböl
Düzlem açısı	Θ	radyan	rad
Katı açısı	Ω	stedyan	sr

Tablo 2. Ek fiziksel büyüklükler ve birimleri.

Uluslararası Birimler Sisteminde tanımlanan ek fiziksel büyüklükler ve bunların birimleri Tablo 2'de verilmiştir.

Birimleri temel büyüklükler üzerinden ifade edilen diğer tüm fiziksel büyüklüklere, **türetilmiş fiziksel büyüklükler** denir.

Örneğin, hız ve ivme türetilmiş fiziksel büyüklüklerdir çünkü onların birimleri uzunluk ve zaman birimleri üzerinden ifade edilir. Hızın birimi m/s, ivmenin birimi ise $\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$ dir.

Örnek

Bir ağacın yüksekliği 2,5 m olarak ifade edilebileceği gibi 250 cm olarak da ifade edilebilir. Bir otomobilin hızı 20 m/s olarak belirtilebildiği gibi 72 km/h olarak da belirtilebilir. Metre ve santimetre, yüksekliği yani uzunluğu ifade etmek için kullanılan farklı birimlerdir; metre/saniye ve kilometre/saat ise fiziksel büyüklük olan hızı ifade etmek için kullanılan farklı birimlerdir.

Bununla birlikte, bilimde bazı sistem dışı birimler de kullanılır. Örneğin, zaman için dakika (min), saat (h), gün (d) ve yıl için (a) kullanılır. Bu nedenle, belirli bir fiziksel büyüklük için farklı birimler kullanılabilir.

Bilimde ve günlük hayatta, ölçü biriminin adına bir önek ekleyerek elde ettiğimiz giderek büyüyen birimler kullanırız. Önekler, önek içeren birimin, önek içermeyen birimden kaç kat büyük veya küçük olduğunu gösterir. Tablo 3, en sık kullanılan önekleri, sembollerini ve belirli bir önekin yerine geçen çarpanı listeler.

Çarpan	Önek	Semböl	Çarpan	Önek	Semböl
10^{18}	eksa	E	10^{-1}	desi	d
10^{15}	peta	P	10^{-2}	santi	c
10^{12}	tera	T	10^{-3}	milli	m
10^{9}	giga	G	10^{-6}	mikro	μ
10^{6}	mega	M	10^{-9}	nano	n
10^{3}	kilo	k	10^{-12}	piko	p
10^{2}	hekto	h	10^{-15}	femto	f
10^{1}	deka	da	10^{-18}	ato	a

Tablo 3. Kasıtlı birimler için majör ve minör önekler, sembolleri ve çarpanları

Çözülmüş örnek

Verilen fiziksel büyüklük değerlerini uygun ölçü birimlerine dönüştürün.

a) $43\,m^2 =$ $\quad cm^2$ b) $20\,\frac{kg}{m^3} =$ $\quad \frac{g}{cm^3}$ c) $505\,\frac{g}{cm^3} =$ $\quad \frac{kg}{m^3}$

Çözüm:

a) $43\,m^2 = 43\cdot\left(10^2\,cm\right)^2 = 43\cdot10^4\,cm^2$

b) $20\,\frac{kg}{m^3} = 20\cdot\frac{10^3\,g}{\left(10^2\,cm\right)^3} = \frac{20\cdot10^3\,g}{10^6\,cm^3} = 20\cdot10^3\cdot10^{-6}\,\frac{g}{cm^3} = 20\cdot10^{(3-6)}\,\frac{g}{cm^3} = 20\cdot10^{-3}\,\frac{g}{cm^3}$

c) $505\,\frac{g}{cm^3} = 505\,\frac{10^{-3}\,kg}{\left(10^{-2}\,m\right)^3} = 505\,\frac{10^{-3}\,kg}{10^{-6}\,m^3} = 505\cdot10^{-3}\cdot10^{6}\,\frac{kg}{m^3} = 505\cdot10^{(-3+6)}\,\frac{kg}{m^3} = 505\cdot10^{3}\,\frac{kg}{m^3}$

Skaler Ve Vektörel Fiziksel Büyüklükler

Evden çıkıp arkadaşlarınıza nereye gittiğinizi söylüyorsunuz. „Evden çıktım ve 200 metre uzağa gittim" derseniz, sizin tam olarak

nerede olduğunuzu bilebilirler mi? Cevap hayır! Sadece ne kadar uzakta olduğunuzu bilebilirler, hangi yöne gittiğinizi değil. „Evden çıkıp 200 metre kuzeye gittim." derseniz, tam olarak nerede olduğunuzu bilirler.

Bu ayrım, bazı fiziksel büyüklüklerin yalnızca büyüklükleriyle tanımlanabildiğini, bazılarının ise tam olarak tanımlanabilmeleri için bir yöne sahip olmaları gerektiğini göstermektedir.

Fiziksel büyüklükler **skaler** ve **vektörel** olabilir.

I) Tamamen sayısal değerle belirlenen fiziksel büyüklüklere skaler fiziksel büyüklükler (veya sadece skalerler) denir.

Skaler fiziksel büyüklüklere örnek olarak zaman, kütle, yoğunluk, sıcaklık ve okul hayatınız boyunca öğreneceğiniz daha birçok şey verilebilir.

II) Tamamen sayısal değerleri, yönleri ve doğrultuları tarafından belirlenen fiziksel büyüklüklere vektörel fiziksel büyüklükler (veya kısaca vektörler) denir.

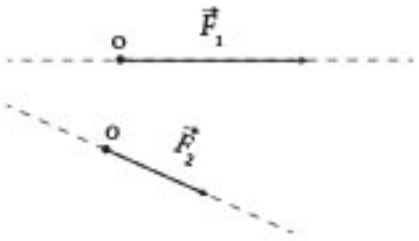
Vektörel fiziksel büyüklüklere örnek olarak hız, ivme, kuvvet ve diğerleri verilebilir.

Vektörel büyüklükler bir vektörle (yönlendirilmiş bir doğru parçası veya ok) gösterilir. Vektörel büyüklük, **büyüklüğü yani modülü ya da yoğunluğu, doğrultusu ve yönü** ile tanımlanır. Vektörün uzunluğu, vektör büyüklüğün niceliği (modülü) ile orantılıdır ve okun yönü vektör büyüklüğünün yönünü gösterir.

Her vektörün **bir vurucu noktası da vardır**; burası vektörün „başladığı" veya etki ettiği yerdir. Şekil 3'te bu nokta O ile işaretlenmiştir.

Vektörel büyüklükleri, skaler büyüklüklerden ayırt etmek için vektörel büyüklüklerin sembolünün üzerine sağa işaret eden küçük bir ok ($\rightarrow$) yerleştirilir , örneğin: kuvvet için $\vec{F}$.

Ders kitabının sonunda yer alan Ek 1: Vektörler ve Vektör İşlemleri hakkında daha fazla bilgi sunulmaktadır.



▲ Şekil 3. Farklı büyüklük, yön ve yönelime sahip iki vektör

Daha Fazla Bilmek İstersen:

- Uluslararası Birimler Sistemi'nin kökleri 18. yüzyılın sonlarına, Fransa'ya dayanmaktadır. 1795 yılında, Fransız Devrimi'nden sonra, ülke genelindeki farklı yerel ölçü birimlerinin yarattığı kaosa son vermek amacıyla rasyonel ve birleşik bir ölçü sistemi fikri benimsenmiştir.

- 1791'de metre, Paris meridyenini takip ederek Kuzey Kutbu'ndan Ekvator'a olan mesafenin on milyonda biri olarak tanımlandı. Bu, ölçü birimini doğal ve evrensel bir olguyla ilişkilendirme girişimiydi. Bugün ise, ışığın bir saniyede boşlukta kat ettiği yolun 1/299792458'i olarak tanımlanıyor.
- Kilogramın ilk uluslararası prototipi, platin ve iridyum alaşımından yapılmıştı ve Paris yakınlarındaki Uluslararası Ağırlık ve Ölçüler Bürosu'nda (BIPM) saklanıyordu. „Le Grand K" olarak biliniyordu. 2019 yılında kilograma yeni bir tanım getirildi. Kilogram, herhangi bir fiziksel nesneyle değil, Planck sabitiyle (h) tanımlanır. Bu, ölçümde daha fazla hassasiyet ve tutarlılık sağlar.
- Saniyenin modern tanımı, sezyum $\left({}^{133}_{55}C_s\right)$ atomunun yaydığı ışınımdaki 9.192.631.770 titreşimin süresine dayanır. Bu, saniyeyi son derece hassas bir ölçü birimi yapmaktadır.

Sorular ve Görevler:

1. Ölçü birimlerini bilmek ve bunları temel birimlere dönüştürmek günlük hayattaki problemleri çözmede nasıl yardımcı olabilir? Örnekler verin.
2. Sınıf arkadaşlarınızla „Ölçümlerde doğruluk ve standardizasyonun bilimin gelişimine etkisi" konulu bir tartışma gerçekleştirin.
3. Bir tahminde bulunun: Dünya gezegeninde yaklaşık 8.000.000.000 kişi yaşıyor. Dünya'nın yarıçapı 6.400 km. Tüm insanlar kollarını açıp birbirinin avuçlarını tutsa, Ekvator'dan Dünya'nın etrafında kaç tur dönebileceklerini tahmin edin.
4. Odanızın genişliğini ölçün ve yazın: a) cm b) m c) km
5. Verilen fiziksel büyüklük değerlerini uygun ölçü birimlerine dönüştürünüz.

   a) $30\ \mathrm{m^2} =$ $\mathrm{mm^2}$ b) $200\ \mu\mathrm{m^3} =$ $\mathrm{m^3}$ c) $45\ \mathrm{dm^3} =$ $\mathrm{m^3}$

   ç) $100\ \mathrm{mm^2} =$ $\mathrm{m^2}$ d) $58\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{m^3}} =$ $\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m^3}}$ e) $75\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m^3}} =$ $\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{m^3}}$

   f) $49\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{cm^3}} =$ $\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m^3}}$ g) $95\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{m^3}} =$ $\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{cm^3}}$
6. Hızın skaler ve vektörel (hız vektörü) bir büyüklük olarak arasındaki farkı açıkla. Bu farkın önemli olduğu günlük hayattan bir örnek ver.

1.2 Bilimsel Araştırma

İnsanlığın gelişimi, fiziğin ilerlemesiyle ayrılmaz bir şekilde bağlantılıdır. Doğadaki kuvvetlerin ilk anlaşılmasından, Newton tarafından formüle edilen klasik mekanik yasalarına, kuantum fiziği ve temel parçacık fiziğindeki modern başarılara kadar fizik, çevremizdeki dünyaya dair anlayışımızı sürekli olarak etkilemiştir. Sanayi ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte fizik, içinde yaşadığımız dünyayı değiştirmektedir. Günümüzde, fiziğin ve uygulamalarının gelişimi sayesinde insanlık, yaşam ve iletişim biçimimizi tamamen değiştiren ileri teknolojilere erişebilmektedir. En önemli başarılar arasında, uzun mesafelerde ultra hızlı veri iletimi sağlayan optik fiberler, minimum kayıplı enerji sistemleri, MAGLEV trenleri, veri işleme ve bilgi güvenliğinde devrim vaat eden kuantum bilgisayarlar, tıpta kullanılan cihazların geliştirilmesi ve Evrenin uzak köşelerini keşfeden uzay araçları yer almaktadır.

Bilim insanları doğa yasalarını nasıl keşfeder ve karşılaştığımız olayları nasıl başarıyla açıklar? Bu, bilimsel yöntemi bilimsel sorgulama yoluyla uygulayarak elde edilir. Bilimsel yöntemin aşamalarının şablonu Şekil 1'de verilmiştir.



▲ Şekil . 1 Bilimsel yöntemin aşamaları

Bu aşamaları bir örnek üzerinden açıklayacağız.

Marko'nun Araştırması: Düşen Cisimler

1) Bilimsel problemin gözlemlenmesi, algılanması ve tanımlanması

Marko her gün dünya yüzeyine düşen cisimlerle karşılaşıyor. Bir cismin düşme süresinin, düştüğü yüksekliğe bağlı olarak nasıl değiştiğini araştırmaya karar verdi.

2) Hipotez formülasyonu

Marko şöyle öngörüyor: Cisimlerin düştüğü yükseklik arttıkça, cisimlerin düşmesi için gereken süre de doğru orantılı olarak artıyor.

3) Bir deneyi planlamak ve yürütmek

Marko, farklı yüksekliklerden bırakılan bir tenis topunun düşüşünü filme almaya ve ardından bunu ağır çekimde topun düşme zamanını



▲ Şekil 2. Marko topları farklı yüksekliklerden bırakıyor.

kaydetmeye karar verir. Topu bırakmak için dört farklı yükseklik belirler ve ardından her yükseklik için düşme zamanını ölçer. Daha hassas sonuçlar elde etmek için Mark, ölçümü her yükseklik için 5 kez tekrarlar.

Ölçüm sonuçlarını tablo ve grafikler halinde gösterir .

Marko, ölçüm sonuçlarını bir tabloda (Tablo 1) derledi ve düşme zamanının başlangıç yüksekliğine bağımlılığını gösteren bir grafik çizdi (Grafik 1).

$h\,(m)$	0,5	1	1,5	2
n	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	t_4 (s)
1	0,32	0,45	0,55	0,64
2	0,33	0,44	0,56	0,65
3	0,32	0,45	0,57	0,64
4	0,31	0,46	0,56	0,66
5	0,31	0,46	0,55	0,66
Ortalama değer	0,32	0,46	0,56	0,65

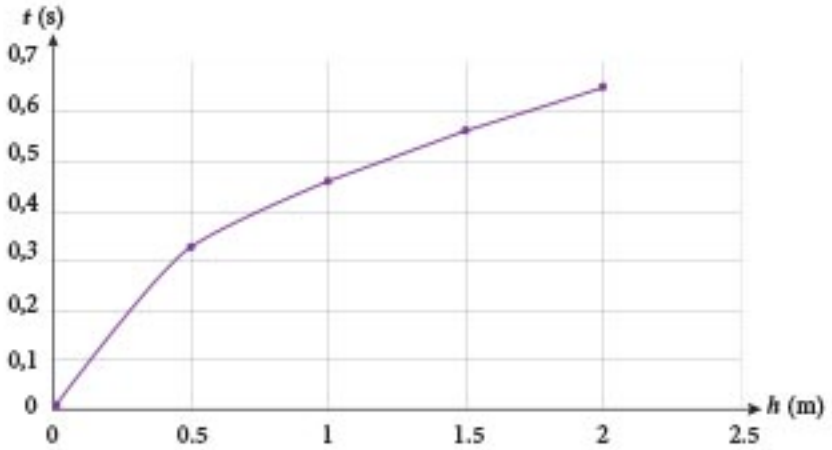
Tablo 1. Marko'nun ölçümlerinden elde edilen sonuçlar

Dikkat:

Tabloda, ölçtüğümüz veya hesapladığımız fiziksel büyüklüğün sembolü yazılır. Fiziksel büyüklüğün yanına, parantez içinde onun ölçü birimi eklenir.

Dikkat:

Grafiği çizerken dikkat etmelisin ki, bağımsız değişken her zaman apsis eksenine (x ekseni) yerleştirilir, bağımlı değişken ise – bağımsız değişkene nasıl bağlı olduğunu belirlemek istediğimiz büyüklük – ordinat eksenine (y ekseni) işaretlenir. Eksenlerde, gösterilen büyüklüklerin yanına parantez içinde her zaman onların birimleri de yazılır.



▲ Grafik 1. Topun düştüğü yüksekliğe bağlı olarak düşme süresini gösteren grafik

4) Sonuçlar işlendi

Daha sonra Marko, tüm veri işlemeyi gerçekleştirir ve ölçüm hatalarını hesaplar.

5) Sonuçların yorumlanması ve hipotezin doğrulanması veya reddedilmesi

Elde edilen sonuçlardan ve grafikten Marko, topun düşme süresinin doğrudan topun düştüğü yüksekliğe bağlı olmadığı sonucuna varır.

Dolayısıyla yeni bir öngörüde bulunuyor: Topun düşme süresi, doğrudan nesnelerin düştüğü yüksekliğin karekökü ile bağlı.

Bilimsel Yöntemin Aşamaları

Marko'nun araştırmalarında uyguladığı bilimsel yöntemin aşamalarını daha ayrıntılı olarak açıklayalım.

1) Bilimsel problemi gözlemlemek, fark etmek ve tanımlamak

Bilimsel yöntem, ilgi çekici olabilecek bir olguyu fark etmekle başlar. Gözlemler, çevremizdeki dünyayı dikkatlice gözlemlemek, tam olarak açıklanmamış bir şey bulmak veya önceki araştırmaları okuyup dinlemekle gerçekleşebilir.

Marko'nun araştırmasında, farklı yüksekliklerden düşen cisimlerdeki farklılıkları fark ettiği an, bilimsel yöntemin ilk aşamasına geçmiş olduğu anlaşılmıştır.

2) Hipotez formülasyonu

Hipotez, araştırmacının araştırmada ne gibi bir sonuç beklendiğine ilişkin ifadesidir.

Hipotez, test edilebilen, yani doğru mu yanlış mı olduğu belirlenebilen açık ve net bir ifade olmalıdır. Önceki deneyimlere dayanmalı, ancak mümkün olduğunca nesnel olmalıdır.

Marko'nun araştırmasında yaptığı öngörüler birer hipotezdir.

3) Bir deneyi planlamak ve yürütmek

Bu aşamada araştırmacının araştırmanın tüm ayrıntılarını kesin bir şekilde tanımlaması gerekir:

- deneyde kullanılacak ekipman seçilir ,
- araştırmanın tüm adımlarının anlatıldığı deneysel bir prosedür hazırlanır ,
- hepsine yalnızca bir değişken ekleniyor, diğerleri aynı kalıyor.

Sonuçlar iki şekilde görüntülenir: tablo ve grafik. Tablodan her ölçümün kesin değeri okunabilir ve hesaplanan değerlerin bulunduğu sütunlar eklenebilir.

Grafik, değişkenin genel davranışı daha kolay fark edilir ve doğrudan ölçülmemiş değerler grafikten belirlenebilir. Bu farklılıklar nedeniyle, deneyde her iki görünümün de kullanılması önemlidir.

4) Sonuçların işlenmesi

Her ölçüm, ölçüm hatalarıyla birlikte gelir. Hatalar, ölçüm cihazının hassasiyetinin sınırlı olması, dış koşullar, cihazın yanlış kullanımı ve ölçülen fiziksel niceliğin yanlış okunması gibi nedenlerle ortaya çıkar. Bu aşamada, ölçüm hataları hesaplanır ve elde

edilen sonuçlara ne kadar güvenilebileceği hakkında bilgi edinilir. Bu işleme hakkında daha fazla bilgi, bu dersin ilerleyen kısımlarında yer alan Bilimsel Sonuçların İşlenmesi bölümünde verilmektedir.

Bu aşama tamamlandıktan sonra, sonuçlar şu şekilde kaydedilir: tüm ölçümlerin ortalama değeri, her ölçümün mutlak hatası, ortalama mutlak hata ve tüm deneyin bağıl hatası.

5) Sonuçların yorumlanması ve hipotezin doğrulanması veya reddedilmesi

Elde edilen sonuç ve hata analizi sonucunda hipotezin doğrulanıp doğrulanmadığı belirlenir. Bu aşamada, „Marko'nun Araştırması"nda olduğu gibi, yeni bir bilimsel araştırmayı başlatan yeni bir hipotez oluşturulabilir.

Bilimsel Araştırma için Temel Kavramlar ve Tanımlar

Kavram	Tanım
Bilimsel Yöntem	Belirli aşamalardan oluşan ve bir sonuca, bir olayın açıklamasına veya yeni bir yasaya ulaşmak için uygulanması gereken süreç.
Deney	Belirli bir olgunun gözlemlenmesi ve ardından kontrollü koşullar altında gerçekleştirilen ölçüm.
Adil test	Sadece bir değişkenin değiştirildiği, diğer tüm koşulların aynı kaldığı deney .
Doğrudan ölçümler	Bir fiziksel niceliğin doğrudan bir ölçü aleti kullanılarak belirlendiği ölçüm (örneğin: bir cetvelle uzunluğu ölçmek veya bir kronometreyle zamanı ölçmek).
Dolaylı ölçümler	Bir fiziksel niceliğin değerinin, başka fiziksel büyüklüklerin doğrudan ölçüm sonuçlarına dayanarak hesaplandığı ölçümler.
Kontrol değişkeni	Ölçüm sırasında değişmeden kalan nicelik .
Bağımsız değişken	Araştırmacı tarafından belirlenen ve başka bir nicelik (bağımlı değişken) üzerindeki etkisini incelemek için bağımsız olarak (veya araştırmacı tarafından kasıtlı olarak) değiştirilen nicelik. Deneydeki diğer fiziksel büyüklüklere bağlı değildir.
Bağımlı değişken	Araştırmada ölçülen ve değeri bağımsız değişkene bağlı olan nicelik.
Doğruluk ölçümü	Bir ölçümde elde edilebilecek en küçük birim değer

Bilimsel Sonuçların İşlenmesi

Ölçüm hatalarını azaltmak için bilimsel araştırmalar genelde aynı büyüklüğün birden fazla ölçümünü içerir. Büyüklüğün her ölçümünden elde edilen değerler genellikle birbirinden farklıdır.

Veriler işlenirken **mutlak** ve **bağıl** ölçüm hataları hesaplanır. Hatalar hakkında bilgi olmadan sonuçlar bilimsel olarak değerlendirilemez, aynı zamanda da bunlardan çıkaracağımız sonuçlar eksik kalır.

Ölçülen büyüklüğün doğru değeri olarak tüm ölçümlerin **ortalama değeri** olarak kabul edilir. Ortalama değer, ölçülen tüm değerlerin toplamının toplam ölçüm sayısına bölünmesiyle hesaplanır.

Bir deneyde, kütle, hız, sıcaklık veya başka bir fiziksel büyüklük olabilecek bir X büyüklüğünü n kez ölçtük. Ortalama değeri X_{or} şu şekilde yazılabilir:

$$X_{or} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \ldots\ldots + X_n}{n}$$

Örnek

Bir m cismin kütlesini beş kez ölçtük. Ortalama değer şu şekilde olacaktır:

$$m_{or} = \frac{m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5}{5}.$$

Mutlak ölçüm hatası, bir fiziksel büyüklüğün ölçülen değeri ile mutlak değer olarak alınan ortalama değeri arasındaki farktır.

Genel durumda, her bir ölçümün mutlak hatası (ΔX_i) ortalama değer X_{or} ile ölçülen değer X_i arasındaki fark olarak hesaplanır:

$$\Delta X_i = \left| X_{or} - X_i \right|$$

Ölçümde bağıl hata, ortalama mutlak hatanın ölçülen fiziksel büyüklüğün ortalama değerine oranına eşittir ve yüzde olarak ifade edilir.

Formül aracılığıyla bağıl hata (ε) şu şekilde hesaplanır:

$$\varepsilon = \frac{\Delta X_{or}}{X_{or}} \cdot 100\,\%$$

Burada ΔX_{or}, ölçümün ortalama mutlak hatasıdır ve her bir ölçümün mutlak hatalarının ortalaması olarak hesaplanır. Bağıl hata, ölçümün doğruluğunu belirler. Bağıl hata %5'ten az ise ölçüm başarılı kabul edilir.

Son ölçüm sonucu aşağıdaki şekilde kaydedilir:

$$X = X_{sr} \pm \Delta X_{sr} \qquad \varepsilon = \frac{\Delta X_{sr}}{X_{sr}} \cdot 100\,\%$$

Marko araştırmasında, ölçümdeki mutlak hataları hesaplayarak tabloyu doldurduğunda şu sonuçları elde etti:

h (m)	0,5	1	1,5	2	0,5	1	1,5	2
n	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	t_4 (s)	Δt_1 (s)	Δt_2 (s)	Δt_3 (s)	Δt_4 (s)
1	0,33	0,45	0,55	0,64	0,01	0,01	0,01	0,01
2	0,32	0,44	0,56	0,65	0,00	0,02	0,00	0,00
3	0,32	0,45	0,57	0,64	0,00	0,01	0,01	0,01
4	0,31	0,46	0,56	0,66	0,01	0,00	0,00	0,01
5	0,30	0,46	0,55	0,66	0,02	0,00	0,01	0,01
Ortalama değer	0,32	0,46	0,56	0,65	0,01	0,01	0,01	0,01

Tablo 2. Marko'nun ölçümleri, mutlak hatalarla birlikte verilmiştir

Örneğin, yükseklik için $h = 0{,}5$ m'de, ilk kez ($n = 1$) düşüş süresi $t_{1,1} = 0{,}33$ saniye olarak ölçüldü. Bu yükseklik için ölçümün gerçek değeri, $t_{1sr} = 0{,}32$ saniye olan ortalama değerdir. Bu ölçümün mutlak hatası şudur:

$\Delta t_{1,1} = |t_{1sr} - t_{1,1}| = |0{,}32 - 0{,}33| = 0{,}01$ s. Tablonun tamamı bu şekilde doldurulmuştur (tablo 2).

Göreceli yükseklik hatası:

$$h = 0{,}5 \text{ m} \quad \varepsilon = \frac{\Delta t_{1sr}}{t_{1sr}} \cdot 100\,\% = 3{,}12\%$$

Ölçümü başarılı kılacak sonuç budur. Ancak Marko'nun yeni hipotezini doğrulamanız veya reddetmeniz ve zamanın topun düştüğü yüksekliğin kareköküne nasıl bağlı olduğunu gösteren bir grafik çizmeniz gerekir. Bunu başarmak için tabloda bazı değişiklikler yapmanız gerekir.

Daha Fazla Bilmek İstersen:

- Dolaylı ölçümlerde mutlak hata nasıl belirlenir? Ölçülen veya hesaplanan fiziksel büyüklüklerin mutlak hataları kullanılarak hesaplanabilir.

  Örneğin, formülle hesaplanan kuvvetin mutlak hatasını, hesaplanan ortalama değerler ve cismin kütlesi ile ivmesinin mutlak hataları üzerinden hesaplayalım.

  Kuvvet için elde edilen sonuç şu şekilde gösterilmelidir:

  $$F = F_{sr} \pm \Delta F_{sr}$$

  $$F = ma = (m_{sr} \pm \Delta m_{sr})(a_{sr} \pm \Delta a_{sr})$$

  Bu formülden şunu elde ederiz:

$$F = m_{ar}a_{ar} \pm m_{ar}\Delta a_{ar} \pm \Delta m_{ar}a_{ar} + \Delta m_{ar}\Delta a_{ar}$$

$$F = m_{ar}a_{ar} \pm \left(m_{ar}\Delta a_{ar} + \Delta m_{ar}a_{ar} \pm \Delta a_{ar}\Delta m_{ar}\right)$$

Çünkü $F_{ar} = m_{ar}a_{ar}$

Bundan kuvvetin mutlak hatasının aşağıdaki olduğu sonucuna varabiliriz:

$$\Delta F_{ar} = m_{ar}\Delta a_{ar} + \Delta m_{ar}a_{ar} \pm \Delta a_{ar}\Delta m_{ar}$$

Sorular ve Görevler:

1. Bilimsel araştırmanın kilit adımları nelerdir?
2. Mutlak ve bağıl hata terimleri ne anlama gelir, bunlar nasıl belirlenir ve bu hatalardan hangisi ölçümün yüksek doğrulukla yapılıp yapılmadığını gösterir?
3. Ölçüm hatalarını anlamak, eczacılıkta veya inşaatta ölçümlerde daha yüksek doğruluğun neden önemli olduğunu daha iyi kavramana nasıl yardımcı olur?
4. 1 ms doğrulukla çalışan dijital bir saatin yardımıyla 4 ölçüm yapılmıştır: $t_1 = 5,254\,s$ $t_2 = 5,257\,s$ $t_3 = 5,257\,s$ $t_4 = 5,259\,s$. Ölçümlerde mutlak ve bağıl hataları hesapla.
5. Ders kitabının/defterinin kalınlığını kumpas veya mikrometre ile ölç ve bir yaprak kağıdının kalınlığını hesapla. Elde edilen sonuçları yorumla.
6. Bilimsel araştırma hakkında daha fazla ne öğrenmek isterdin?

Bir Bilim İnsanı Gibi Düşün

Sarkaç Periyodu

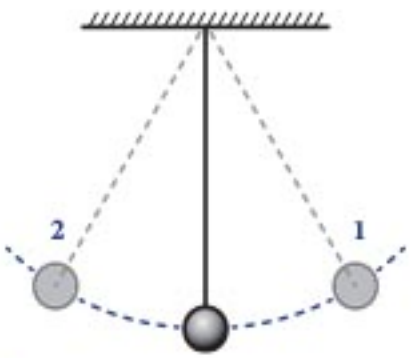
Kütlesi m olan bir bilyenin, uzunluğu l olan bir ipe asılarak salınım yapabildiği düzeneğe sarkaç denir (Şekil 1).

Sarkacın periyodu, sarkacın bir salınım yapması için gereken süredir; ya da periyot, bilyenin 1 noktasından hareket edip aynı noktaya tekrar dönmesi için geçen zaman olarak da ifade edilebilir.

Deneyi daha basit gerçekleştirmek için bilye yerine somunlar kullan (Şekil 2).

Görev: Sarkaçın salınım periyodunun neyden ve nasıl etkilendiğine dair bilimsel bir araştırma yürüt.

İzlemen gereken bilimsel araştırma adımları:



▲ Şekil 1. Üç salınım anındaki sarkaç



▲ Şekil 2. Civatalar

Adım 1: Sarkaç salınımını gözlemleyerek sarkaç salınım periyodunun neye bağlı olduğunu belirleyin. Sarkaç periyodu, sarkacın tam bir salınım yapması için geçen süredir: başlangıç konumundan, karşı taraftaki en uzak noktaya ve tekrar başlangıç konumuna dönüşe kadar geçen süredir.

- Sarkaç salınımını gözlemlerken karşılaştığınız fiziksel büyüklüklerin bir listesini yapın ve bunları bağımlı ve bağımsız fiziksel büyüklükler olarak ayrı bir tabloya girin (örneğin: ipin uzunluğu, sapma açısı, ağırlığın şekli, ipin kalınlığı, sarkacın kütlesi, vb.);
- Araştırma boyunca kontrol değişkenlerini tanımlayarak adil bir test sağlayın .

Adım 2: Fiziksel büyüklüklerin listesine dayanarak, bir hipotez oluşturun; yani araştırmanın sonucunun ne olacağını varsayın. Hipotezde, bağımlı niceliğin yalnızca bir bağımsız nicelikteki değişiklikten etkileneceğini varsaymanız gerektiğini unutmayın. Diğer nicelikler değişmeden kalmalıdır.

Adım 3: Deneysel bir plan geliştirin ve deneyi gerçekleştirin.

Hedef süre çok kısa olabilir. Örneğin, kısa zaman aralıklarında deneycinin tepki süresi ölçüm hatası üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Deney planını hazırlarken, deneycinin yavaş tepkisinden kaynaklanan bu hatanın nasıl azaltılabileceğini göz önünde bulundurun.

- Bir taslak hazırlayın, ihtiyaç duyulan malzemelerin listesini yapın ve ölçü tablosunu hazırlayın .
- Deneyi gerçekleştirin, zaman içerisinde 10 ölçüm kaydedin ve değerleri bir tabloya girin.

Adım 4: Verileri işleyin: Örneklerin ortalamasını, mutlak hatasını ve bağıl hatasını hesaplayın. Sonuçları bir grafikte sunun.

Adım 5: Sonuçları yorumlayın ve hipotezi doğrulayın veya reddedin ve yeni bir hipotez oluşturmaya çalışın.

- Öğretmenin yardımıyla elde edilen sonuçları yorumlamaya çalışın.

Özet:

- Fiziksel büyüklüklerle bir cismin özelliği, bir nitelik veya bir süreç nicel olarak tanımlanabilir.
- Fiziksel büyüklükler sayısal değer ve birim ile ifade edilir.
- Uluslararası Birim Sisteminde (SI) temel ve ek fiziksel büyüklükler ile bunların birimleri tanımlanmıştır; diğer tüm fiziksel büyüklükler ve birimleri ise temel büyüklüklerden türetilir.
- Ölçü birimleri, daha küçük ve daha büyük öneklerle ifade edilir.
- Fizikte, farklı durumlar için yasaların kurulmasına ve öngörülerin yapılmasına yardımcı olan bilimsel yöntem kullanılır.
- Bilimsel yöntem aşağıdaki 5 aşamadan oluşur:

  I: Gözlem, fark etme ve bilimsel problemin tanımlanması
  II: Hipotezin kurulması
  III: Deneyin planlanması ve yürütülmesi
  IV: Sonuçların işlenmesi
  V: Sonuçların yorumlanması ve hipotezin doğrulanması veya reddedilmesi
- Deney, belirli bir olgunun kontrollü koşullar altında gözlemlenmesi ve ardından ölçülmesidir.
- Belirli bir fiziksel büyüklüğünü ölçmek, onu koşullu olarak ölçü birimi kabul edilmiş aynı türden bir fiziksel büyüklükle karşılaştırılması demektir.
- Bilimsel yöntem, ölçülen fiziksel büyüklüklerin ve hataların tablolar ve grafiklerle gösterilmesini içerir.
- Her ölçüm, ölçüm hatalarıyla birlikte gelir.
- Bazı fiziksel büyüklüklerin X ölçümlerinin ortalama değeri şu formülle hesaplanır:

$$X_{sr} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \ldots\ldots + X_n}{n}$$

öylke ki $X_1, X_2, \ldots X_n$ ölçülen değerlerdir, n ise ölçüm sayısıdır .

- Mutlak ölçüm hatası, bir fiziksel niceliğin ölçülen değeri ile ortalama değeri arasındaki farkın mutlak değeridir ve aşağıdaki formülle verilir:

$$\Delta X_i = \left| X_{sr} - X_i \right|$$

- Bağıl ölçüm hatası, mutlak hatanın ortalama değerine oranına eşittir ve yüzde olarak ifade edilir ve aşağıdaki formülle verilir:

$\varepsilon = \frac{\Delta X_{sr}}{X_{sr}} \cdot 100\,\%$, burada ΔX_{sr} ölçümün ortalama mutlak hatasıdır.

- Son ölçüm sonucu şu şekilde yazılır:

$$X = X_{SR} \pm \Delta X_{SR} \qquad \varepsilon = \frac{\Delta X_{SR}}{X_{SR}} \cdot 100\%$$

Konu 1 NE KADAR ÖĞRENDİĞİNİ KONTROL ET

1. Dönüştür:

   a) 0, 25 nm = mikron b) 0, 13 GN = kN

   c) 2000 kg/m^3 = g/cm^3 ç) 180 km = m

2. Basketbol topunun çapı belli bir büyüklüğe sahiptir:

   a) $2 \cdot 10^{-2}$ m b) $2 \cdot 10^{-1}$ m c) $2 \cdot 10^{0}$ m c) $2 \cdot 10^{1}$ m

3. Üçüncü kattaki bir pencereden bir top atılıyor. Topun atıldığı yükseklik şu büyüklüktedir:

   a) 10^0 m b) 10^1 m c) 10^2 m c) 10^3 m

4. 50 denarlık madeni paranın çapı şu büyüklüktedir:

   a) 10^0 m b) 10^{-1} m c) 10^{-2} m c) 10^{-3} m

5. Kendi değerlendirmenize dayanarak, aşağıdaki fiziksel büyüklüklerin sayısal değerlerini birimleriyle birlikte yazın. Gerekirse önek kullanın.

   a) bir fizik dersinin süresi

   b) 10 katlı bir binanın yüksekliği

   c) bir kol saatinin kütlesi

   ç) bir sınıfın genişliği

6. Aşağıdaki fiziksel niceliklerden hangilerinin skaler, hangilerinin vektörel olduğunu belirleyin:

   a) Bir bisikletçinin tepeye tırmanma hızı

   b) Sınıftaki hava sıcaklığı

   c) Bir sırt çantasının kütlesi

   ç) Bir öğrencinin bir kütleyi itme kuvveti

   d) Evden okula gidilen mesafe

7. İki vektörün büyüklükleri farklıysa, toplamları sıfır olabilir mi? Açıklayınız.

8. Denis bir topun çapını dört kez ölçtü ve aşağıdaki sonuçları elde etti.

d (mm)	68,3	69,3	68,7	69,7	d_{ort} (mm)	
Δd (mm)					Δd_{ort}(mm)	

Ölçüm sonucunun mutlak hatası nedir?
Ölçümün bağıl hatası nedir?

9. İva, önce 25 salınım, ardından 60 salınım yapan sarkaçın periyodunu ölçtü ve şu sonuçları elde etti:

- 25 salınım için süre: 20,6 sn
- 60 salınım süresi: 52,1 sn

Bu iki durumda dalganın periyodunu hesaplayın. Sonuçlar farklı. Farklılıklarının birkaç nedenini açıklayın.

10. İvo, buzun bazı yüzeylerde diğerlerine göre daha hızlı eridiğini fark etti. İvo, buzun bulunduğu yüzeyin türünün bir buz küpünün erimesi için gereken süreyi nasıl etkilediğini araştırmak istedi.

Deneyin açıklaması: İvo eşit boyutlu buz küpleri alıp farklı yüzeylere yerleştirir: metal bir plaka, ahşap bir tahta, plastik bir tepsi ve cam. Tüm buz küpleri aynı anda aynı odada yerleştirilir. İvo, her bir buz küpünün ne kadar sürede eridiğini ölçer. Koşulların aynı olmasına özen gösterir.

a) Deneydeki bağımsız değişkeni belirtin.

b) Bağımlı değişkeni belirtin.

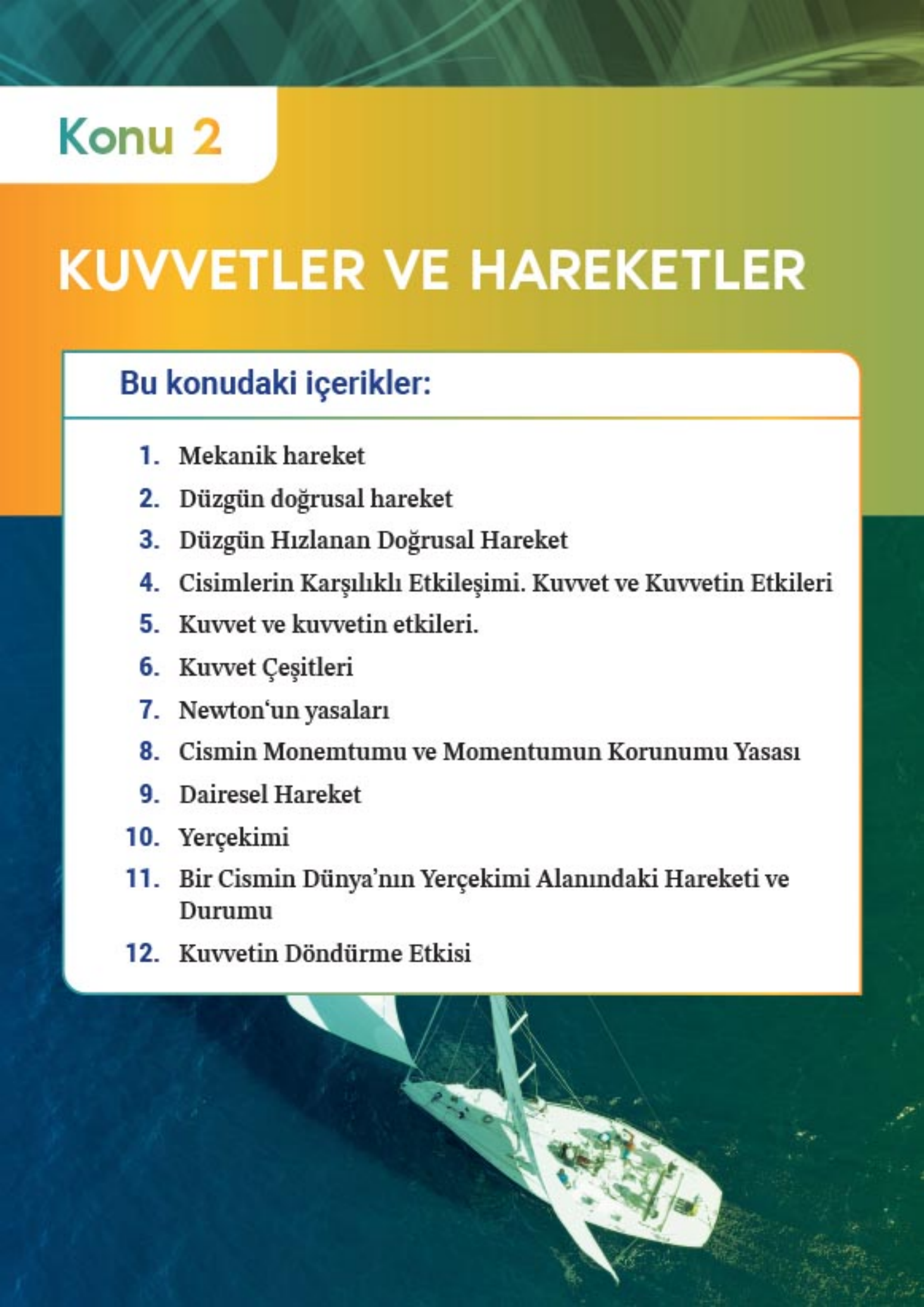
c) Değiştirilmemesi gereken en az iki kontrol değişkenini adlandırın.

Konu 2

KUVVETLER VE HAREKETLER

Bu konudaki içerikler:

1. Mekanik hareket
2. Düzgün doğrusal hareket
3. Düzgün Hızlanan Doğrusal Hareket
4. Cisimlerin Karşılıklı Etkileşimi. Kuvvet ve Kuvvetin Etkileri
5. Kuvvet ve kuvvetin etkileri.
6. Kuvvet Çeşitleri
7. Newton'un yasaları
8. Cismin Monemtumu ve Momentumun Korunumu Yasası
9. Dairesel Hareket
10. Yerçekimi
11. Bir Cismin Dünya'nın Yerçekimi Alanındaki Hareketi ve Durumu
12. Kuvvetin Döndürme Etkisi



Kuvvetleri ve hareketleri inceleyerek , doğa olaylarını daha iyi anlayabilir ve fizik yasalarını günlük yaşamda – sporda, ulaşımda, teknolojide ve mühendislikte – uygulayabiliriz.

Fizikte, doğa bilimi olarak, cisimlerin kuvvetleri ve hareketleri mekanik adı verilen dalda incelenir. Mekanikte iki bölüm ayırt edilir: kinematik, cisimlerin hareketlerini bu hareketlerin nedenlerini belirtmeden betimler; dinamik ise cisimlerin hareketlerinin nedenlerini inceler ve cisimlerin neden bu şekilde hareket ettiğine yanıt verir.

Kuvvetler ve Hareketler konusunda incelenen yasalar, yaşamın çeşitli alanlarındaki pratik uygulamalar yoluyla çevremizdeki dünyayı daha iyi anlamayı sağlar.

Amaç:

- Fiziksel büyüklükleri ve birimlerini kullanarak mekanik hareketi tanımlayın ve hareketin neden göreli olduğunu açıklayın.
- Düzgün doğrusal ve düzgün ivmeli hareketi tanımlayın ve grafiksel olarak gösterin.
- Hareketlerin grafiksel çizimlerini yorumlayıp, grafikten fiziksel büyüklükleri hesaplayabilirsiniz.
- Cisimlerin nasıl etkileşime girdiğini açıklamak, ayrıca bir cisim üzerinde etki eden kuvvet türlerini belirlemek ve göstermek.
- Gerçek dünya koşullarında bir cisim üzerine etki eden birden fazla kuvvetin bileşke kuvvetini belirlemek ve bileşke kuvvetin etkisi altında cismin hareketini tanımlamak.
- Evrendeki hareketleri tanımlamak için Newton'un yerçekimi yasasını uygulamanız gerekir.
- Bir cismin Dünya'nın yerçekimi etkisi altındaki hareketini analiz etmek .
- Dönme kuvvetinin ne olduğunu açıklamak için dönme terimlerini belirtin ve dönme hareketinin temel yasasını uygulayın.
- Fizik yasaları aracılığıyla trafik kurallarının önemini kanıtla.

2.1 Mekanik hareket

Hareket, sürekli karşılaştığımız bir olgudur, aynı zamanda kendimizin de dahil olduğu bir süreçtir. Hareket, atomdan kozmosa kadar her yerde gerçekleşir. İnsanlar, arabalar, trenler, bir saatin kolları, Ay da dahil herşey hareket eder. Bir futbolcunun topa vurması, bir insanın nefes alma sürecindeki göğsünün hareketi. Maddelerdeki moleküller, atomlardaki elektronlar vb. hareket eder.

Mekanik Hareket, Referans Sistemi, Referans Cisim

Önceki örneklerin tümünde cisimler konumlarını değiştirir. Hareket sırasında tren, kalkış yaptığı tren istasyonuna göre konumunu değiştirir. Tren hareket eder ve hareketli bir cisimdir; tren istasyonu ise hareketin ona göre incelendiği cisimdir.

Mekanik hareket, bir cismin veya bir cismin parçalarının zaman içerisinde başka bir cisme göre pozisyonunda meydana gelen değişikliktir.

Hareket eden cisime **hareketli cisim** denir. Hareketin dikkate alındığı cisme ise **referans cisim denir** .

Referans cismi seçimi çeşitli şekillerde yapılır. Çoğu zaman, hareketin tanımını en basitleştiren referans cismi seçilir. İnsanların, arabaların ve diğer araçların hareketi genellikle Dünya'ya veya Dünya'ya bağlı bir cisme göre değerlendirilir. Bu durumda Dünya hareketsiz kabul edilebilir. Güneş'e veya hareket eden bir arabaya göre bakıldığında, aynı hareket (ve onu tanımlayan denklemler) çok daha karmaşık görünecektir.

Bir cismin konumu, bir **koordinat sistemi** yardımıyla tam olarak tanımlanabilir. Hareket sırasında, cismin seçilen koordinat sistemindeki koordinatları zamanla değişir.

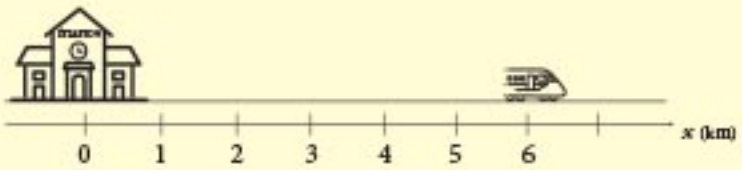
Hareketi tanımlamak için bir **referans sistemine**, yani bir referans cismine bağlı bir koordinat sistemine ihtiyaç vardır.

Referans sisteminin doğru seçilmesi vücut hareketinin tanımlanmasını büyük ölçüde kolaylaştırabilir.

Örnek 1

Trenin hareketini inceleyelim.

Referans cismi olarak trenin hareket ettiği istasyonu alacağız (şekil 1). Koordinat başlangıcını istasyona yerleştiriyoruz ve x eksenini trenin hareket yönüne doğru ayarlıyoruz. Bu referans sisteminin seçimiyle hareketin tanımlanması en basit hale gelir.



▲ **Resim 1.** Referans sistemiyle gösterilen trenin hareketi

Hareketin Göreliliği

Dünya yüzeyinde durduğunuzda ve hareketsiz olduğunuzu düşündüğünüzde bile, aslında Güneş›e göre hareket halindesinizdir.

Hareket görelidir, bir cisim bir referans sisteminde hareketsizken aynı zamanda başka bir referans çerçevesinde hareket halinde olabilir.

Maddesel Noktası

Cisimlerin hareketini tanımlarken, cisimlerin boyutları genellikle belirli bir fiziksel olgu için önemli değildir ve göz ardı edilebilir. Bir arabanın hareketini ele alırsak, arabanın tekerleklerinin hareketiyle ilgilenmeyiz. Ya da Ay'ın Dünya etrafındaki hareketini ele alırsak, Ay'ın boyutları göz arda edilebilir.

Hareketi tanımlanırken boyutları ihmal edilen cisme maddesel nokta denir. Maddesel nokta, kütlesi olan fakat hacmi olmayan bir cisimdir.

Bir maddesel noktanın konumu koordinat sistemi tarafından belirlenir.

Örneğin bir arabanın veya Ay'ın hareketini ele aldığımızda, araba ve Ay birer maddesel noktayı temsil eder.

Yörünge, Kat Edilen Mesafe, Yer Değiştirme

Kış koşullarında, karda ilerleyen bir dağcının hareketini inceleyelim (Şekil 2).



▲ Şekil 2. Karda ilerleyen dağcı iz bırakıyor.

Karda ilerleyen bir dağcı iz bırakır. Dağcının hareket ettiği, bu durumda gördüğümüz yola **yörünge denir**. Yörüngenin şekline göre hareketler **doğrusal** ve **eğriseldir**.

Bir cismin yörüngesi üzerindeki M_1 ve M_2 noktaları arasındaki mesafenin uzunluğuna alınan yol (s) denir.

Kat edilen mesafenin ölçü birimi metredir (m).

Öte yandan dağcının başlangıç ve bitiş pozisyonu arasındaki en kısa mesafe onun yer değiştirmesini temsil eder (Şekil 3).

Yer değiştirme $\Delta\vec{r}$ cismin başlangıç ve bitiş konumlarını birbirine bağlayan bir vektördür.



▲ Şekil 3. Geçen süre ve termometrenin hareketi

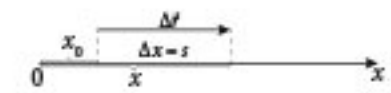
Yer değiştirmenin modülü (yoğunluğu), hareketini incelediğimiz cismin başlangıç ve bitiş konumları arasındaki en kısa mesafeye eşittir ve yer değiştirmenin yönü her zaman başlangıçtan bitiş konumuna doğrudur.

Hareket doğrusal olduğunda, onu koordinat sisteminin bir ekseni boyunca inceleriz. Çoğunlukla bu eksen x eksenidir.

Cismin yer değiştirme modülünü Δx olarak yazarız ve şu formülle hesaplayabiliriz:

$$\Delta x = |x - x_0|$$

Burada x, cismin ulaştığı son pozisyon, x_0 ise cismin yola başladığı ilk pozisyondur (Resim 4).



▲ Şekil . 4 Doğrusal hareket halindeki bir cismin yer değiştirmesi

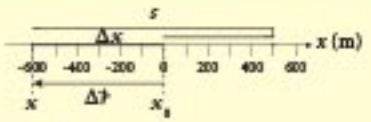
Çözülmüş örnek

İva okuldan çıkıp 500 metre batıya doğru yürüyor. Yolda Ana ile karşılaşıyor ve okulun 600 metre uzaklıktaki parka birlikte yürümeye karar veriyorlar. İva ve Ana, tüm yol boyunca düz bir çizgide ilerlediklerini varsayarsak, ne kadar yol kat etmiş olurlar?

Çözüm:

Doğrusal hareketi tanımlarken, koordinat sistemini öyle seçeriz ki x ekseni İva ve Ana'nın hareket yönüyle çakışsın ve koordinat başlangıcı okulda bulunsun.

Iva'nın ilk hareketine bakalım. İva'nın yola çıktığı okulun koordinatı $x_0 = 0$ m. İva'nın yaptığı hareket, kat ettiği mesafe ve yer değiştirmesi, koordinat sistemi ile gösterirsek, Şekil 5'te verilmiştir.



▲ Şekil 5. Hareket, Iva'nın geçmiş zamandaki yer değiştirmesi

Ana ile buluştukları yerin koordinatı $x = 500$ m. Sonunda Ana ile birlikte parka ulaştıkları koordinatı $x = -600$ m.

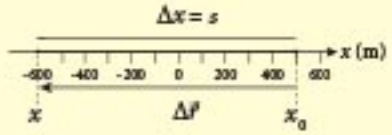
Kat edilen mesafe s ile, yer değiştirmenin büyüklüğü ise Δx ile gösterilir.

İva'nın kat ettiği toplam mesafe $s = 500\text{ m} + 500\text{ m} + 600\text{ m} = 1\,600$ m 'dir.

İva'nın yer değiştirme modülü:

$$\Delta x = |x - x_0| = |-600\,\text{m} - 0\,\text{m}| = 600\,\text{m}$$

Şimdi Ana'nın hareketini ele alalım. Ana, İva'nın aksine $x_0 = 500$ m koordinatındaki buluşma noktasından hareket eder ve koordinatı $x = -600$ m olan parka doğru hareket etmektedir. Ana'nın hareketi Şekil 6'da verilen koordinat sistemi ile gösterilmiştir.



▲ Şekil 6. Ana'nın aldığı yol ve yer değiştirmesi

Ana'nın kat ettiği toplam mesafe

$s = 500\text{ m} + 600\text{ m} = 1100\text{ m}$

Ters yönde hareket eden Ana'nın yer değiştirmesinin modülü aşağıdaki gibidir,

$$\Delta x = |x - x_0| = |-600\,\text{m} - 500\,\text{m}| = 1100\,\text{m}$$

ve negatif x ekseni yönündedir.

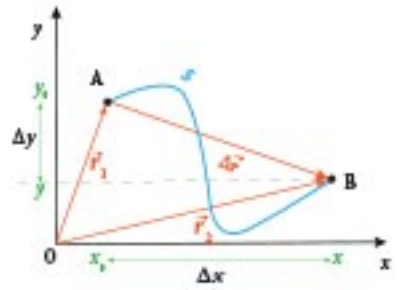
İva'nın durumunda kat edilen mesafenin yer değiştirme modülünden büyük olduğunu, Ana'nın durumunda ise kat edilen mesafenin ve yer değiştirme modülünün eşit olduğunu görebiliriz.

Kat edilen mesafe, yer değiştirme modülünden büyüktür. Bu değerler, yalnızca cisim yön değiştirmeden düz bir çizgide hareket ettiğinde eşittir.

Sonuçta, yer değiştirmenin yalnızca büyüklüğü (modülü) değil, yönü de belirtilmelidir. Doğrusal harekette cismin iki olası hareket yönü vardır: pozitif x ekseni yönünde ve negatif x ekseni yönünde. Çözümde yön, yer değiştirme değerinin sayısal büyüklüğünün önüne "+" veya "–" işareti konularak gösterilebilir. Ancak dikkat edilmelidir ki, bir vektörün modülü hiçbir zaman negatif olamaz!

Düşünün!

Önceki örnekte, koordinat sistemini okul herhangi bir koordinatta olacak şekilde kaydırırsan bir şey değişir mi? Okulun koordinatı –200 m olan noktada bulunduğu durumda ve Ana ile İva'nın hareketi değişmeden kalırken, bu örneği çözmeyi ve açıklamayı dene.



▲ Şekil 7. Vücudun uzaydaki geçmiş hareketleri

Daha Fazla Bilmek İstersen:

➤ Düzlemde yer değiştirme (şekil 7) şu formülle hesaplanır:

$$\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$$

Burada $\vec{r}_1$ ve $\vec{r}_2$ 'ye yarıçap vektörleri olarak adlandırılır. Yarıçap vektörü, cismin her anki konumunu belirleyen vektördür. Başlangıcı koordinat sisteminin orijinindedir, ucu ise hareket halindeki cisimdedir.

Yer değiştirme vektörünün modülü aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır:

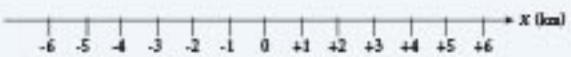
$$\Delta r = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$$

Sorular ve Görevler:

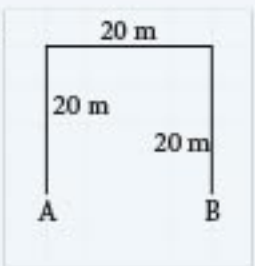
1. Mekanik hareket nedir? Mekanik harekete birkaç örnek verin.
2. Seçimlerinizi örnekler üzerinden yaparak hareketin göreliliği kavramını açıklığa kavuşturabilirsiniz.
3. Kat edilen mesafe neden hiçbir zaman yer değiştirmeden daha az olamaz?
4. İvo ekmek alması gerektiğini düşünerek evden çıkar ve 300 metre batıda bulunan fırına gider, ardından 400 metre kuzeyde bulunan meyve almak için markete gider. Daha sonra İvo eve döner.

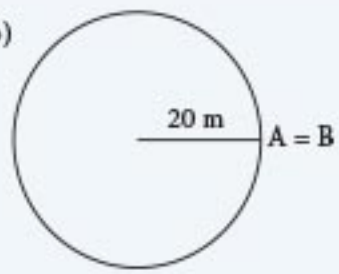
   a) Ivo markete ne kadar yol kat etti ve yer değiştirmesi ne kadardı?

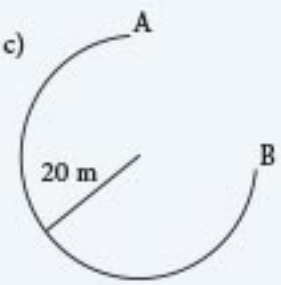
   b) Ivo'nun kat ettiği toplam mesafe ne kadardı ve yer değiştirmesi ne kadardı?
5. Sarah, koordinat başlangıç noktasında bulunan evinden yola çıkıyor ve 3 km batıya doğru hareket ediyor. Koordinat ekseninde başlangıç ve bitiş konumlarını işaretleyin. Sarah ne kadar yol kat etti ve yer değiştirmesi ne kadardı? Bu durumda bu iki fiziksel büyüklük eşit mi?



6. Tony, A noktasından başlayıp işaretli yörüngeler boyunca B noktasına hareket ediyor. Tony ne kadar yol kat ediyor ve üç durumda da yer değiştirmesi ne kadar

a)


b)


c)


2.2 Düzgün Doğrusal Hareket

Denis, trenle seyahat ederken, trenin raylar boyunca yerleştirilmiş direklerin yanından geçtiğini fark etti. Kondüktörlerden biri, aralarında 80 metre mesafe olduğunu söyledi . Denis onuncu direğe ulaştığında, fizik dersinde proje ödevi olarak düz raylar üzerinde hareket eden trenin hareketini tarif etmeye karar verdi ve sonuçlarını yazmaya başladı.

Trenin hareketini tanımlamak için, her t anındaki x konumunu belirlemeniz gerekir. Bu amaçla, hareket hızını belirlemeli ve tren aynı şekilde hareket etmeye devam ederse başlangıç istasyonuna göre nerede bulunacağını hesaplayabileceği bir formül bulmalıdır.

Denis tabloda görüldüğü gibi, (tablo 1), yeni bir direğin yanından geçtiği zamanı (t) ve o anda trenin demiryolu istasyonuna göre konumunu (x) kaydeder. Başlangıç anı olarak, trenin 10. direğin yanında bulunduğu zamanı, yani demiryolu istasyonundan 800 m uzaklıkta olmasını alır. Referans sistemini, başlangıcı istasyonda ve yönü trenin hareket yönünde olacak şekilde kurar.



▲ Şekil 1. Tren doğrusal hareket ediyor.

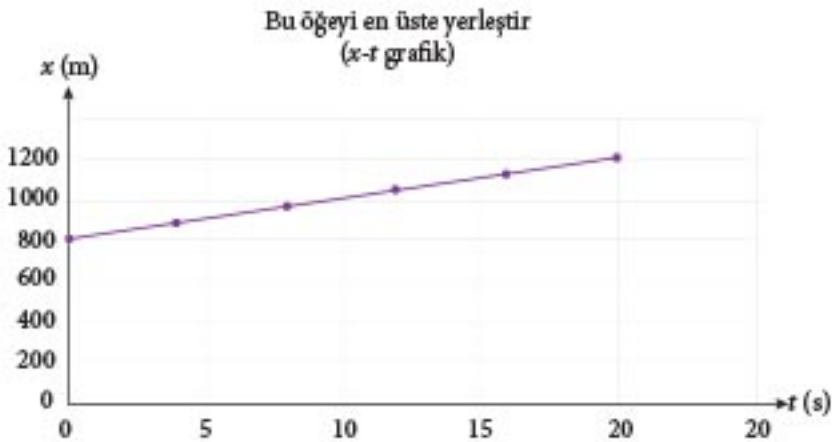
t (s)	x (m)
0	800
4	880
8	960
12	1040
16	1120
20	1200

▲ Tablo 1: zaman içindeki konumu

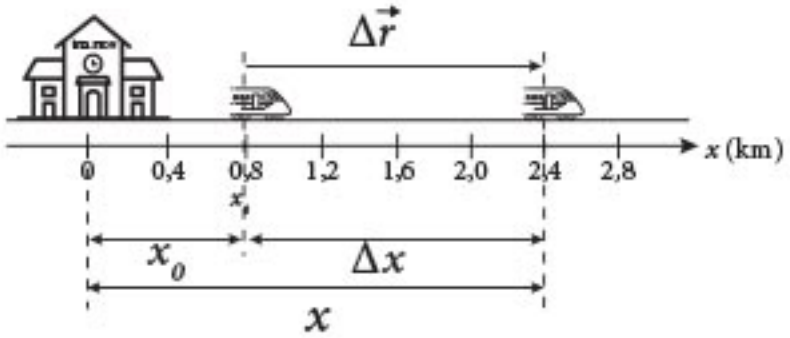
Düzgün Doğrusal Hareket Sırasında Cismin Zamana Ve Hıza Göre Değişimi

Trenin zaman içinde konumunu görselleştirmenin en basit yolu, trenin hareketini bir grafikte göstermektir. Bu durumda bağımsız değişken zaman t'dir ve bunu apsis eksenine çiziyoruz. Bağımlı değişken ise hareket zamanına bağlı olan konumdur. Trenin konumu ordinat eksenine çiziyoruz. Bu, trenin zaman içindeki konumunun grafiğini oluşturur ve Denis bunu bir elektronik tablo yazılımında (örneğin: MS Excel) çizer.

Grafikten, trenin konumunun zamanla doğrusal olarak değiştiği sonucuna varılabilir.



▲ Grafik 1. Trenin hareketi, zaman içindeki konum grafiğiyle gösterilmiştir.



▲ Şekil 2. Sayı ekseninde gösterilen hareket.

Tren hareket ederken ne olur? Tren istasyonundan uzaklaşır. Trenin bu hareketi, Şekil 2'de gösterildiği gibi bir sayı doğrusunda da gösterilebilir.

Tabloda verilen verilerden, trenin herhangi iki bitişik direk arasındaki yer değiştirmesinin ayn direkler için karşılık gelen zaman aralığına oranını hesaplarsak, bu oranın her zaman aynı değere sahip olduğunu, yani sabit olduğunu görürüz. Veya, birden fazla yer değiştirme için bir formül kullanarak yazarsak, şunu elde ederiz:

$$\frac{x_1 - x_0}{t_1 - t_0} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{x_3 - x_2}{t_3 - t_2} = 20\frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Herhangi iki direk arasındaki yer değiştirme ve geçen zamana oranını hesapladığınızda aynı değeri elde edip etmediğinizi kontrol edin .

Bir cismin birim zamanda ne kadar hareket ettiğini gösteren fiziksel niceliğe cismin hızı denir.

Bir cisim yön değiştirmeden düz bir çizgide hareket ettiğinde hızı şu formülle hesaplanır:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Denkleme göre, hız yer değiştirmenin zamana oranı olarak tanımlanabilir.

Öyle ki $\Delta x = x - x_0$ e trenin $\Delta t = t - t_0$, zaman aralığındaki yer değiştirmenin mutlak değeridir; x_0 trenin t_0, başlangıç anındaki koordinatı (konumu) ve x, trenin t anındaki koordinatıdır (konumudur).

İvmenin birimi metre ve saniyedir (m/s). Bir cisim 1 m mesafeyi 1 sn. sürede kat ettiğinde, cismin hızı aşağıdaki gibidir:

$1\frac{\text{m}}{\text{s}}$ Bu şekilde tanımlanan hız skaler bir niceliktir. Ancak, yer değiştiren $\Delta\vec{r}$ vektörel bir büyüklük olduğundan, hız bir vektörel büyüklüktür.

Vektörel hız aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

Denklemden, hızın doğrultusu ve yönü yer değiştirmenin doğrultusu ve yönü ile aynı olduğu görülür.

Trenin düz raylar üzerindeki hareket etmesi ve hızının değişmemesi durumunda oluşan düz çizgi hareketi basit hareket türüne örnektir.

Bir cismin sabit hızla bir doğru boyunca yaptığı hareketine düzgün doğrusal hareket denir.

Trenin hareketi esnasında koordinatları değişiyor, böylece trenin yer değiştirmesinin modülü $\Delta x = x - x_0$ şeklinde olur..

Skaler hız denkleminden, trenin yer değiştirmesinin modülü aşağıdaki formülü kullanarak hesaplanır:

$$\Delta x = v\Delta t \text{ yani } x - x_0 = v\Delta t$$

Genellikle cismin x_0, konumunda olduğu andaki zamanı ölçerek başlarız, yani $t_0 = 0$. Dolayısıyla, zaman aralığını daha basit bir şekilde $\Delta t = t - t_0 = t - 0 = t$. olarak yazabiliriz. Trenin herhangi bir t anındaki konumunu belirlemek istiyorsak şunu yazarız: $\Delta t = t_0 - t = t - 0 = t$. Eğer t, anındaki kaydırağın konumunu belirlemek istiyorsak şunu yazarız:

$$x = x_0 + vt.$$

Bu denklem, düzgün doğrusal hareket sırasında trenin her anındaki konumunu tamamen belirler.

Zamana Göre Cismin Konum Grafiği

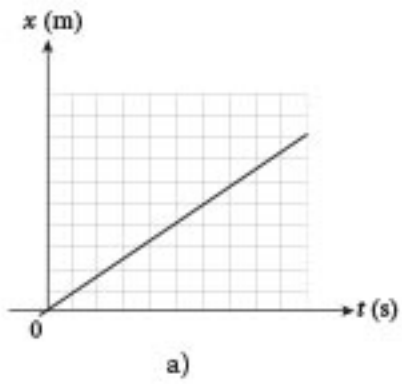
Trenin konum grafiği, zaman içinde trenin konumunun nasıl değiştiğini gösteren düz bir çizgidir.

Trenin x ekseninin pozitif yönünde hareket ederse, koordinat değeri artar ve yer değiştirme pozitif olur. Benzer şekilde, hız da pozitif olur. Aksi takdirde, negatif x eksenine doğru hareketin hızı negatif olur.

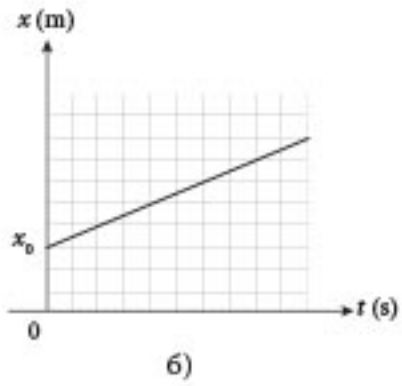
Trenin x eksenine göre hareket yönüne bağlı olarak, trenin konumunu belirleyen koordinat denklemi şu şekilde yazılır:

$$x = x_0 \pm vt$$

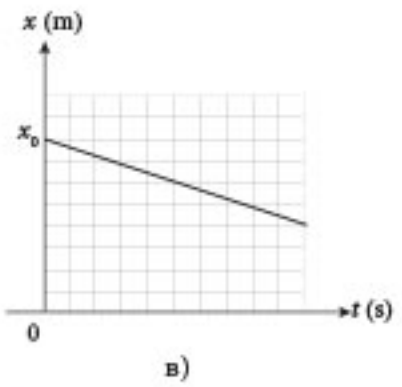
Grafik 2a), b) ve c)'de üç trenin zaman içindeki konumları göstermektedir.



а)



б)



в)

▲ **Grafik 2.** 3 cismin zamana göre konum trafiği

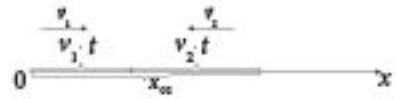
a) Koordinat başlangıç noktasından başlayıp x ekseninin pozitif yönünde hareket eden bir cismin zamana göre konum grafiği. Bu cismin hareket denklemi: $x = vt$, ve hızı pozitif bir değere sahiptir.

b) x ekseninin pozitif yönünde hareket eden ve x_0 koordinatlı noktadan başlayıp hareket eden bir cismin zaman göre konum grafiği. Bu cismin hareket denklemi: $x = x_0 + vt$.

c) x ekseninin ters yönünde hareket eden ve x_0 koordinatlı noktadan başlayıp hareket eden bir cismin zamana göre konum grafiği. Bu cismin hareket denklemi şu formülle verilir: $x = x_0 - vt$.

Çözülmüş örnek 1:

Petar ve Mile, kendi otomobilleriyle aynı anda iki şehirden birbirlerine doğru yola çıkarlar. İki şehir arasındaki uzaklık $x_0 = 35$ kmkm'dir. Petar sabit bir hızla $v_1 = 54\ \frac{\text{km}}{\text{h}}$, Mile ise $v_2 = 72\ \frac{\text{km}}{\text{h}}$ ile hareket eder. Buluşma yerini ve zamanını hesaplayınız. Problemi analitik ve grafiksel olarak çözünüz.



▲ Şekil 2. Petar ve Milenin hareket taslağı (krokisi)

Öneri:

Görevin daha kolay çözülebilmesi için, tüm fiziksel büyüklüklerin işaretleneceği bir taslak çizilmesi gerekir; bu büyüklüklerin yardımıyla görev çözülecektir.

Verilen:

$$x_0 = 35\,\text{km} = 35000\,\text{m} = 35 \cdot 10^3\,\text{m};\ v_1 = 54\,\frac{\text{km}}{\text{h}} = 54\,\frac{1000\,\text{m}}{3600\,\text{s}} = 15\,\frac{\text{m}}{\text{s}};$$

$$v_2 = 72\,\frac{\text{km}}{\text{h}} = 72\,\frac{1000\,\text{m}}{3600\,\text{s}} = 20\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

İstenen:

$t = ?$ $x = ?$

Çözüm:

İki şehir, yani Mile ve Petar'ın başlangıç konumları, verilen x ekseni üzerine yerleştirilir. Mile'in konumunu koordinat başlangıcına koyarız.

Her iki otomobilin hareket koordinatları için denklemler yazılır:

Mile:

$$x_1 = x_{01} + v_1 t \quad x_{01} = 0$$

$$x_1 = v_1 t$$

Petar:

$$x_2 = x_{02} - v_2 t \quad x_{02} = x_0$$
$$x_2 = x_0 - v_2 t$$

Arabalar karşılaştığı anda, koordinatları eşit olacaktır:

$$x_1 = x_2$$
$$\Rightarrow v_1 t = x_0 - v_2 t$$

Denklemin çözümüyle, araçların t zamanında karşılaştıklarında ise:

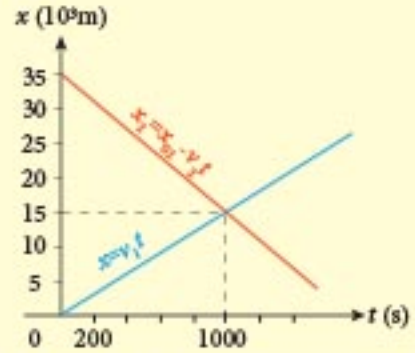
$$v_1 t + v_2 t = x_0$$
$$t(v_1 + v_2) = x_0$$
$$t = \frac{x_0}{(v_1 + v_2)} = \frac{35 \cdot 10^3 \text{ m}}{(15 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 20 \frac{\text{m}}{\text{s}})} = 1000 \text{ s}$$

Demek ki, Petar ve Mile 1000 s sonra karşılaşacaklardır. Bu değerin değişmesi ile, karşılaşma noktalarının koordinatı için aşağıdaki denklemi elde ederiz:

$$x_1 = x_2 = x = v_1 t = 15 \frac{\text{m}}{s} \cdot 1000 \text{s} = 15000 \text{ m} = 15 \cdot 10^3 \text{ m} = 15 \text{ km}$$

Mile ve Petar'ın karşılaşacağı yer, Mile'nin şehrinden Petar'ın şehrine doğru giden yolun 15 km uzaklıkta bulunmaktadır.

Mile ve Petar'ın hareketini temsil eden doğruların kesiştiği nokta, onların nerede ve ne zaman karşılaşacaklarını verir (grafik 3).

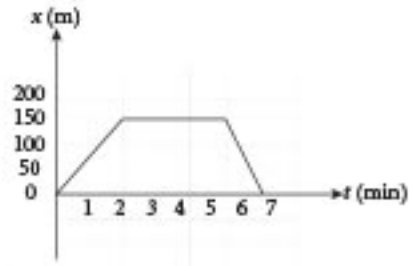


▲ Grafik 3. Mile ve Petar'ın hareketinin grafiği

Peki, zamana göre cismin konum grafiğinden ne belirlenebilir? Bu soruyu cevaplamak için bir örnek verelim.

Çözülmüş örnek 2:

Evden çıkan ve evinden 150 metre uzaklıktaki mağazaya giden Sara'nın yürüme hareketi verilmiştir. Grafik 4'teki verilere göre belirleyiniz;



▲ Grafik 4. Sara'nın zaman içindeki konumu

a) Sarah evden çıktıktan 3 dakika sonra nerde bulunuyordu?
b) Sara'nın kat ettiği toplam mesafe nekadardır?
c) Yer değiştirmesi ne kadadrdır?
ç) Sara hangi zaman aralığında en yüksek hızla hareket ediyordu ve bu hız ne kadardı?
d) Sara hangi zaman aralığında mağazadaydı ve ne zaman geri döndü?

Çözüm:

a) Sara evden ayrıldıktan üç dakika sonra koordinatları 150 metreydi ve hareketsizdi. Yani mağazadaydı.

b) Sara'nın kat ettiği toplam mesafe, evden mağazaya gidip geri döndüğü mesafedir. Yani:

$$s = s_1 + s_2 = 150\,\text{m} + 150\,\text{m} = 300\,\text{m}$$

c) Sara'nın yer değiştirmesi

$$\Delta x = x - x_0 = 0\,\text{m} - 0\,\text{m} = 0\,\text{m}$$

ç) Sara ilk 2 dakikada ve 6. ile 7. dakika arasında, farklı hız ile hareket etmiş.

$$v_{0\text{–}2} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x - x_0}{\Delta t} = \frac{150\,\text{m} - 0\,\text{m}}{2\,\text{min}} = \frac{150\,\text{m}}{120\,\text{s}} = 1{,}25\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_{6\text{–}7} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x - x_0}{\Delta t} = \frac{0\,\text{m} - 150\,\text{m}}{1\,\text{min}} = -\frac{150\,\text{m}}{60\,\text{s}} = -2{,}5\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Hızdaki "–" işareti Sara'nın ters yönde, yani geriden başlangıç noktasına doğru hareket ettiğini gösteriyor.

Elde edilen sonuçlardan, Sara'nın eve dönüş yolunda daha hızlı hareket ettiği görülmektedir. Mağazaya yaklaşırken hareketini gösteren düz çizgiyi, dönüşünü gösteren düz çizgiyle karşılaştırdığımızda, dönüş yolundaki çizginin eğiminin daha büyük olduğunu, yani bu kısımdaki hareket hızının daha fazla olduğunu görüyoruz. Bu durum hesaplamalarla da doğrulanıyor.

$x(t)$ doğrusunun eğimi ne kadar büyükse hareket hızının da o kadar büyük olacağı sonucuna varabiliriz .

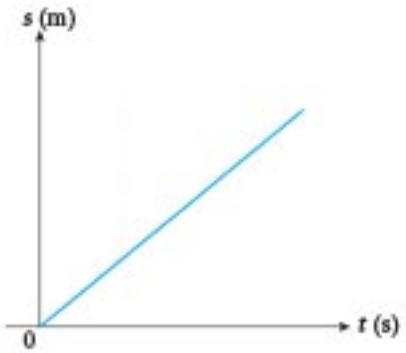
d) Sara 2. dakikadan 6. dakikaya kadar mağazadaydı, 6. dakikadan 7. dakikaya kadar ise eve dönüyordu.
Şimdi cismin zaman içindeki pozisyonunun grafiğinden nelerin belirlenebileceğini cevaplayabilir misiniz?

Düzgün Doğrusal Hareket Sırasında Kat Edilen Mesafenin Grafiği

Bir cismin belirli bir anda hangi yöne gittiğini gösteren konum grafiğinin aksine, mesafe grafiği bize cismin zaman içinde ne kadar yol kat ettiğini gösterir. Düzgün doğrusal harekette mesafe grafiği:

1. her zaman koordinat kökeninden başlayan düz bir çizgidir, çünkü başlangıç anında kat edilen mesafe $s = 0$ m 'dir
2. artan bir fonksiyondur çünkü düzgün doğrusal hareket yapan bir cismin kat ettiği mesafe, cismin hareket ettiği yönden bağımsız olarak her zaman artmaktadır .
3. cismin dinlenme dönemleri varsa yatay bir çizgi de olabilir.

Düzgün doğrusal hareket yapan bir cismin zaman içinde kat ettiği yolun grafiği grafik 5'te verilmiştir.



▲ **Grafik 5.** Düzgün doğrusal hareket sırasında kat edilen mesafenin grafiği

Zaman göre kat edilen mesafenin grafiğinden hareket eden cismin zamana göre hızı bulunabilir, ancak bu grafikten cismin hareket yönü belirlenemez.

Örnek 2'deki grafikteki verilere göre Sara'nın zaman içindeki hızının grafiğini ve zaman içindeki kat ettiği mesafenin grafiğini çiziniz.

Bundan hangi sonucu çıkarıyorsun?

Dikkat:

Şimdi, bir başka fiziksel büyüklük olan kat edilen mesafe, ordinatta temsil edilmektedir. Grafiğin eksenlerinde yazılanları her zaman dikkatlice okuyun.

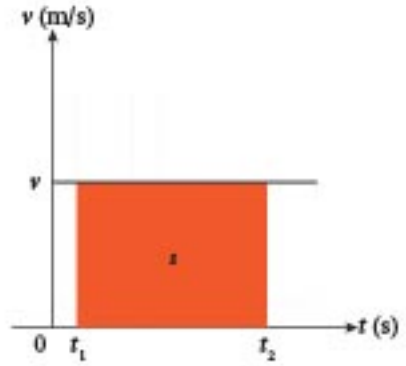
Düzgün Doğrusal Hareket Sırasında Hız Grafiği

Bir cismin hız grafiği, cismin her andaki hızını gösterir. Düzgün doğrusal harekette bu grafik, zaman eksenine (apsise) paralel bir doğru şeklindedir, grafik 6'da gösterildiği gibi.

Peki, cismin hızı dışında, cismin hız-zaman grafiğinden başka ne belirlenebilir?

Grafikte taralı alanın yüzeyini hesaplayalım.

Aranan alan bir dikdörtgen alanıdır ve dikdörtgenin yüksekliği ile uzunluğunun çarpımıyla hesaplanır. Bu grafikte, dikdörtgenin yüksekliği v, yani hızın değeri, genişliği ise t_2-t_1 yani zaman aralığının uzunluğudur. Bunların çarpımı $v\ (t_2\text{-}t_1)$ olacaktır olacaktır ki bu da alınan yol s'ye eşittir.

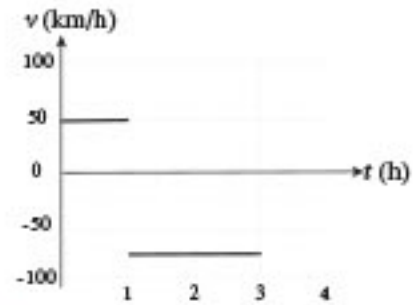


▲ **Grafik 6.** Düzgün doğrusal hareket eden bir cismin hızının grafiği

O halde, cismin hız-zaman grafiğinden, cismin zaman aralığı Δt süresince kat ettiği yol s'de hesaplanabilir.

Çözülmüş örnek 3:

Grafikte, Beni'nin sürdüğü otomobilin zaman içindeki hızı gösterilmiştir (grafik 7). Hareketin başlangıcından 2 saat sonra Beni'nin yer değiştirmesini ve aldığı yolu belirle.



▲ **Grafik 7.** Beni'nin arabasının zaman içindeki hızının grafiği.

Çözüm:

İlk saatte, Beni 50 km/s hızla giderken kat ettiği yol şudur:

$$s_1 = v_1 t_1 = 50\frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot 1\text{h} = 50\ \text{km}$$

Daha sonra Beni yönünü değiştirir ve sonraki iki saatte 75 km/s hızla gider. İkinci saatte sürüşünde kat ettiği yol şöyledir:

$$s_2 = v_2 t_2 = 75\frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot 1\text{h} = 75\ \text{km}$$

yeni sürüşünde, ilk saatteki sürüş yönünün ters yönünde.

Beni'nin kat ettiği toplam yol $s = s_1 + s_2 = 50\text{km} + 75\text{km} = 125\text{km}$

Oysa onun yer değiştirmesi, başlangıç anındaki sürüş yönünün ters yönünde 25 km'dir.

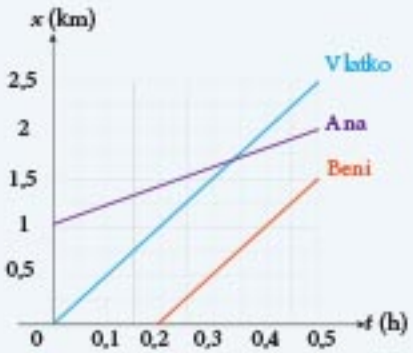
Daha Fazla Bilmek İstersen:

Işık düz bir çizgide düzgün bir şekilde hareket eder. Dolayısıyla ışığın hızı (c), doğadaki en yüksek hızdır. Herhangi bir cismin veya parçacığın hızı ve bir sinyalin iletim hızı, c değeriden büyük olamaz. Güneş'ten Dünya'ya ışık yaklaşık 8 dakika 20 saniyede ulaşır. Bu, Güneş'i gördüğümüzde, onu 8 dakika 20 saniye önceki haliyle gördüğümüz anlamına gelir. Parçacık hızlandırıcıda (Büyük Hadron Çarpıştırıcısı-LHC, CERN, İsviçre) ulaşılan en yüksek hız, ışık hızına çok yakındır ve vakumdaki ışık hızının %99,999999'udur. Daha fazla bilgi için: https://home.cern

▲ https://home.cern

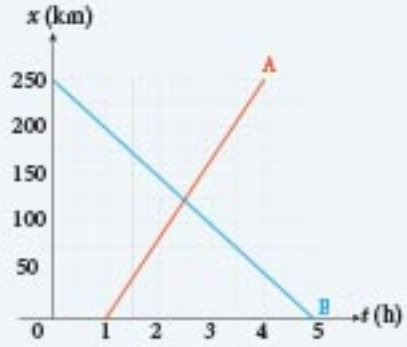
Sorular ve Görevler:

1. Grafikte üç arkadaşın hareketi gösterilmiştir. Grafikteki verilere göre belirle:
   a) Kim en büyük hızla hareket ediyor?
   b) Ana, Beni ve Vlatko'nun hızları ne kadardır?
   c) Herhangi bir anda üçü de beraber buluşacak mı?
   ç) Vlatko ve Beni bir yerde buluşacak mı?
   d) En geç kim harek etmeye başlamış ve diğerlerinden ne kadar sonrasında başlamış?
   e) Yarım saat sonrasında Ana ile Vlatko arasındaki uzaklık ne kadar olur, 1 saat sonrasında ne kadar olur?
   f) 45 dakika sonra her biri ne kadar yol almış olacaktır?



g) Ana, Beni ve Vlatko'nun hareket hızlarının zamana göre grafiğini çizin.

2. Grafikte A ve B ile işaretlenmiş iki arabanın hareketi gösterilmektedir.



a) Ayrılmadan önce ne kadar yol kat ettiler?

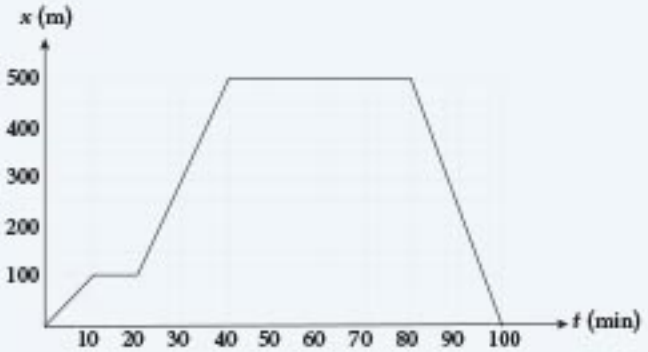
b) Arabalar ne kadar hızlı hareket ediyor?

c) Aynı anda mı ayrılıyorlar?

ç) Buluşacaklar mı? Eğer buluşacaklarsa, ne zaman ve nerede buluşacaklar?

d) İki arabanın zaman içindeki hızlarının grafiğini çiziniz.

3. Ana, arkadaşı Melek'i ziyaret ediyor. Grafik, Ana'nın eve göre zaman içindeki konumunu gösteriyor.



a) Ana'nın kat ettiği toplam mesafe nedir?

b) Ana, Melek'e ne kadar sürede ulaşabildi?

c) Ana ve Melek arasında ne kadar mesafe var?

ç) Ana hareket sırasında hızını değiştirdi mi?

d) En hızlı ne zaman hareket etti?

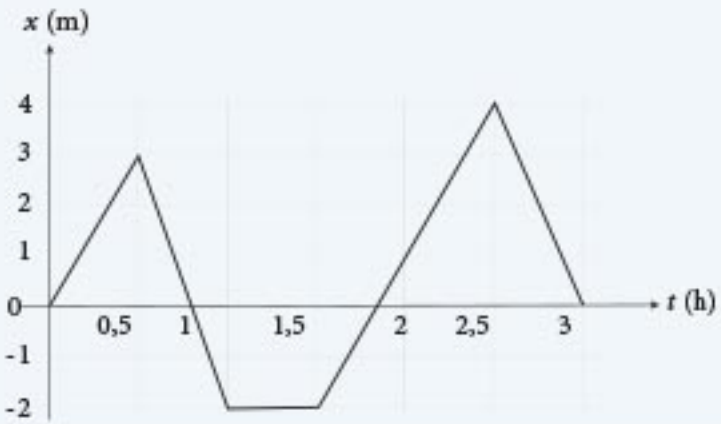
e) Misafirlikte ne kadar kaldı?

f) Evine ulaşması ne kadar sürdü?

g) Ana'nın yer değiştirmesi nekadardı?

ğ) Ana'nın hareket hızının zamana göre grafiğini çiziniz .

4. Verilen grafiğe göre bir bisikletlinin hareket alanını açıkla.



5. Matey'in evden okula doğru hareket alanı verilmiştir. Matey'in okula varması 20 dakika sürüyor. Bugün Matey okula giderken, evine 500 metre uzaklıkta bulunan fırından öğle yemeği alması için evden 5 dakika erken çıktı. Matey, tam 5 dakika sonra fırına vardı. Ödeme zamanı geldiğinde iki dakika sırada bekledi ve cüzdanını evde unuttuğunu fark etti. Koşarak 2 dakikada evine ulaştı, cüzdanını aramak için 1 dakika zaman kaybetti ve bu sefer fırına uğramadan okula gitti. Tam okul zili çaldığında okula vardı.

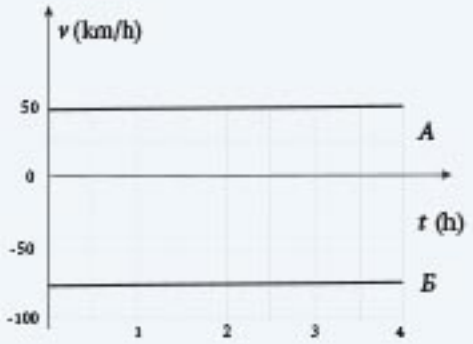
   Matey'in okula doğru hareket alanının tanımlamasına göre, Matey'in zaman içindeki konumunu ve hızını gösteren bir grafik çizin.

6. Grafikte başlangıçta aynı yerde bulunan iki arabanın hareket alanı gösterilmektedir.

   a) İki arabanın 3 saatte kat ettiği mesafeyi hesaplayınız.

   b) 2 saat sonra başlangıç noktasına en uzak olan araç hangisidir?

   c) Başlangıçtan itibaren 2,5 saat sonra arabalar arasındaki mesafe ne kadar olur?



7. Aynı yerden iki yaya hareket etmeye başlar. Birincisi, düzgün doğrusal hareketle $v_1 = 2\frac{\text{m}}{\text{s}}$ hızla ilerler, ikincisi ise $v_2 = 3\frac{\text{m}}{\text{s}}$. hızla ilerler. Onların aralarındaki mesafeyi $t = 10\text{s}$. sonra hesapla. Görevi hem analitik hem de grafiksel yolla çöz.

8. Bir yerden bir bisikletçi yola çıkar ve doğrusal olarak sabit hızla hareket eder $v_1 = 20\frac{\text{km}}{\text{h}}$. Aynı yerden $\Delta t = 20\text{s}$ gecikmeyle, başka bir bisikletçi ters yönden çıkar ve sabit hızla $v_2 = 18\frac{\text{km}}{\text{h}}$ hareket eder. Soru: İlk bisikletçinin hareketinin başlangıcından itibaren geçen süre $\Delta x = 1\text{km}$ olduğunda t kaçtır?

2.3 Düzgün Hızlanan Doğrusal Hareket

Günlük hayatta hareketlerin çoğu düzgün değildir.

Örneğin, bir araba yolculuğu boyunca aynı hızda hareket etmez. Araba otoparktan başlar, trafik ışıklarında durur ve sonra yoluna devam eder. Bu, arabanın hızının hareketi sırasında sürekli değiştiği anlamına gelir. Bu tür hareketlere değişken hareket denir. Hız değiştiğinde oluşan hareketleri tanımlamak için birkaç fiziksel büyüklüğe daha aşina olacağız .

Ortalama Hız

Ortalama hız, bir cismin belli bir zaman diliminde hareket ettiği „ortalama" hızdır.

Cismin toplam yer değiştirmesi ile toplam hareket süresi arasındaki orana ortalama hareket hızı denir.

Ortalama hareket hızı aşağıdaki denklemle verilir:

$$\vec{v}_{or} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}.$$

Değişken doğrusal hareket sırasında skaler formdaki ortalama hareket hızı, kat edilen toplam mesafe ve bu mesafeyi kat etmek için gereken süre olarak yazılabilir, yani

$$v_{or} = \frac{s}{\Delta t}.$$

Ortalama hızın ölçü birimi metre/saniyedir (m/s).

Çözülmüş örnek 1:

Bir köpek, sahibi tarafından kendisine atılan topu yakalamaya çalışıyor (Resim 1). Hareketin ilk saniyesinde köpek, $s_1 = 3\text{m}$, ikinci saniyede $s_2 = 4\text{m}$ mesafe kat eder ve üçüncü saniyede ise $s_3 = 5\text{m}$ bir mesafe kat eder. Köpeğin tüm mesafe boyunca katettiği ortalama hızı hesapla



▲ Şekil 1. Köpek top peşine koşuyor

Verilen:

$$s_1 = 3\,\text{m}\ ,\ s_2 = 4\,\text{m}\ ,\ s_3 = 5\,\text{m}$$

$$\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t_3 = 1\,\text{s}$$

İstenen:

$v_{sr} = ?$

Çözüm:

Ortalama hızın temel denklemini şöyle yazarız $v_{sr} = \frac{s}{\Delta t}$

çünkü köpek farklı zaman aralıklarında düzgün doğrusal fakat farklı hızla hareket eder. Toplam kat edilen mesafe, tek tek geçilen yolların toplamıdır s_1, s_2 ve s_3.

Aynı şekilde toplam harcanan zamanı da elde edebiliriz. Buna göre aşağıdaki gibi yazabiliriz:

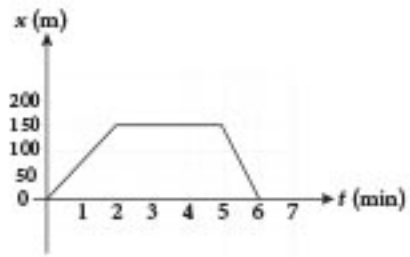
$$v_{sr} = \frac{s_1 + s_2 + s_3}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3}$$

$$v_{sr} = \frac{s_1 + s_2 + s_3}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3} = \frac{3\,\text{m} + 4\text{m} + 5\text{m}}{1\text{s} + 1\text{s} + 1\text{s}} = \frac{12\text{m}}{3\text{s}} = 4\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

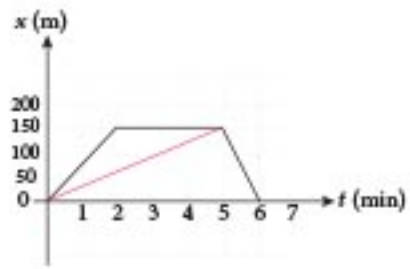
Değişken harekete ortalama hız eklenerek, yolun bir bölümüne değişken hareket, ortalama hıza eşit hızla yapılan düzgün doğrusal hareket olarak gösterilebilir .

Bu hız, cismin zamana göre konum grafiğinde de belirlenebilir ve cismin herhangi iki konumu arasında aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

$$v_{sr} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$



▲ Grafik 1 a. Değişken hızla hareket ettiğinde Sara'nın konumu



▲ Grafik 1 b. Sara'nın değişken bir hızla hareket ettiği bir zamandaki konumu . Kırmızı çizginin eğimi, Sara'nın ilk 5 dakikadaki ortalama hızını verir.

Çözülmüş örnek 2:

Sara'nın ilk 5 dakikadaki ortalama hızını belirleyelim. Hareket ettiği yön grafik 1'de verilmiştir .

Çözüm:

Beş dakikanın sonunda Sara, 150 m koordinatındaki dükkânda bulunuyordu.

Sara'nın ilk beş dakikadaki ortalama hızı şöyledir:

$$v_{sr} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{150\,\text{m}}{5\,\text{min}} = 30\frac{\text{m}}{\text{min}}$$

Anlık Hız



▲ Şekil 2. Aracın 50 km/s hızla hareket ettiğini gösteren hız göstergesi

Hareket halindeyken, tüm ulaşım araçları hareket hızını sınırlayan trafik işaretlerine uymalıdır. Sadece ortalama hareket hızını biliyorsak, her hareket anında hız sınırına uyulup uyulmadığı hakkında bilgi sahibi olamayız. Bu örnekten çıkarak, zamanın her anında cismin hızını veren 'anlık hız' adlı yeni bir fiziksel büyüklüğün tanıtılması gerekliliğini anlayabiliriz. Bu hızın araçlar için ne anlama geldiği, sahip oldukları hız göstergelerinden okunabilir (Şekil 2).

Anlık hız, cismin çok kısa bir zaman aralığında yaptığı yer değiştirme ile hesaplanır, öyle ki;

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \text{ eğer } \Delta t \to 0$$

Veya cisim düz bir çizgide hareket ettiğinde:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \text{ eğer } \Delta t \to 0$$

İvme

İsviçreli AMZ Racing ekibi, 2023 yılında elektrikli bir otomobille dünya rekoru kırarak 100 km/sa (veya 27,78 m/s) hıza yalnızca 0,956 saniyede ulaştı. Bu, aracın durma noktasından hıza bir saniyeden kısa sürede ulaştığı anlamına gelirken, otoyolda bu hıza birkaç saniyede ulaşılıyor. Hızlı hız değişimi, yani 0'dan 100 km/sa hıza ulaşma süresi, otomobillerin kabiliyetlerinin en önemli göstergelerinden biridir. Bu hareket sırasında, otomobilin hızı her an değişir.

Birim zamandaki hız değişimine ivme denir.

İvme ölçüm birimi metre ve saniyenin karesidir (m/s^2). Vucüt hızının $1\frac{m}{s^2}$ saniyeden itibaren en hızlı olduğunda $1\frac{m}{s}$ olarak değişiyor.

İvme hareket sırasında değişebilir, bu yüzden genellikle **ortalama ivme** (hız) kullanılır ve şu formülle belirlenir:

$$\vec{a}_{ar} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

Ortalama ivme, yönü hız değişim vektörünün yönüyle çakışan bir vektör niceliğidir.

$\Delta\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$.

Ortalama ivme büyüklüğü için $a_{or} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ elde edilir.

Bir cismin ivmesi, cismin hızı arttığında pozitif ($a > 0$) ve cismin hızı azaldığında, yani yavaşladığında negatif ($a < 0$) olabilir..

Çözülmüş örnek 3:

Bir aracın hızı 5 saniyede saatte 54 km/h'den, 72 km/h'ye çıkmıştır. Aracın ortalama ivmesi kaçtır?

Verilen:

$$v_1 = 54\,\text{km/h} = 54\frac{1000\,\text{m}}{3600\,\text{s}} = 15\frac{\text{m}}{\text{s}};\ v_2 = 72\,\text{km/h} = 72\frac{1000\,\text{m}}{3600\,\text{s}} = 20\frac{\text{m}}{\text{s}};\ \Delta t = 5\,\text{s}$$

İstenilen:

$a_{or} = ?$

Çözüm:

$$a_{or} = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t} = \frac{20\ \text{m/s} - 15\ \text{m/s}}{5\ \text{s}} = 1\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$



▲ Şekil 3. Duran halden düz bir yolda hareket eden bir araba.

Düzgün İvmeli Doğrusal Hareket

İvan, durma halinden harekete geçen ve doğrusal bir yörüngede ilerleyen bir otomobilin hareketini inceliyor (şekil 3).

Arabanın ivmesini hesaplamak için, aracın hız göstergesinden her 5 saniyede bir okunan hızı kaydetti. Sonuçları bir tabloya (Tablo 1) girdi ve arabanın hızını m/s cinsinden zamana bağımlılığını gösteren bir grafikte sundu.

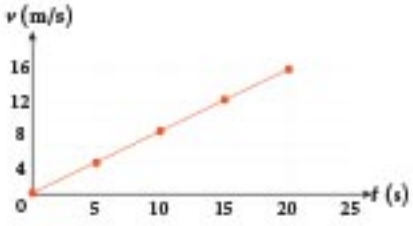
t (s)	v (km/h)	v (m/s)
0	0	0
5	15	4, 2
10	29	8,1
15	43	11,9
20	58	16,1

▲ Tablo 1: Aracın zamana göre hızı

Hızın zamana göre grafiğinden (grafik 2) üzerinden, otomobilin ivmesini her 5 saniyede hesapladı ve bunun sabit olduğunu buldu, yani

$$\frac{v_1 - v_0}{t_1 - t_0} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{v_3 - v_2}{t_3 - t_2} = \frac{v_4 - v_3}{t_4 - t_3} = const = 2,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Arabanın düzgün ivmelendiği sonucuna vardı. Bu hareketin, okulda öğrendiği düzgün ivmeli harekete bir örnek olduğunu fark etti. Ayrıca, hareket yolunun düz bir çizgi olduğunu da hatırladı.



▲ Grafik 2. Aracın zamana göre hızının grafiği

Bir cismin ivmesinin sabit olduğu, doğrusal bir çizgi üzerindeki hareketine düzgün doğrusal veya düşük hızlı hareket denir.

Zaman içindeki ivme bir grafikte gösterilebilir (grafik 3). Grafiğin, zaman eksenine (apsis ekseni) paralel düz bir çizgi olduğu görülebilir. Bu, ivmenin herhangi bir andaki değerinin değişmediği anlamına gelir.

Eşit İvmeli Doğrusal Harekette Hız Yasası

İvme denkleminden

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{\Delta t}$$

Ivan, arabanın hızının her an nasıl değiştiğini gösteren denklemi yazdı

$$v = v_o + a\,\Delta t$$

Arabanın herhangi bir andaki hızının belirlenmesini sağlayan denkleme **hız yasası** denir.

Araba hareketsiz halden, yani $t_0 = 0$ s0s'den hareket ettiği için hızı $v_0 = 0$ m/s'dir. İvan, içinde bulunduğu arabanın hız yasasını $v = at$ olarak yazmış.



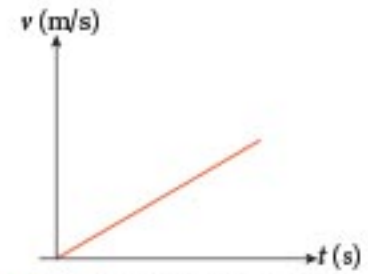
▲ Grafik 3. Eşit ivmeli hareket sırasında zamana göre ivmenin grafiği.

Düzgün İvmeli Doğrusal Hareket İçin Hız Grafiği

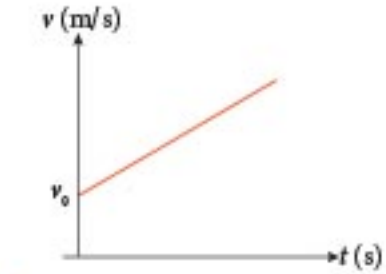
Cisimlerin hareket hızlarının grafikleri, cismin hızının zamana göre nasıl değiştiğini gösteren çizgilerdir.

Cisimlerin düzgün ivmeli doğrusal hareketi durumunda, cismin başlangıç anında hareketsiz durumdan mı hareket ettiğine yoksa başlangıç hızının artıp azalabileceğine bağlı olarak grafikler farklıdır (grafik 4).

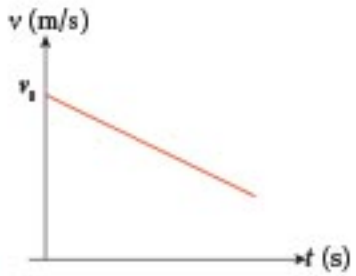
a) cisim hareketsiz bir halden başlar
b) cismin başlangıçta hızı v_0 ve zamanla ise bu hız artar



▲ Grafik 4a. Zaman içinde eşit ivmeli hareketin hız grafiği



▲ Grafik 4b. Zaman içinde eşit ivmeli hareketin hız grafiği



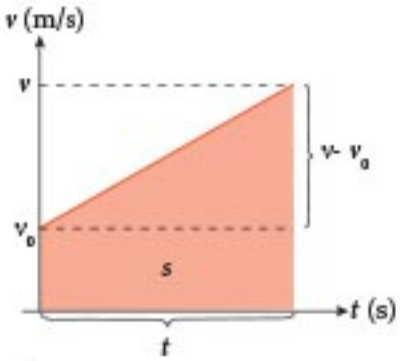
▲ **Grafik 4c.** Zaman içinde eşit ivmeli hareketin hız grafiği

c) cismin başlangıç hızı v_0 ve zaman geçtikçe hız azalır

Bir cismin ivmesi hız grafiğinden belirlenebilir. İvme, hızın zamana bağlı değişimini veren doğrunun eğimidir.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

Doğrunun eğimi ne kadar büyükse, cismin ivmesi de o kadar büyük olur. Grafik 4c)'den de görülebileceği gibi, cismin hızı azaldıkça ivmesi de negatif olur.



▲ **Grafik 5:** Cismin hızının zamana göre değişimini veren doğrunun altında kalan taralı bölgenin alanı, cismin aldığı s mesafesine eşittir

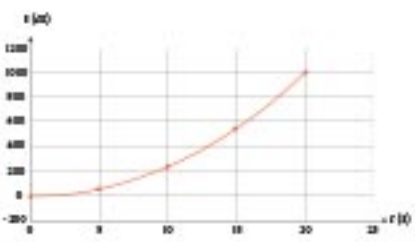
Düzgün doğrusal hareketi ele aldığımızda, cismin zaman içindeki hızının grafiğinin altında kalan alanın, kat edilen mesafeye eşit olduğunu gördük. Aynı şey, düzgün ivmeli hareket için de geçerlidir.

5 numaralı grafiğin alanını hesaplayalım. Elimizde iki geometrik şeklimiz var, yüksekliği v_0 ve uzunluğu t olan bir dikdörtgen ve kenarı t yüksekliği ise $v - v_0$ bir üçgen:

$$s = v_0 t + \frac{(v - v_0)t}{2}$$

Bu denklemin ikinci terimini t ile çarpıp böldüğümüzde, ve bu förmülü $a = \frac{v - v_0}{t}$ göz önünde aldığımızda $s = v_0 t + \frac{at^2}{2}$ elde etmiş oluruz.

Düzgün ivmeli doğrusal harekette kat edilen yol, cismin hareket süresinin karesiyle doğru orantılıdır.



▲ **Grafik 6.** Düzgün ivmeli harekette kat edilen mesafe

İvan, elde edilen ivme sonuçlarını kullanarak bu formüle göre kat edilen mesafeyi hesapladı. Elektronik tablo yazılımında (örneğin MS Excel), aracın zaman içinde kat ettiği mesafenin bir grafiğini çizdi (grafik 6). Grafik, mesafenin zamana göre ikinci dereceden bağımlılığını, düz bir çizgi değil, bir parabol olarak göstermektedir.

Parabol, $y = a + bx + cx^2$ biçimindeki ikinci dereceden (kuadratik) fonksiyonun grafiğidir

t (s)	s (m)
0	0
5	25
10	250
15	562
20	1000

▲ **Tablo 2:** Zaman içinde aracın kat ettiği mesafe

Çözülmüş örnek 4:

Bir araç 50 km/s hızla hareket ediyor. Yolda aniden bir engel çıkıyor ve araç durmak zorunda kalıyor. Sürücünün engeli fark ettiği andan frene bastığı ana kadar geçen tepki süresinin 1,5 saniye olduğunu varsayarak, aracın ivmesi 5 m/s² ise durmadan önce kat edeceği mesafeyi hesaplayın.

Verilen:

v_0=50 km/h = 13,9 m/s; t =1,5 s; a = - 5 m/s²

İstenilen: s = ?

Çözüm:

Arabanın durana kadar kat ettiği toplam mesafe iki kısma ayrılabilir.

Birinci kısım, aracın engeli fark ettiği andan frene bastığı ana kadar kat ettiği mesafedir. Bu kısımda araç düz bir çizgide eşit şekilde hareket eder. Aracın bu süre zarfında kat edeceği mesafe şu formülle belli olur:

$$s_1 = v_0 t = 13,9\frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1,5\text{s} = 20,8\ \text{m}$$

Yolun ikinci kısmı, sürücünün frene bastığı kısımdır. Yolun bu kısmında araç sabit bir ivmeyle hareket eder. Hızı azaldığı için ivmesi negatiftir. Aracın bu sürede kat edeceği mesafe şu formülü kullanılarak hesaplanabilir:

$s_2 = v_0 t_1 + \frac{a t_1^2}{2}$ "t_1" arabanın fren yapması için gereken zamandır .

Bu formülde, aracın fren yapması için gereken süre bilinmemektedir. Ancak , arabanın son hızının — olacağı bilinmektedir.

Zaman aşağıdaki formülle belli olur

$v = v_o + a\,t_1$ zamanı için t_1 $t_1 = \frac{v - v_0}{a}$ formülünü elde ederiz.

Sayısal değerler yerine konursa zaman için $t_1 = \frac{-v_0}{a} = \frac{-13,9\frac{\text{m}}{\text{s}}}{-5\frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 2,8\text{s}$ elde edilir

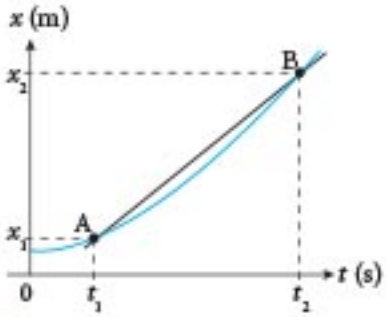
Daha önce yazdığımız, kat ettiği mesafe formülünde, t_1'in yerine bu değeri koyuyoruz: :

$$s_2 = v_0 t_1 + \frac{a t_1^2}{2} = 19,3\,\text{m}$$

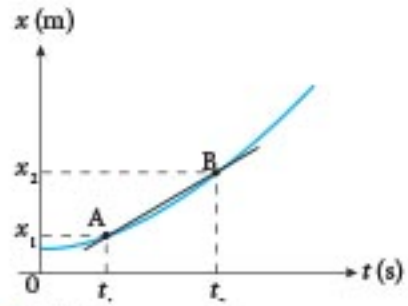
Fren yapmadan önce otomobilin kat edeceği toplam yol için elde ettiğimiz sonuç:

$$s = s_1 + s_2 = 40,1\text{m}$$

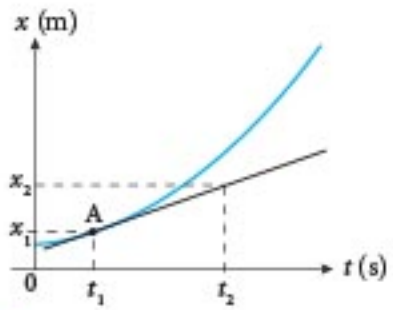
40 metreden uzak bir mesafe hiç de az değil! Bu yüzden trafikte hem sürücülerin hem de yayaların dikkatli olması önemli.



▲ Grafik 7. Cisim düzgün ivmeli hareket ettiğinde zaman aloşındaki cismin konumunun grafiği



▲ Grafik 8.



▲ Grafik 9.

Daha Fazla Bilgi İçin:

Doğrusal bir çizgi üzerinde düzgün hareket eden bir cismin konumu (grafik 7) ve kat ettiği mesafenin grafiklerinden, herhangi bir zaman aralığı Δt 'deki hareketin ortalama hızı belirlenebilir .

Cismin Δt zaman aralığındaki ortalama hızı aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

$$v_{or} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

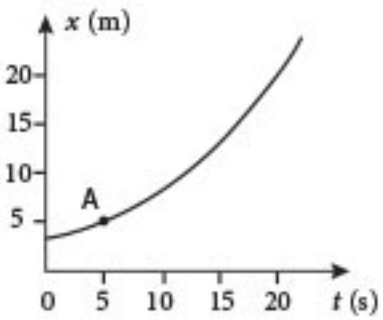
Bu formül AB doğrusunun eğimini verir.

Ancak grafikten, cismin herhangi bir andaki anlık hızı da belirlenebilir.

Zaman aralığı Δt 'yi azaltıyoruz (Grafik 8). AB doğrusunun eğimi, cismin hareketini Δt süresinde tanımlayan eğrinin teğetine yaklaşır. Sıfıra yakın bir zaman aralığında, doğrunun eğimi A noktasındaki eğrinin teğetiyle tamamen çakışır (Grafik 9). Bu doğrunun eğimi, A noktasında cismin anlık hızını verir.

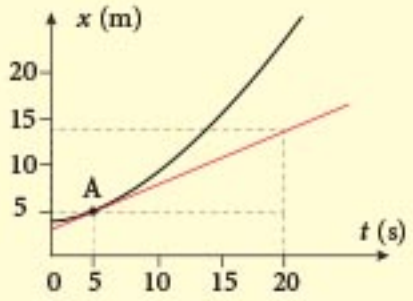
Çözülmüş örnek 5:

Grafikte hareketi verilen A noktasındaki Aida'nın anlık hızını bulunuz.



Çözüm:

A noktasındaki eğriye teğet olan doğrunun eğiminden, Aida'nın A noktasındaki hızı elde edilir



$$v = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{13\text{m} - 5\text{m}}{20\text{s} - 5\text{s}} = 0,53\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

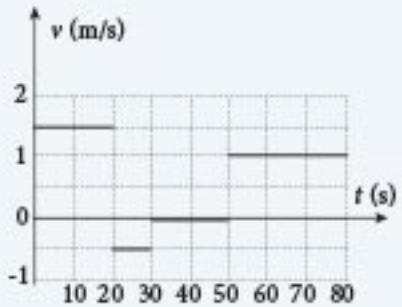
Sorular ve Görevler:

1. Ortalama hız ile anlık hız arasındaki farkı bir örnekle açıklayınız.

2. Bir bisikletçi yolun ilk yarısında $v_1 = 10\frac{\text{km}}{\text{h}}$ hızla, ikinci yarısında ise $v_2 = 25\frac{\text{km}}{\text{h}}$. hızla gitmektedir. Bisikletçinin tüm yol boyunca ortalama hızını belirle.

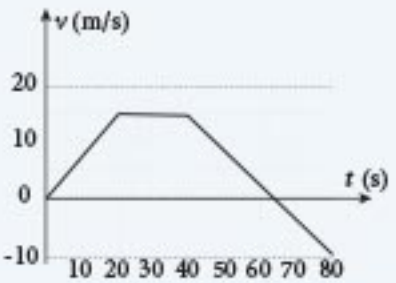
3. Yolun ilk yarısını bir drone $t_1 = 2\text{s}$ sürede, ikinci yarısını $t_2 = 10\text{s}$ sürede kat eder. Drone'un toplam kat ettiği yol $s = 45\text{m}$ ise, ortalama hızını belirle.

4. Düz bir çizgide hareket eden bir yaban arısının hızı grafikte verilmiştir.



   a) Yaban arısının ortalama hızını belirleyiniz .
   b) Yaban arısının 80 saniye içerisinde kat ettiği mesafeyi bulunuz
   c) Yaban arısının 80 saniye sonraki yer değiştirmesini belirleyiniz.
   ç) Yaban arısının hareket yönünü değiştirir mi?
   d) Yaban arısı, ayrıldığı yerden geri dönecek mi? Eğer dönecekse, ne zaman?

5. Bir arabanın hızı grafikte verilmiştir.



   a) Arabanın zaman içindeki hareketini açıklayın.
   b) Aracın zamana göre ivmesinin grafiğini çizin.
   c) Arabanın hızı hiç sıfıra ulaştı mı? Eğer öyleyse, ne zaman?

ç) Araba hareket yönünü değiştirir mi?

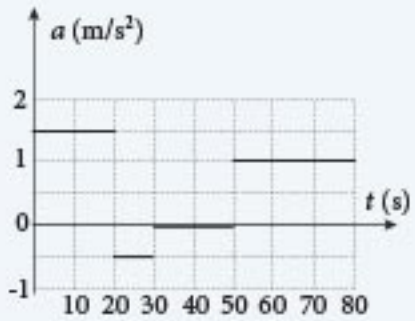
d) Hangi aralıkta en büyük ivmeyle hareket etmiştir?

e) Arabanın kat edeceği toplam mesafeyi hesaplayınız

6. Bir elektrikli scooter, $t = 20\text{s}$ sürelik bir zamanda olduğu yereden hareket eder ve $a = 0,5\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ ivemeyle düzgün ivmeli doğrusal hareket yapar. Yolun sonundaki hızını belirleyi.

7. Bir otomobil, durduğu yerden hareket ederek düzgün ivmelenmiş doğrusal bir hareket yapıyor ve $t = 1,5\ \text{min}$ dk sürede $s = 1\ \text{km}$ yol alıyor. Yolun sonunda hızını ve ivmesini hesaplayınız.

8. Bir elektrikli scooter'ın ivme grafiği verilmiştir. Scooter başlangıçta hareketsiz olsaydı:

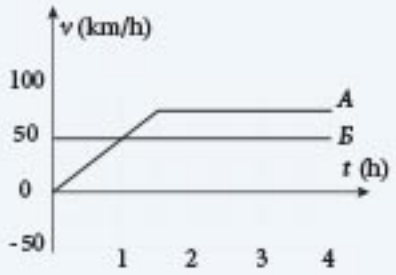


a) Scooter'ın 20 sn, 30 sn, 50 sn ve 80 sn sonraki hızını belirleyiniz.

b) Scooter'ın hız grafiğini çiziniz .

c) Scooter'ın kat edeceği toplam mesafe nedir?

9. Grafikte aynı yerden hareket eden iki aracın hızları gösterilmektedir.



a) Hareket alanlarını açıklayın.

b) Arabaların zamana göre ivmelerini belirleyiniz.

c) Bu arabalar hiç eşit hıza sahip olurlar mı; olursa ne zaman olurlar?

ç) Nerede ve nasıl karşılaşacaklar?

d) 3 saatte ne kadar yol kat ederler?

e) İki arabanın zaman içinde kat ettiği mesafenin grafiğini çiziniz.

f) Her iki arabanın zaman içindeki ivmesinin grafiğini çizin.

Deney: Eğimli bir düzlemde yuvarlanan bir topun hızının ve ivmesinin ölçülmesi.

Görev: Bir videonun yardımıyla, eğik bir düzlemde hareket eden bir topun ivmesini belirleyin.



▲ Şekil 1. Deneyin kurulumu

Gerekli ekipman:

- Eğimi değiştirilebilen eğimli bir düzlem. Kaldırılabilen daha uzun bir düzlem de kullanılabilir; örneğin, bir kitap yığınının üzerinde duran bir tahta veya metal levha.
- Bir top, örneğin bir tenis topu. Arka planla güçlü bir kontrast oluşturması için güçlü bir renge sahip bir top seçin. Örneğin, arka planı beyaz bir duvar olan yeşil veya kırmızı bir top.
- Bir mezura FizziQ uygulamasını kullanıyorsanız, çerçevenin herhangi bir yerinde, örneğin 1 m gibi bir kalibrasyon uzunluğunu işaretlemeniz yeterlidir. Bu, doğrudan belirtilen düzlemin üzerinde olabilir, ancak yine de videoda açıkça görülebilmelidir.
- Video ölçümü için tripodlu bir kamera veya telefon. Telefon yüzeye başka bir şekilde de bağlanabilir, ancak sabitlenmelidir.
- Videoyu oynatmak ve analiz etmek için yazılım. Bu deneyde, hareket analizi için yerleşik bir yazılıma sahip ücretsiz mobil uygulama FizziQ'yu (www.fizziq.org/en) kullanmanızı öneririz. Deney, daha az hassasiyetle, normal video izleme yazılımlarıyla da yapılabilir.

▲ www.fizziq.org/en

Ölçüm Sırasında İzlenecek Prosedür:

1. Eğimli düzlemin yan tarafına metre bandı yerleştirilir. İşaretlerin videoda görünebilir olmasına dikkat edilmelidir.
2. Kamera/telefon bir tripoda yerleştirilir veya başka bir şekilde sabitlenir.
3. Çekim başlatılır.
4. Top, eğimli düzlemin tepesinden serbest bırakılır. Topun durgunluktan, yani başlangıç hızı verilmeden bırakılmasına dikkat edilir.
5. Aynı eğim için işlem birkaç kez tekrarlanır.
6. Video, yalnızca incelenecek hareketin görüneceği şekilde kısaltılır.

Uygulaması şu şekilde çalışır:

7 Uygulamada, Enstrümanlar menüsünü (Instruments) ve ardından Hareket Analizi (Motion analysis) aracını seçin.

8 „Video Hareket Analizi“ (Video Motion Analysis) seçeneğini seçin.

9 Videonun ilk karesi ekranda belirir ve üzerinde Ruler Length (m) yazan kırmızı bir balnocuk yanıp söner. Bu, uzunluk kalibrasyonu yapılması gerektiği anlamına gelir. Koordinat başlangıcı (Origin), ilk karedeki topun konumuna ayarlanır. „End“ olarak işaretlenen diğer nokta, metre bandına veya daha önce 1 m olarak ölçülen uzunluğa yerleştirilir. Baloncuk, kalibrasyon uzunluğunu, bizim durumumuzda 1 m olarak gösterir.

10 Ardından, „Pointing“ yazan bir baloncuğu yanıp söner. Bu bölümde, videonun her karesindeki topun konumunun işaretlenmesi gerekir. İzleme topuna basmanız gerekir ve yazılım otomatik olarak bir sonraki kareye geçecektir. Bir kareyi atlamak veya geri dönmek isterseniz, ekrandaki okları kullanabilirsiniz.

11 İstediğiniz konumları işaretledikten sonra, ekranın sağındaki „Results“ ile işaretlenmiş baloncuğa tıklayın. Sunulan seçeneklerden, T(s) zamanını ve x(m) ve y(m) koordinatlarını görüntülemeyi seçin.

12 Sağdaki „Notebook“ baloncuğuna tıkladığınızda, sonuçlar bir tabloda görüntülenecektir. Sonuçlar, sağ üst köşedeki paylaşım simgesiyle işaretlenmiş seçenek kullanılarak indirilebilir (). „CSV veya Python dosyası oluştur“u ve ardından „CSV ondalık noktası“nı seçin. Veriler daha sonra herhangi bir elektronik tablo yazılımında (örneğin MS Excel) kullanılabilir.

Sonuçlar:

Veriler iki koordinatta verilmiştir. İlk olarak, hareketin her anındaki yer değiştirme aşağıdaki formüle göre hesaplanmalıdır: $\Delta r = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$, $\Delta x = |x - x_0|$ ve $\Delta y = |y - y_0|$. Birinci satırdaki sonuçlar bize x_0 ve y_0 değerlerini verir, x ve y ise her sonraki noktanın değerleridir.

Sonraki adımda alınan yol hesaplanmalıdır. Hareket doğrusal ve tek yönde olduğundan, alınan yol yer değiştirmeye eşit olacaktır, yani $\Delta r = s$.

Topun aldığı ivmeyi aşağıdaki formülü kullanarak hesaplayın

$s = v_0 t + \frac{at^2}{2}$ öyle ki v_0=0 m/s ve zaman t değerlerini tablodan FizziQ verileriyle, T (s) ile işaretlenmiş.
Ayrıntılı veri işleme yapınız:

İvmeye ait ortalama değeri bulun.

Ölçümün her noktasında ivmenin mutlak hatasını bulun.

Mutlak hatanın ortalama değerini bulun.

Bağıl hatayı bulun.

Son olarak ta, tablodaki aşağıdaki sütunları doldurulmuş olmalısınız:

N	T (s)	x (m)	y (m)	Δx (m)	Δy (m)	Δr (m)	s (m)	a (m/s²)	Δa (m/s²)
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Kutunun eğimin sonundaki hızını, aşağıdaki formülü kullanarak hesapla $v = v_0 + at$.

Kat edilen mesafenin zamana bağlı bir fonksiyonu olarak gösterilen bir grafikte kat edilen mesafenin değerini temsil eder.

Sonuçları analiz edin ve öğretmeniniz ve sınıf arkadaşlarınızla tartışın. Aşağıdaki soruların analiz boyunca size rehberlik etmesine izin verin:

- Tüm ölçümler benzer ivme mi verir? Neden farklılıklar vardır ?
- Bu deney sırasında hızdaki değişim nasıl görünüyor?
- Deneyi nasıl geliştirirsiniz?
- Neden sadece metre ve kronometre ile ölçüm yapmak yerine video analizi kullanmak daha faydalıdır?
- Eğimli bir düzlemde yapılan bu harekete benzer günlük durumlar nelerdir?
- Eğimli düzlemin eğimi daha büyük/daha küçük olması harekette ne değişirdi ? Neden?

Özet:

- Mekanik hareket, bir cismin veya cismin parçalarının, zamanla başka bir cisme göre konumunun değişmesidir.
- Hareket eden cisim hareketli cisim olarak adlandırılır. Hareketin incelendiği cisim ise referans cismi olarak adlandırılır.
- Bir referans cismine bağlı koordinat sistemi ise referans sistemi olarak tanımlanır.
- Hareket görecelidir; bir cisim bir referans sisteminde hareketsiz olabilir, ancak aynı anda başka bir referans sistemine göre hareket ediyor olabilir.
- Cismin hareketi tanımlanırken boyutları ihmal edilirse, o cisim maddesel nokta olarak kabul edilir. Maddesel nokta kütleye sahip olan fakat hacmi olmayan bir cisimdir.
- Cismin hareket ettiği yol yörünge olarak adlandırılır.
- Yörüngenin şekline göre hareketler doğrusal ve eğrisel olarak ayrılır.
- Yörüngenin uzunluğu kat edilen mesafedir.
- Bir cismin başlangıç ve bitiş konumları arasındaki en kısa mesafe, o cismin yer değiştirmesini gösterir.
- Doğrusal hareketteki yer değiştirme modülü $\Delta x = |x - x_0|$, x'in olduğu yerde cismin ulaştığı son konumdur, a x_0 ise cismin başladığı ilk konumdur.
- Cismin toplam yer değiştirmesi ile toplam hareket süresi arasındaki ortalama hareket hızı denir: $\vec{v} = \dfrac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$.
- Cismin konum grafiği, cismin konumunun zamanla nasıl değiştiğini gösteren düz bir çizgidir.
- Bir cismin hız grafiği, cismin her andaki hızını gösterir .
- Cismin toplam yer değiştirmesi ile toplam hareket süresi arasındaki ortalama hareket hızı denir: $\vec{v}_{sr} = \dfrac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$.
- Bir cismin belirli bir hareket anındaki hızına anlık hız denir.
- İvme, birim zamandaki hız değişimidir: $\vec{a}_{sr} = \dfrac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$.
- Cismin ivmesinin sabit olduğu doğrusal hareket, düzgün doğrusal ivmeli hareketi temsil eder.
- Düzgün ivmeli doğrusal harekette hız yasası:

  $v = v_o + a\,\Delta t$.

- Düzgün ivmeli doğrusal harekette kat edilen mesafe, cismin hareket süresinin karesine doğrudan bağlıdır:

  $s = v_0 t + \dfrac{at^2}{2}$.

2.4 Cisimlerin Karşılıklı Etkileşimi. Kuvvet ve Kuvvetin Etkileri

Şimdiye kadar cisimlerin nasıl hareket ettiğini, yörüngelerine, hızlarına, ivmelerine bakarak araştırdık... ama neden hareket ettiklerini kendimize sormadık. Bazı örneklerde araba sabit bir hızla, bazılarında ise ivmelenerek hareket ediyordu. Bu örneklerde farklı olan nedir?

Bisiklet sürerken pedal çevirmeyi bıraktığınız anda neden yavaşlamaya başlarsınız? Aynı şey Ay'da olmazken neden sürekli yörüngemizde döner? Zıpladığınızda Dünya sizi geri sıçratırken roketler diğer gök cisimlerine ulaşmayı başarıyor? Bir cismi sabitlemek için neden vidalar, çıkarmak için neden anahtar kullanırız?

Cisimlerin hareketinin nedenleri mekaniğin bir dalı olan dinamik tarafından açıklanır. Kinematiğin bu kardeşi, kuvvet ve kütle gibi fiziksel nicelikleri kullanarak, çevremizdeki cisimlerin hareketine neyin sebep olduğunu ve neyin değiştirdiğini anlatır.

Kütle ve kuvvetin fiziğe göre neyi temsil ettiğine bakalım.

Kuvvet

Yayı çektiğinizde, üzerine bir kuvvet uygularsınız ve yayı uzar (Şekil 1). Benzer şekilde, sandalyeye oturduğunuzda da sandalyeye bir kuvvet uygularsınız. Rüzgâr, yel değirmenlerine etki eder ve kuvvetini kullanarak pervanelerini hareket ettirir.



▲ Şekil 1. Yay, bir kuvvetin etkisiyle uzar.

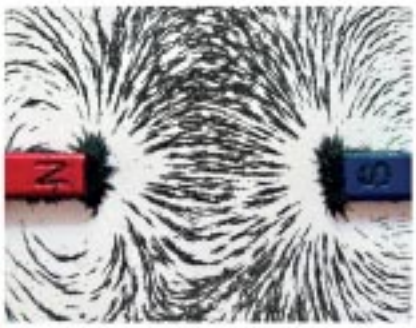
Kuvvet, cisimler arasındaki etkileşimi tanımlar.

Önceki örneklerde, cisimler arasındaki etkileşim temastır, yani iki cisim birbirleriyle temas halindeyken etkileşime girer.

Bu etkileşime ek olarak, temassız bir etkileşim de mevcuttur. Bir cismi bıraktığımızda, Dünya'nın kütle çekim kuvveti nedeniyle düşmeye başlayacağını biliyoruz. Cisim ve Dünya temas halinde olmasa da, Dünya cisim üzerinde etki eder. Bu etkileşim, **fiziksel bir alan aracılığıyla gerçekleşir** ; bu durumda bu alan kütle çekim alanıdır.

Fiziksel alan, bir kuvvetin doğrudan temas olmaksızın hissedilebildiği alandır .

Temassız etkileşimin gözlemlenebileceği bir diğer örnek ise iki mıknatısın etkileşimidir. İki mıknatıs, etraflarında bulunan manyetik alan sayesinde birbirlerini iterler veya çekerler (Şekil 2).



▲ Şekil 2. Her mıknatısın etrafında bir manyetik alan oluşur ve mıknatıslar bu alan aracılığıyla birbirleriyle etkileşime girer .

Makroskobik düzeyde gördüğümüz tüm temas kuvvetlerinin, mikroskobik düzeyde incelendiğinde aslında temassız etkileşimlerin bir sonucu olarak ortaya çıktığı gösterilmiştir. Örneğin, bir sandalyeye oturduğunuzda, vücudunuzun molekülleri ile sandalyenin molekülleri elektromanyetik alanlar aracılığıyla etkileşime girer, yani birbirlerini iter.

Kuvvetin Etkileri

Bir kuvvet bir yayı gerebilir veya sıkıştırabilir, bir topu durdurabilir veya hareket ettirebilir ya da bir odadaki kapıyı açabilir. Cisimler arasındaki etkileşim sonucunda, bir kuvvetin neden olduğu etkiler farklıdır. Bir kuvvetin ne gibi etkilere yol açabileceğini inceleyelim.

1. Kuvvet, cisimlerin şeklini ve hacmini değiştirebilir. İki araç arasındaki çarpışmada kuvvetin etkisi altında cisimler deforme olur (Şekil 3).

Cisimlerin şekil ve hacimlerinde meydana gelen değişimlere deformasyon denir.



▲ Şekil 3. Bir çarpışmadan sonra araçların deformasyonları

Dış kuvvetin etkisi sona erdikten sonra orijinal hallerine dönen cisimlere elastik cisimler, deformasyonlara ise **elastik deformasyonlar** denir. Elastik cisimler şunlardır: çelik tel, lastik top, lastik bant, yay vb.

Cisim, dış kuvvetin etkisi sona erdikten sonra orijinal hallerine dönmüyorsa, yani deformasyon kalıcıysa, bu bir plastik cisimdir ve plastik deformasyonlardır. Plastik cisimler, daha yumuşak plastikten, kil veya plastisin toplarından vb. yapılmış nesnelerdir.

Ancak, örneğin yeterince büyük bir kuvvetle, elastik bir cisim olmasına rağmen, bir çelik teli yırtabileceğimizi veya kalıcı olarak deforme edebileceğimizi biliyoruz. Deformasyonun plastik mi yoksa elastik mi olacağı yalnızca malzemenin doğasına bağlı değildir. Aynı zamanda uygulanan kuvvetin büyüklüğüne, kuvvetin süresine ve hava koşullarına da bağlıdır.

Deforme olan her elastik cisimde, deformasyon elastiklik sınırları içinde kalırsa, elastik kuvvetler adı verilen iç kuvvetler meydana gelir. Bu kuvvetler, deformasyona neden olan dış kuvvetlere karşı koyar ve bu kuvvetlerin etkisi sona erdiğinde cismin tekrar eski şekline dönmesini sağlar.

2. **Kuvvet, cismin hızını değiştirebilir.** Örneğin, hareketsiz bir top hareket ettirilebilir veya hareket ediyorsa durdurulabilir. Daha önce de belirttiğimiz gibi, bir cismin hızı değiştiğinde, cismin ivmelenerek hareket ettiğini söyleriz. Bu, bir kuvvetin etkisi altında cismin ivme kazandığı anlamına gelir. İvmenin neye bağlı olduğunu ve ne kadar olacağını daha sonra göreceğiz.

Başka bir örneği ele alalım: Futbolcu şut attığında top düz bir çizgi boyunca hareket ediyorsa, sadece hızın büyüklüğü değişmekle kalmaz, aynı zamanda topun hareketinin yönü ve doğrultusu de değişir (Şekil 4).

Örnekten anlaşılacağı üzere ivme , cismin hızının büyüklüğünde bir değişikliğe neden olmasının yanı sıra, cismin hareketinin yönünü ve doğrultusunu da değiştirebilir, yani hız vektörünü büyüklük, yön ve doğrultuda değiştirebilir.



▲ **Şekil 4.** Futbolcu topun hızının yönünü, yönünü ve büyüklüğünü değiştiriyor.

3. **Kuvvet, bir cismin dönmesine neden olabilir.** Bunun bir örneği, bir vidayı sökmek için anahtar kullandığımız zamandır (Şekil 5).

Bisikleti hareket ettirmek için, bisikletçinin tekerleklerin döndüğü eksenden daha uzaktaki pedallara kuvvet uygulaması gerekir. Pedallar ne kadar uzunsa, kuvvetin etkisi o kadar büyük olur. Bu nedenle bazı profesyonel bisikletlerin pedal kolları daha uzundur. Kuvvetin dönme etkisi, bu konunun sonunda daha ayrıntılı olarak ele alınacaktır.



▲ **Şekil 5.** Fransız anahtarı

Kuvvet genellikle F ile gösterilir, ancak bir sonraki derste öğreneceğiniz gibi bazı kuvvetlerin özel sembolleri vardır. Kuvvetin birimi Newton (N) olarak adlandırılır.

($\vec{F}$) kuvveti bir vektördür, yani büyüklüğü, doğrultusu ve yönü vardır. Her vektör gibi kuvvet de bir ok ile gösterilir. Sürtünme kuvveti dışında tüm kuvvetler, aynı noktadan başlayan oklarla gösterilir; bu noktaya etki noktası denir. O nokta cismin merkezinde bulunur. Sürtünme kuvveti ise temas yüzeylerinin teğeti boyunca yöneltilir ve orada gösterilir. Okun yönü, kuvvetin etki yönünü belirtir (Resim 6).



▲ **Şekil 6.** Kuvvet vektörü

Kütle

Bir süpermarkette boş bir alışveriş arabasını ittiğinizde (Resim 7), onu kolayca hareket ettirebilirsiniz. Ancak araba dolu olduğunda, onu hareket ettirmek için daha fazla kuvvet uygulamanız gerekir. Bunun nedeni, dolu arabanın daha fazla kütleye sahip olması ve daha eylemsiz olmasıdır.



▲ Şekil 7. Bir süpermarkette boş ve dolu alışveriş arabası

Etkileşim, bir cismin hızı değiştiğinde, hızdaki değişim cismin kütlesine bağlıdır.

Her cismin kendine ait bir kütlesi vardır ve bu kütlenin değeri cismin boyutlarına ve yapıldığı malzemeye bağlıdır. Kütle, bir cismin hareketini değiştirmenin ne kadar zor veya kolay olduğunu belirler.

Kütle, SI'da temel bir niceliktir ve ölçü birimi kilogramdır (kg). Klasik mekanikte, bir cismin kütlesi sabit bir niceliktir ve cismin hareketi sırasında değişmez.

Daha Fazla Bilmek İstersen:

Bilimin mevcut bilgilerine göre, maddeyi oluşturan birçok **temel parçacık** vardır. Bunların yanı sıra, etkileşimleri taşıyan parçacıklar da mevcuttur.

Doğada dört tür etkileşim vardır:

1. Kütleçekim etkileşimi – kütleçekim alanı aracılığıyla gerçekleşir. Bu etkileşimin henüz tespit edilmemiş olan ve bu nedenle varsayımsal olarak adlandırılan gravittonlar tarafından taşındığı düşünülmektedir.
2. Elektromanyetik etkileşim - elektrik ve manyetik alanlar aracılığıyla gerçekleşir ve bu elektromanyetik etkileşimin taşıyıcıları fotonlardır.
3. Zayıf nükleer etkileşim – atom çekirdeğin nükleer bozunmasından sorumludur ve bozonlar aracılığıyla gerçekleşir.
4. Güçlü nükleer etkileşim – atom çekirdeğinde protonlar ve nötronlar arasında ortaya çıkar. Çekirdeğin kararlılığından sorumludur ve gluonlar tarafından taşınır.

Bu etkileşimler büyüklük bakımından da farklılık gösterir. Kütleçekim etkileşimi en zayıf, güçlü nükleer etkileşim ise en kuvvetlisidir.

Sorular:

1. Çevrenizde gözlemleyebileceğiniz temas gerektiren ve gerektirmeyen kuvvetlere üçer örnek verin.
2. Aşağıdaki durumların her biri için üçer örnek ver:
   a) Kuvvet etkisi altındaki bir cisim hızını artırır
   b) Kuvvet etkisi altındaki bir cisim hızını azaltır
   c) Kuvvet etkisi altındaki bir cisim hareket yönünü değiştirir
   ç) Kuvvet etkisi altındaki bir cisim deformasyona uğrar.
3. Kuvvetin bir vektör olduğunu gösteren üç örnek yaz.
4. Önümüzdeki derslerde nedenlerini öğrenmek istediğin hareket örnekleri hakkında üç soru yaz.

2.5 Kuvvet Çeşitleri

Kuvvetler, doğadaki tüm değişimlerin nedenidir. Cisimlerin hareket etmesine, durmasına ve deforme olmasına neden olabilirler. Farklı kuvvet türleri vardır. Bazıları geçici, bazıları kalıcıdır. Bunlar, Dünya'nın yüzeyselliğini değiştiren kuvvetlerdir. Dağlar aniden oluşmaz, tektonik plakalar arasındaki milyonlarca yıllık uzun vadeli etkileşimin sonucudur. Oluşumlarının temel nedeni, Dünya'nın erimiş ve sıcak iç kısmında „yüzen" tektonik plakaların hareketidir. Hint ve Avrasya tektonik plakalarının çarpışması, Dünya'nın en görkemli sıradağları olan Himalayalar'ı oluşturmuştur (Şekil 1). Çarpışmaları sırasında iki plaka da kolayca batamaz, bu nedenle plakalar deforme olur, sıkışır ve yukarı doğru itilir. Himalayalar her yıl birkaç milimetre büyür! İlginçtir ki, tektonik plakalar arasında oluşan bu kuvvetler sabittir. Her gün hissetmesek de , milyonlarca yıl boyunca Dünya gezegeninin tüm yüzeyselliğini değiştirirler.



▲ Şekil 1. Hint ve Avrasya levhalarının tektonik etkileşimi sonucu oluşan Himalaya dağ sırası

Doğada pek çok kuvvet türü vardır. Bu yıl yalnızca kütleçekim kökenli kuvvetler ve elektromanyetik kökenli bazı kuvvetlerle tanışacağız.

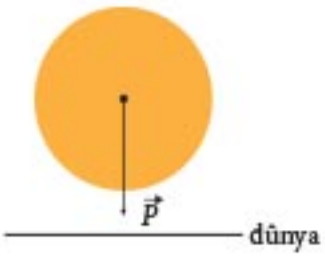
Kütleçekim kökenli kuvvetlere örnek olarak **Yerçekimi kuvveti** ve **ağırlık** verilebilir.

Yerçekimi Kuvvetleri

1. Yerçekimi kuvveti ($\vec{P}$)

Topu elimizden bıraktığımızda, Dünya'nın yerçekimi kuvvetinin etkisiyle top hemen düşmeye başlar.

Yerçekimi kuvveti, Dünya'nın yakınında bulunan cisimleri kendine çektiği kuvvettir.



▲ Şekil 2. Yerçekimi ($\vec{P}$)

Her zaman Dünya'ya doğru eş merkezli olarak, yani dikey olarak aşağı doğru yönlendirilir (Resim 2) ve aşağıdaki formülle belirlenir

$$\vec{P} = m\vec{g}$$

Burada m cismin kütlesi, g ise yerçekimi ivmesidir.

Çözülmüş örnek 1:

200 gr kütleli bir elmaya etki eden Dünya'nın yerçekimi kuvveti nedir?

Verilen:

$m = 200\,\text{g} = 0{,}2\,\text{kg}$; $g = 9{,}81\,\text{m/s}^2$

İstenilen

$P = ?$

Çözüm:

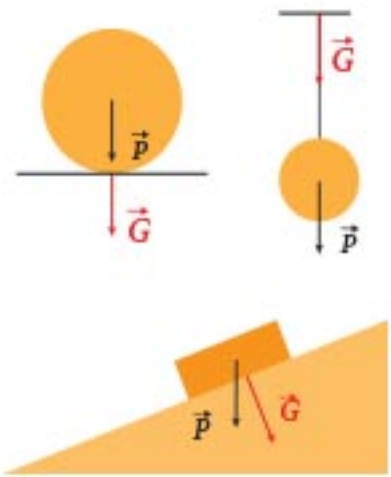
Elmaya etki eden yerçekimi kuvveti

$$P = mg = 0{,}2\text{kg} \cdot 9{,}81\frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1{,}96\text{N}$$

2. Cismin Ağırlığı ($\vec{G}$)

Topu bir yüzeye yerleştirirsek veya bir ipe asarsak, Dünya'nın yerçekimi top üzerinde etkili olduğundan, top yüzeye baskı yapacak veya asıldığı ipi sıkacaktır. Topun yüzey üzerindeki bu etkisi, yüzey elastikse veya top bir dinamometreye asılmışsa daha belirgindir.

Bir cismin yere etki eden veya asılı kaldığı ipi geren kuvvete cismin ağırlığı denir.



▲ Şekil 3. Vücut ağırlığı ($\vec{G}$)

Basit bir deneyle, topu bir dinamometreye astığımızda ağırlığının Dünya'nın ağırlığına eşit olacağını görebiliriz, yani topun ağırlığı şu formülle hesaplanabilir:

$$\vec{G} = m\vec{g}$$

Sonraki derslerinizden birinde bu formülasyonun yalnızca cisim yatay bir yüzey üzerinde hareketsizken veya yatay bir yüzey boyunca düzgün bir çizgide hareket ederken geçerli olduğunu göreceksiniz.

Ancak dikkatli olmalısınız. Bir cismin ağırlığı, Dünya'nın yerçekimi kuvvetiyle aynı değildir. Dünya'nın yerçekimi cisme etki ederken, ağırlık, cismin başka bir cisme (yüzey, ip) uyguladığı kuvvettir (Resim 3).

Eğimli düzlem, bu iki kuvvet arasındaki farkın nasıl kolayca gözlenebileceğinin güzel bir örneğidir.

Dikkat:

Şekil 3'teki üçüncü diyagramda, zincir eğrisinin her zaman dikey olarak aşağıya doğru yönlendirilmediği ve Dünya'nın yerçekimi kuvvetine eşit büyüklükte olması gerekmediği görülebilir.

Çözülmüş örnek 2:

Ana'nın kütlesi 50 kg ise dinlenme halindeki ağırlığı kaçtır?

Verilen:
$m = 50\ \text{kg} \quad g = 9{,}81\ \text{m/s}^2$

İstenilen:
$G = ?$

Çözüm:
Ana'nın hareketsiz durumdaki ağırlığı $G = mg = 50\text{kg} \cdot 9{,}81\frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 490{,}5\text{N}$

Silisyum elektromanyetik yapıya sahiptir: **elastik kuvvetler ve direnç kuvvetleri.**

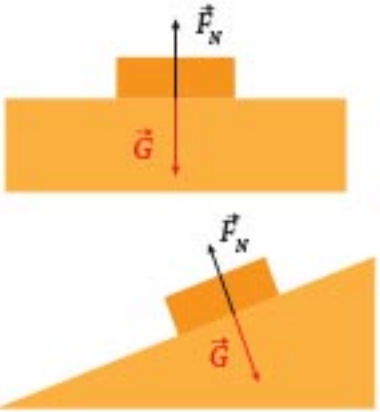
Elastik Kuvvetler

Elastik kuvvetler, cisimlerin deformasyonu sırasında ortaya çıkan kuvvetlerdir. Bir cisim deforme olduğunda, onu oluşturan moleküller arasındaki mesafe artar. Hissedebildiğimiz elastik kuvvet, molekülleri denge konumlarına döndürme eğiliminde olan kuvvettir.

En sık karşılaşılan elastik kuvvetler şunlardır: **yüzeydeki normal tepki kuvveti, bir ipteki gerilme kuvveti ve deforme olmuş yaydaki elastik kuvvet .**

3. Yüzeyin normal tepki kuvveti ($\vec{F}_N$).

Bir cisim bir yüzey üzerinde durduğunda, cismin ağırlığı yüzeye baskı yaparak yüzeyin deforme olmasına neden olur. Deforme olan yüzeyin molekülleri daha sonra denge konumlarına dönme eğilimi gösterir ve bunun sonucunda yüzey, cisme bir kuvvet uygular.



▲ **Şekil 4.** Yüvzeyin cisme etki ettiği kuvvet, yüzeye dik doğrultuda yönelmiştir ve buna yüzeyin normal tepki kuvveti denir.

Yüzeyin cisme etki ettiği ve uzunluğa dik yönde olan kuvvete yüzeyin normal tepki kuvveti denir.

Yüzeye etki eden normal tepki kuvvetinin yönü yüzeyden cisme doğrudur. Cisim yatay bir yüzeye yerleştirildiğinde kuvvet dikey olarak yukarı doğru yönelirken, cisim eğimli bir düzleme yerleştirildiğinde kuvvet eğimli düzleme diktir (Şekil 4).

Bu kuvvet her zaman cismin ağırlığından daha büyüktür.

Çözülmüş örnek 3:

400 gr kütleli bir ders kitabının üzerine konulan yüzeyin normal tepki kuvveti kaç cm'dir?

Verilen:
$m = 400\,\text{g} = 0{,}4\,\text{kg};\quad g = 9{,}81\,\text{m/s}^2$

İstenilen:
$F_N = ?$

Çözüm:
Ders kitabına etki eden yüzeyin normal tepki kuvveti

$$F_N = mg = 0{,}4\text{kg} \cdot 9{,}81\frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 3{,}92\,\text{N}$$

4. İplik gerilme kuvveti ($\vec{F}_z$)

Bir ipin gerilme kuvveti, gerilmiş bir ipin (veya halatın) uçlarına, ipi (veya halatı) germeye çalışan zıt yönlü iki kuvvet uygulandığında ortaya çıkan kuvvettir.

Bu durumda dış kuvvetlere karşı koyan bir gerilme kuvveti oluşur. Bu kuvvet, ipin uzunluğu boyunca iletilir ve her zaman etki ettiği cismi ipin doğrultusunda çekerek deformasyona karşı koyar.

İpin bağlı olduğu cisme uyguladığı kuvvete ip gerilme kuvveti denir.



▲ Şekil 5. İplik gerginlik kuvveti ($\vec{F}_z$)

Örnek:

Eğer bir cismi tavana asılmış bir ipe bağlanırsa:

- Alt noktada, cismin asılı olduğu yerde, ipin gerilme kuvveti yukarı doğru etki eder ve cismin ip üzerinde yarattığı ağırlığa zıt yöndedir.
- İpin tavana bağlandığı üst noktada ise gerilme kuvveti aşağıya doğru etki eder. Bu gerilme kuvveti, cismin ağırlığını tavana iletir (Resim 5).

Çözülmüş örnek 4:

Kaya tırmanışında tırmanıcıların kullandığı ipler, tırmanıcının ağırlığı altında esneyecek şekilde tasarlanmıştır; bu, özellikle düşme durumunda önemlidir. Bu esneme, darbeyi yumuşatmaya ve yaralanma riskini azaltmaya yardımcı olur (Resim 6).



▲ Şekil 6. Kaya tırmanışlarında, düşme durumunda korunmak için tırmanıcılara ip ve kask verilir.

80 kg ağırlığındaki bir dağcı, bir ipe bağlı olarak uçurumdan sarkıyor. İpin dağcı üzerindeki gerginliği nedir?

Verilen:
$m = 80\ \text{kg};\quad g = 9{,}81\ \text{m/s}^2$

İstenilen:
$F_z = ?$

Çözüm:
İpin tırmanıcıya etki ettiği gerilim kuvveti:

$$F_z = mg = 80\text{kg} \cdot 9{,}81\frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 784{,}8\text{N}$$

5. Deforme olmuş yayda elastik kuvvet ($\vec{F}_{el}$)

Yaylar; trambolinlerde (Şekil 7), arabalardaki amortisörlerde, çeşitli ortopedik yardımcı cihazlarda ve benzeri yerlerde kullanılır. Bu durumların her birinde, uygun yayı kullanmak önemlidir çünkü kullanım amacına bağlı olarak yaylara farklı kuvvetler etki eder ve farklı deformasyonlara uğrarlar.

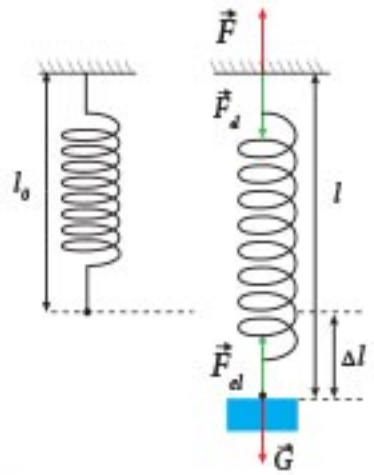


▲ Şekil 7. Yaylı trambolin

Üzerine herhangi bir kuvvet etki etmeyen her yayın kendine özgü bir **"normal" uzunluğu** vardır; buna **denge uzunluğu denir.** Yay üzerine bir kuvvet etki ettiğinde, yay uzunluğunu değiştirir, yani deforme olur. Örneğin, bir yayı asılı durumda bırakıp ucuna bir cisim astığımızda, yayın uzunluğu cismin ağırlığının etkisiyle artar.

Bir dış kuvvet etki ettiğinde, yayda onu eski **"normal" uzunluğuna** döndürmeye çalışan bir **elastik kuvvet** oluşur (Şekil 8). Yeni uzunluk l ile "normal" uzunluk l_0 arasındaki fark ise **uzama** olarak adlandırılır ve şu şekilde yazılır.

$$\Delta l = l - l_0$$



▲ Şekil 8. Bir yay deforme olduğunda oluşan elastik kuvveta ($\vec{F}_{el}$)

Elastik kuvvet, deforme olmuş bir yayın, cismi deforme ederek „normal" (denge) uzunluğuna geri döndürmeye çalıştığı kuvvettir.

Bu kuvvetin yönü, yayı denge konumuna geri döndürme eğiliminde olan gerilim yönündedir.

Bir Bilim İnsanı Gibi Düşün

Yayın uzamasının dış kuvvete bağımlılığını belirleyen bir araştırma yap. Önceki konudaki "Bilimsel Araştırma" dersindeki yönergeler sana yardımcı olsun.

Bilimsel araştırmanın başlığı: Yayın uzamasının dış kuvvete bağımlılığı

Adım 1: Dış kuvvet etkisi altında yayın uzamasını gözlemle. Bağımsız, bağımlı ve kontrol değişkenlerini doğru belirleyerek adil bir test sağla.

- Bilimsel araştırmayı gerçekleştirmek için internetten bir simülasyon da kullanabilirsin. (Masses and Springs: Basics - Measurement | Periodic Motion | Hooke›sLaw-PhETInteractiveSimulations)

Adım 2: Bir hipotez ortaya koy

Adım 3: Bir deney planı hazırla ve deneyi gerçekleştir

Adım 4: Verileri işle ve grafiksel olarak göster

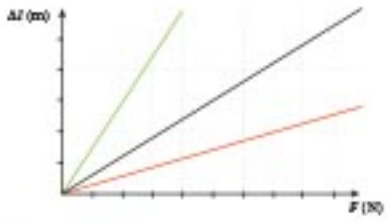
Adım 5: Sonuçları yorumla ve hipotezi doğrula ya da reddet

Araştırmanı başarıyla yürüttüysen, uzamanın kuvvete doğru orantılı olduğunu buldun.

Yani elastik kuvvetin şiddetini/büyüklüğünü, Hooke yasasında verilen formülle hesaplayabiliriz

$$F_{el} = k\Delta l$$

öyle ki orantı sabiti k, **elastik katsayısı** olarak adlandırılır. Bu nicelik, yayın boyutlarına ve yapıldığı malzemenin niteliğine bağlıdır.



▲ **Grafik 1.** Yayın uzamasının uygulanan kuvvete bağlılığı. Doğrunun eğimi, yayın elastik katsayısını belirler. En küçük elastik katsayısı, eğimi en küçük olan doğruya karşılık gelen yayda bulunur.

Bu bağıntı grafiksel olarak da gösterilir; burada elastikiyet katsayısı, uygulanan kuvvet ile yayın uzaması arasındaki ilişkiyi veren grafikteki doğrunun eğimiyle ifade edilir. Araştırmandan elde edilen ve grafikte sunulan verilerin, Grafik 1'deki doğrulara benzer bir doğru üzerine düşmesi gerekir. Grafik 1'de verilen her bir doğru, elastik özellikleri farklı bir yayı ifade eder.

Elastik katsayısının formülünün $k = \frac{F}{\Delta l}$ devamında elastik katsayısının birimi gelir: $1\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}}$. Bu da şu anlama gelir: $k = 1\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}}$, olan bir yayı 1 metre uzatmak için 1 N büyüklüğünde bir kuvvet uygulamak gerekir..

Dinamometreler, uzamanın kuvvetle orantılı olmasından dolayı yaylardan yapılır.

Elastiklik katsayısının değeri k (N/m)	Kullanışı	Neden?
1 – 5	Oyuncaklar veya kalemler	Basmak için küçük bir kuvvet gerekir, nazik hareketler için tasarlanmıştır.
10 – 50	Ortopedik yardımcılar	Ağırlığı nazikçe destekler ve vücuda uyum sağlar.
10 – 100	Dinamometreler	Eşit derecede kompakt bir aygıtta farklı duyarlılık sağlar.
100 – 300	Bisiklet amortisörleri	Darbeleri emmeli, aynı zamanda ağırlığı desteklemelidir.
200	Mutfak terazisi	Hassas fakat aşırı duyarlı olmayan tepki vermelidir.
100 – 500	Yatak (şilte)	Vücudun ağırlığını destekler, vücudun şekline uyum sağlar ve titreşimi iletmeden hareketi emer.
500 – 2 000	Trambolin yayları	Zıplayış enerjisini emip geri verir; yaralanmadan yüksek zıplamayı sağlar.
1 000 – 5 000	Hava veya yaylı tabancada yay	Yay serbest kaldığında mermiyi (veya bilyeyi) fırlatır.
10 000 – 100 000	Amortisörlü arabalar	Çok daha büyük kütleyi destekler ve sürüş sırasında enerjiyi emer.
100 000 – 1 000 000	Mekanik endüstriyel yaylar	Şiddetli darbelere dayanır ve hasar görmeden geri döner.

Tablo 1. Günlük yaşamda yay örnekleri ve elastikiyet katsayısı değerleri.

Çözülmüş örnek 5:

Amortisörün uzunluğu 0,40 m'dir. Amortisör yolundaki bir deliğe çarptığında 600 N'luk bir kuvvet etki ediyor ve uzunluğu 0,35 m azalıyor. Amortisörün elastisite katsayısı nedir?

Çözüm:

Verilen:

l_0=0,40 m
l = 0,35 m
F = 600 N

İstenilen:

k = ?

Amortisörün deformasyonu sırasında ortaya çıkan elastik kuvvet:

$$F = k\Delta l$$

Burada amortisörün deformasyonu

$\Delta l = l_0 - l$=0,40 m – 0,35 m = 0, 05 m

Buradan amortisörün esneklik katsayısı elde edilir:

$$k = \frac{F}{\Delta l} = \frac{600\,\text{N}}{0,05\,\text{m}} = 12000\,\frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Deney: Bir yayın esneklik katsayısının belirlenmesi

Ödev: Yay için en az 5 farklı yükleme durumunda elastiklik katsayısını belirleyin. Sonuçlar tablo halinde gösterin. Ortalama değeri hesaplayın. Yayın uzamasının yüke bağımlılığı grafikle gösterin. Hangi yöntemle – grafiksel ya da analitik – daha doğru sonuç elde edildiği ve nedenleri açıklayın. Sonuç, ölçümdeki bağıl hatayla birlikte sunun.

Gerekli ekipman:

- bilinmeyen elastik katsayılı yay
- stativ tripod
- farklı kütlelere sahip ağırlık seti
- 1 mm hassasiyetli cetvel/mezura

Ölçüm prosedürü:

1. Tripod'u sağlam ve yatay bir yüzeye yerleştirin.
2. Yayı tripod'un tepesine asın ve yük uygulanmadan önce yayın başlangıç uzunluğunu ölçün (l_0).
3. Ölçüme, yayın ucuna m_1 kütleli bir ağırlık yerleştirilerek devam edin.
4. Yayın yeni uzunluğunu (l) ölçün ve uzama değerini hesaplayın

$$\Delta l = l - l_0$$

5. İşlemi en az 5 farklı kütledeki ağırlıklar için tekrarlayın.

Sonuçlar:

Elde edilen ölçüm sonuçlarını ve hesaplanan ortalama değerleri ve mutlak hataları bir tabloya girin ve ölçümden elde edilen sonucu bağıl hata ile birlikte sunun.

N	m (kg)	F (N)	l_0 (m)	l (m)	Δl (m)	k (N/m)	Δk (N/m)
1							
2							
...							

Uzamanın gerilime (bağımlı değişken) ve kuvvete (bağımsız değişken) bağımlılığını ve gerilim grafiğinde elastikiyet katsayısını gösteren bir grafik çizin.

Son olarak elde edilen sonuçları yorumlayınız.

Ortam Direnci Kuvvetleri

Spor otomobillerin şehir otomobillerinden daha yüksek hızlara ulaşabilmesinin sebeplerinden biri de şekilleridir. Buna karşılık, spor olmayan bir otomobil hareket ettiğinde hava daha fazla direnç oluşturur ve bu da hareketini yavaşlatır.

Profesyonel yüzücüler, daha iyi yüzme sonuçları elde etmek amacıyla, su içindeki hareketleri sırasında üzerlerine etki eden su direnci kuvvetini azaltan teknikler uygularlar (Şekil 9).



▲ Şekil 9. Bir yüzücü çevrenin direncine direniyor

Ortamın direnç kuvvetleri, cisimlerin bir ortamda hareketine karşı etki eden kuvvetlerdir. Bunlar , cisimler arasındaki sürtünmeden veya bir cismin içinde hareket ederken ortamın (hava veya su gibi) oluşturduğu dirençten kaynaklanır.

Çevreye karşı direnç kuvvetleri nasıl etki eder? Çevreye karşı direnç kuvvetleri her zaman cismin hareketine ters yönde etki eder ve cisimlerin hareket hızını azaltır. Çevreye karşı direnç kuvvetleri olarak, **sürtünme kuvvetini** ve **hava direnç kuvvetini** ayrı ayrı açıklayacağız .

6. Sürtünme kuvveti ($\vec{F}_{sr}$)

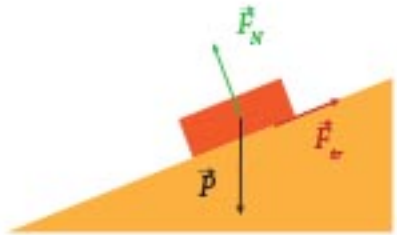
Buzda mı yoksa asfaltta mı hareket etmek daha kolay? Cevabınızın neden böyle olduğunu açıklamaya çalışın.

Bir futbol topunu çim üzerinde yuvarlanacak şekilde tekmelersek, kısa süre sonra durur. Aynı kuvvetle asfaltta tekmelersek daha uzağa gider, fakat yine bir süre sonra durur. Aynı şutu kaygan zemine sahip bir spor salonunda vurursak, top en uzağa gider. Bu durumlarda farklı olan nedir? Şutun kuvveti ve top aynıdır. Sadece çevreyi değiştiriyoruz. Futbol topunun durmasının nedeni sürtünme kuvvetidir.

Sürtünme kuvveti, iki yüzeyin temas etmesi sonucu oluşan ve cismin yüzey boyunca hareket yönünün (veya hareket etme girişimine) zıt yönde etki eden bir kuvvettir .

İki cisim arasında sürtünme kuvveti oluşabilmesi için, bir şeyin birbirini itmesi gerekir. Sürtünme kuvveti, iki cisim temas halindeyken ve cisimler birbirine göre hareket ettiğinde (veya hareket etme eğiliminde olduğunda) ortaya çıkar.

Sürtünme, farklı hızlarda hareket eden akışkan katmanları arasında meydana gelir. Rijit cisimler arasında meydana gelen sürtünmeye **dış sürtünme**, akışkan katmanları arasındaki sürtünmeye ise **iç sürtünme** veya **viskozite** denir .



▲ Şekil 10. Sürtünme kuvveti ($\vec{F}_{tr}$)



▲ Şekil 11. Duvardaki merdiven hareketsiz haldeyken sürtünme kuvvetleri nedeniyle yerinde durmaktadır .

Burada sadece rijit cisimlerde meydana gelen dış sürtünmeyi ele alacağız (Resim 10).

Üç tür sürtünme kuvveti vardır: **duran haldeki sürtünme kuvveti, kayma haldeki sürtünme kuvveti ve yuvarlanma haldeki sürtünme kuvveti.**

6.1 Duran haldeki sürtünme kuvveti.

Duran haldeki sürtünme kuvvetiyle her gün karşılaşırsınız. Bir nesneyi hareket ettirmek istediğinizde bu kuvvetle karşılaşırsınız. Sürtünme kuvveti sayesinde, yokuş yukarı giden bir araba yerinde kalabilir ve geri kaymaz. Duvara yaslanan cisimler aynı kuvvet, yani duran haldeki sürtünme kuvveti sayesinde kaymaz (Resim 11). Eğimli bir düzleme yerleştirilen ve kaymayan herhangi bir nesne, duran haldeki sürtünme kuvvetine maruz kalır. Benzer şekilde , bir bardak gibi bir nesneyi elimizle tuttuğumuzda, kaymaz ve duran haldeki sürtünme kuvveti nedeniyle elimizde kalır.

Dinlenme halindeki maksimum sürtünme kuvvetinin şiddeti, yüzeyin normal tepki kuvvetine aşağıdaki şekilde bağlıdır:

$$F_{tr,M} = \mu_M F_N$$

Bu denklemde μ_M **hareketsiz haldeki sürtünme katsayısıdır.** Hareketsiz haldeki sürtünme katsayısı bir sayıdır, boyutsuz bir birimdir. Sürtünen iki temas halindeki yüzeye bağlı bir sabittir. Katsayının değeri sıfır veya sıfıra yakınsa, sürtünme yoktur veya ihmal edilebilir. Değer çok büyükse, cismi hareket ettirmek için çok büyük bir kuvvet uygulanması gerekir.

6.2Kayma haldeki sürtünme kuvveti

Kayma haindeki sürtünme kuvveti, iki cisim birbirine göre hareket ettiğinde ortaya çıkar. Deneylerle gösterilmiştir (ve Newton yasalarını inceledikten sonra bunu doğrulayabilirsiniz), kayma sırasında sürtünme kuvveti şu formülle hesaplanır:

$$F_{tr,L} = \mu F_N$$

Burada F_N yüzeydeki normal tepki kuvveti ve μ **kayma sürtünme katsayısıdır** Kayma sürtünme katsayısı da birimsiz bir sayıdır. Statik sürtünme katsayısına benzer özelliklere sahiptir.

Ancak aynı iki yüzeyin birleşimi için hareketsiz haldeki sürtünme katsayısı her zaman ona eşit veya daha küçüktür. Bu, ağır bir kutuyu itmeye başlamak için gereken kuvvetin, kaymaya başladıktan sonra hareket etmeye devam etmek için gereken kuvvetten daha fazla olduğu anlamına gelir.



▲ **Şekil 12.** Bavul tekerlekler sayesinde daha kolay hareket ediyor.

6.3 Yuvarlanma Haldeki Sürtünme Kuvveti.

Bavullar ve alışveriş arabaları tekerleklere sahiptir (Resim 12). Büyük bir yük taşınırken, altına silindirik borular yerleştirilirse taşınması daha kolaydır . Geçmişte insanların Mısır'daki piramitlerin ve Büyük Britanya'daki Stonehenge'in inşası için devasa taşları bu şekilde taşıdıklarına dair hipotezler vardır.

Bir cisim bir yüzey üzerinde yuvarlandığında, **yuvarlanma sürtünmesi adı verilen bir sürtünme kuvveti oluşur** . Bu kuvvet, kayma sürtünme kuvvetinden daha küçüktür. Deneysel sonuçlar, yuvarlanma sürtünme kuvvetinin yüzeyin dik tepkisiyle doğru orantılı, üzerinde bulunduğu silindirik cismin yarıçapıyla ters orantılı olduğunu göstermektedir; yani şu formülle hesaplanır:

$$F_{tr,T} \quad k\frac{F_N}{r}$$

Bu denklemde k yuvarlanma sürtünme katsayısı, r ise gövdenin altındaki silindirin yarıçapıdır. Yuvarlanma sürtünme katsayısının ölçü birimi m'dir.



▲ **Şekil 13.** Metal yüzeyinin mikroskobik görüntüsü

6.4 Sürtünme kuvveti neden oluşur?

Sürtünme kuvveti, cisimlerin temas eden yüzeyleri mikroskop altında incelenerek açıklanabilir (Resim 13).

En pürüzsüz yüzeylerin bile pürüzlere sahip olduğu görülebilir. Temas halindeki cisimlerden birinin pürüzlülüğü, diğerinin pürüzlülüğünü de etkiler. Yüzey ne kadar pürüzlüyse, sürtünme kuvveti de o kadar büyük olur.

6.5 Sürtünme Kuvvetinin Olumsuz Etkileri

Sürtünmenin olumlu etkilerinden bahsettik: onun sayesinde hareket edebiliriz, nesneleri tutabiliriz, evler inşa edebiliriz, araba fren yapabilir vb. Ancak sürtünme çoğu zaman gereksiz enerji tüketimi, ısınma, cihazlarda aşınma ve yıpranma vb. gibi olumsuz etkilere de neden olur.



▲ Şekil 14. Yağlama yağları ve yataklar

Sürtünme kuvvetlerini azaltmak için, sürtünmenin azaltılması gereken parçalar yağlanır (yağlama adı verilen bir işlem) veya yuvarlanma sürtünme katsayısı kayma sürtünme katsayısından küçük olduğundan yataklar kullanılır (Resim 14).

Çözülmüş örnek 6:

Monica , 3 cm yarıçaplı, tekerlekli 20 kg ağırlığındaki bir bavulla havaalanına doğru yola çıktığında , bavul üzerindeki yuvarlanma sürtünme kuvveti 10 N'du. Yolculuk sırasında bavulun tekerlekleri kırıldığı için Monica, tekerlekleri olmayan bavulu sürüklemek zorunda kaldı ve kayma sürtünme kuvveti 80 N'du. Yuvarlanma ve kayma sürtünme katsayıları ve bunların oranı nedir?

Verilen:

$m = 20\ \text{kg}; \quad r = 3\ \text{cm} = 0{,}03\ \text{m}; \quad F_{sr,L} = 10\ \text{N}; \quad F_{sr,T} = 80\ \text{N}$

İstenilen:

$k = ?; \quad \mu = ?; \quad \mu/\text{k} = ?$

Çözüm:

Bavul yatay bir yüzeyde olduğundan tepki kuvvetini şu şekilde hesaplayabiliriz

$F_N = mg$

$F_N = 20\ \text{kg} \cdot 9{,}81\ \text{m/s}^2 = 196{,}2\ \text{N}$

Yuvarlanma sürtünme denklemi k katsayısı ile ifade edilebilir

$$F_{sr,T} = k\frac{F_N}{r}$$

$$F_{tr,T} = k\frac{F_N}{r}$$

$$k = 10\ \text{N} \cdot \frac{0{,}03\ \text{m}}{196{,}2\ \text{N}} = 0{,}0015\ \text{m}$$

Aynı şeyi kayma sürtünme katsayısı için de yapabiliriz.

$$F_{sr,L} = \mu F_N$$

$$\mu = \frac{F_{sr,L}}{F_N}$$

$$\mu = \frac{80\ \text{N}}{196{,}2\ \text{N}} = 0{,}41$$

Bu katsayıların oranı şu şekilde olacaktır

$$\frac{\mu}{k} = \frac{0{,}41}{0{,}0015} = 273\ \text{m}^{-1}$$

Kayma sürtünme katsayısı, yuvarlanma sürtünme katsayısından yaklaşık 273 kat daha fazladır. Bu, tekerlekli bavulların neden çok daha kolay sürüklendiğini açıklar. Ancak, kayma sürtünmesinin aksine, yuvarlanma sürtünme katsayısı k boyutsuz değildir; uzunluk boyutundadır ve birimi metredir (m), çünkü tekerleğin geometrisine bağlıdır. Bu, bu oranın bize kayma için yuvarlanma için olduğundan yarıçapın her metresi başına ne kadar daha fazla sürtünme olduğunu gösterdiği anlamına gelir.

Bir Bilim İnsanı Gibi Düşün

Hareketsiz bir cisim ile üç farklı yüzey arasındaki sürtünme katsayısını belirlemek için bir araştırma yapınız.

Bilimsel araştırmanın başlığı: Dinlenme halindeki sürtünme katsayısının belirlenmesi

Adım 1: Bir kuvvetin etkisi altında hareket etmeye başlayan bir cismin hareketini gözlemleyin ve üç farklı yüzey için iki cisim arasındaki hareketsiz sürtünme katsayısını belirlemek üzere bağımsız, bağımlı ve kontrol değişkenlerini doğru bir şekilde belirleyerek bir güvenlik testi gerçekleştirin. Ayrıca, bilimsel araştırmanızı yürütmek için çevrimiçi bir simülasyon da kullanabilirsiniz.

Adım 2: Bir hipotez kur.

Adım 3: Bir deney planı hazırla ve deneyi gerçekleştir

Adım 4: Verileri işle.

Adım 5: Sonuçları yorumla ve hipotezi doğrula ya da reddet.

7. Hava direnci kuvveti ($\vec{F}_{ot}$)

Bir cisim havada hareket ettiğinde, hava direnci kuvvetine maruz kalır. Bu kuvvet düşük hızlarda neredeyse hissedilmezken, yüksek hızlarda artar. Örneğin, arabada giderken elinizi camdan dışarı çıkardığınızda, havanın onu geriye doğru ittiğini hissedersiniz.

Bir cisim havada hareket ederken, yol boyunca hava molekülleriyle çarpışır. Cisim ile hava molekülleri arasındaki bu çarpışmalar, cismin hareket yönünün tersine etki eden hava direnci kuvvetini oluşturur. Daha yüksek hızda hareket eden cisimler daha fazla sayıda molekülle çarpışır, bu da üzerlerine etki edecek hava direnci kuvvetinin de daha büyük olacağı anlamına gelir. Ayrıca, hareket eden bir cismin daha geniş bir ön alanı, hava molekülleriyle daha fazla çarpışma, yani daha büyük bir hava direnci kuvveti anlamına gelir.

Kamyonlar, spor otomobillerden farklı olarak aerodinamik değildir, bu nedenle ön yüzeyleri büyüktür (Şekil 15).



▲ **Şekil 15.** Kamyonların ve otomobillerin farklı ön alanları ve dolayısıyla farklı aerodinamikleri vardır.

v hızıyla hareket eden bir cisim için hava direnç kuvveti aşağıdaki denklem kullanılarak ifade edilir:



▲ Şekil 16. Hızlı bir araba hava direncinin etkisiyle daha hızlı durur .

$$F_{at} = cv^2$$

burada c, hava direnci sabitine, hava yoğunluğuna ve cismin ön yüzeyine bağlı olan hava direnci katsayısıdır. Hava direncinin katsayının birimi $\frac{kg}{m}$.

Sürtünme kuvveti, özellikle yüksek hızda hareket eden bir cismi aniden durdurmak gerektiğinde faydalıdır. Örneğin, bir arabanın arkasında paraşüt açıldığında, hava molekülleriyle temas eden yüzey alanı artar ve bu da hızlı frenlemeye olanak tanır (Şekil 16).

Öte yandan, çoğu durumda hava direncinin azaltılması arzu edilir. Bu, araba tasarımında da geçerlidir, çünkü daha az direnç daha yüksek hız ve daha iyi verimlilik anlamına gelir. Hava direnci büyük ölçüde arabanın şekline bağlıdır. Bisikletçiler için bile kaskın şekli daha yüksek hızlara ulaşmalarını sağlayabilir (Şekil 17).



▲ Şekil 17. Profesyonel bisikletçilerin kask şekli farklıdır.

Çözülmüş örnek 7:

v=10 m/s hızla hareket etmektedir. Bisiklet ve kendisi için hava direnci katsayısı 0,5 kg/m'dir. Hava direnci kuvveti nedir?

Verilen:

$c = 0{,}5$ kg/m; $v = 10$ m/s

İstenilen:

$F_{at} = ?$

Çözüm:

Direnç kuvvetinin büyüklüğü: $F_{at} = cv^2 = 0{,}5\frac{kg}{m}(10\frac{m}{s})^2 = 50\,N$

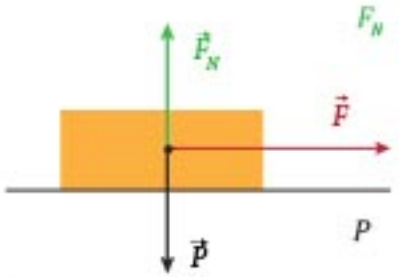


▲ Şekil 18. Araç güvenlik testi

Kuvvet Diyagramı

Kuvvet diyagramı, bir cismin çevresindeki nesnelere uyguladığı kuvvetleri hesaba katmadan (ve çizerek) belirli bir anda ona etki eden tüm kuvvetleri gösteren bir çizimdir. Bir cismin hareketini veya hareketsiz duruşunu analiz etmeyi kolaylaştırmak için kullanılır.

İncelenen cisim dikdörtgen olarak çizilir ve cismin uygulama noktasında ona etki eden tüm kuvvetler gösterilir. Kuvvetlerin vektörel büyüklükler olduğu, yani büyüklük, doğrultu ve yön taşıdığına dikkat edilir.



▲ Şekil 19. Araba sola doğru hareket ederken arabaya etki eden kuvvetlerin diyagramı

Çözülmüş örnek 8.

Açık paraşütle atlayan bir paraşütçünün atlayışı sırasında üzerine etki eden kuvvetlerin diyagramını çizin.

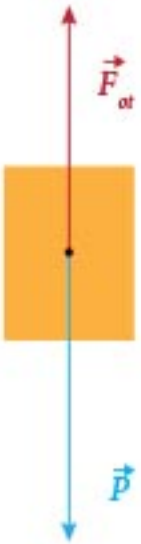
Çözüm:

Paraşütle atlayışta, paraşüt ve atlayıcı/paraşütçü bir sistem olarak üzerlerinde etkili olan kuvvetler belirlenmeli, ancak onların havada hareketleri sırasında neden oldukları kuvvetler dikkate alınmamalıdır.

Kuvvet diyagramında şu kuvvetler gösterilir:

- Yerçekimi ağırlığı kuvveti - dikey olarak aşağıya yönlü ve
- Hava direnci kuvveti - dikey olarak yukarıya yönlü.

Bu durumda ipler üzerindeki gerilim kuvvetinin analiz edilmesine gerek yoktur çünkü paraşütün/atlayıcının bir bütün olarak hareketini etkilemez. Kuvvet diyagramı şekil 20'de verilmiştir.



▲ Şekil 20. Açık paraşütlü bir paraşütçünün kuvvet diyagramı

Çözülmüş örnek 9:

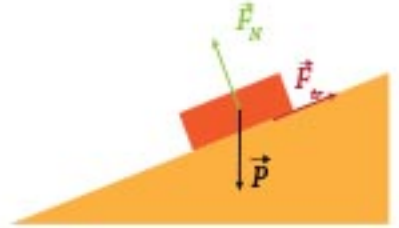
Eğimli bir düzlemde kayan bir cisme etki eden kuvvetlerin diyagramını çiziniz.

Çözüm:

Eğimli bir düzlemde kayan bir cisme aşağıdaki kuvvetler etki eder:

- Yerçekimi ağırlığı kuvveti – dikey olarak aşağıya doğru yönlendirilir
- Normal yüzeysel tepki kuvveti – düzlemden cisme doğru eğimli düzleme dik yönlendirilir
- Sürtünme kuvveti – cismin hareket yönünün tersine yönlendirilir

Tüm bu verilere göre, şekil 21'de gösterilen kuvvet diyagramı.



▲ Şekil 21. Eğimli bir düzlem boyunca bir gövdeye etki eden kuvvetlerin diyagramı

Bileşke Kuvveti ($\vec{F}_R$)

Kuvvetler toplandığında, bunların yerini bileşke kuvvet adı verilen tek bir kuvvet alır.

Bir cisim aynı anda birden fazla kuvvetin etkisi altında kalabilir. Bu kuvvetlerin etkisi altında cismin nasıl hareket edeceği, cisim üzerinde etki eden toplam veya **bileşke kuvvete bağlıdır**.

Kuvvetler vektörel niceliklerdir; yani vektörleri toplama kuralları kuvvetlerin toplanması için de geçerlidir (doğrusal vektörlerin toplanması, üçgen kuralı, çokgen kuralı). Sonuçta ortaya çıkan kuvvet ise bir vektördür, yani kendi büyüklüğü, yönü ve şiddeti vardır. Sonuçta ortaya çıkan kuvvet şu formülle belirlenir:

$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \ldots + \vec{F}_n$$

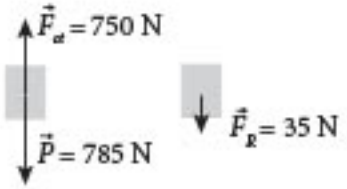
Çözülmüş örnek 10:

Paraşütü açık bir paraşütçüye etki eden bileşke kuvveti belirleyin; paraşütçünün paraşütle birlikte kütlesi 80 kg ve paraşüt açıldıktan sonra hava direnci kuvveti 750 N'dir.

Çözüm:

Bileşke kuvvetin belirlenmesinde ilk adım, kuvvet diyagramını çizmektir (Şekil 22). İkinci adım, paraşütçü ve paraşüt üzerine etki eden tüm kuvvetlerin vektörel toplamı olan bileşke kuvvetin hesaplanmasıdır.

Bu durumda, zıt yönlü kolinear vektörlerin toplanması kuralı geçerlidir ve bileşke kuvvetin 35 N olduğu bulunur; yönü ise daha büyük kuvvetin yönüyle çakışır ve dikey olarak aşağıya doğrudur.

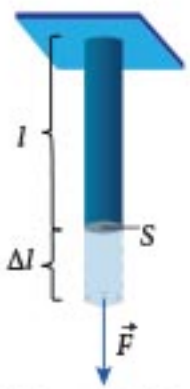


▲ Şekil 22. Açık paraşütlü bir paraşütçünün kuvvet diyagramı

Daha Fazla Bilmek İstersen:

Rijit cisimlerde kuvvet etkisi altında farklı türde deformasyonlar oluşabilir, ancak burada yalnızca doğrusal deformasyon—uzama üzerinde duracağız. Bu tür deformasyonlar çoğunlukla tel, çubuk vb. gibi diğer boyutlarına göre belirgin şekilde daha büyük uzunluğa sahip cisimlerde ortaya çıkar.

Metal bir çubuğun uzaması, çubuğa enine kesitine dik bir kuvvet uygulandığında gerçekleşir; bu kuvvetin etkisiyle çubuk uzar (şekil 23). Ancak, aynı kuvvet altında tüm çubuklar aynı ölçüde uzamaz. Bir çubuğun kuvvet etkisiyle



▲ Şekil 23. Bir kuvvetin etkisi altında bir kirişin uzaması

ne kadar uzayacağı, yani kuvvetin ne kadar deformasyon oluşturacağı; çubuğun hangi malzemeden yapıldığına, uzunluğuna ve enine kesitine bağlıdır. Gösterilmiştir ki çubuğun uzaması, uzamayı oluşturan F kuvveti ve çubuğun başlangıç uzunluğu l ile doğru orantılı, kuvvetin etki ettiği enine kesit alanı S ile ters orantılı.

Bu bağlantı, şöyle ifade edilen Hooke yasası ile verilir:

$$\Delta l = \frac{1}{E}\frac{F}{S}l$$

Burada E, Young'un elastiklik modülü olarak adlandırılır. Değeri, çubuğun yapıldığı malzemenin bir özelliğidir ve malzemenin elastik özellikleriyle ilişkilidir.

Bir kuvvet etkisi altında deformasyona daha çok karşı koyan cisimlerin Young modülü daha büyüktür.

Eğer bir cisim için malzeme, başlangıç uzunluğu ve enine kesit sabit kalıyorsa, Hooke yasasına ulaşılır; bu yasa şu formülle ifade edilir

$$F = k\Delta l$$

Burada k, cismin elastiklik katsayısıdır .

Hooke yasası, normal mekanik gerilme σ üzerinden de ifade edilebilir.

Yani, $\frac{F}{S} = \sigma$ normal mekanik gerilme olarak adlandırılır. Hooke yasasi is şöyle ifade edilir:

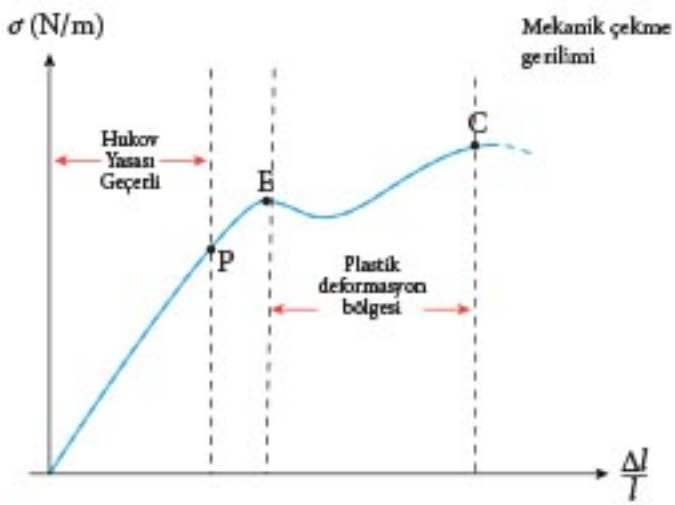
$$\Delta l = \frac{1}{E}\frac{F}{S}l$$

aşğıdaki denklemle de ifade edileblir

$$\sigma = E\frac{\Delta l}{l}.$$

Bu yasaya göre, elastik deformasyonlarda normal mekanik gerilme, göreli uzama ile doğru orantılıdır.

Göreli deformasyonun mekanik gerilime bağlılığının grafiksel gösterimi Grafik 2'de verilmiştir.



▲ Grafik 2. Bağıl uzamanın normal mekanik gerilime bağımlılığı

Sorular:

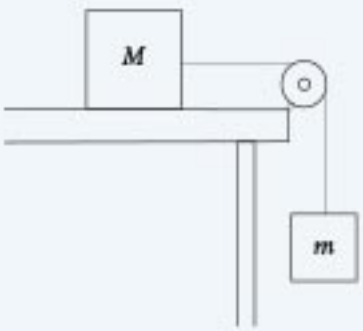
1. Aşağıdaki grafikler, bir cismin hızının zamana veya konumunun zamana bağlı değişimini göstermektedir. Bu cisimlerden hangisi sıfırdan farklı bir bileşke kuvvetin etkisi altındadır? Cevabınızı kısaca açıklayın.



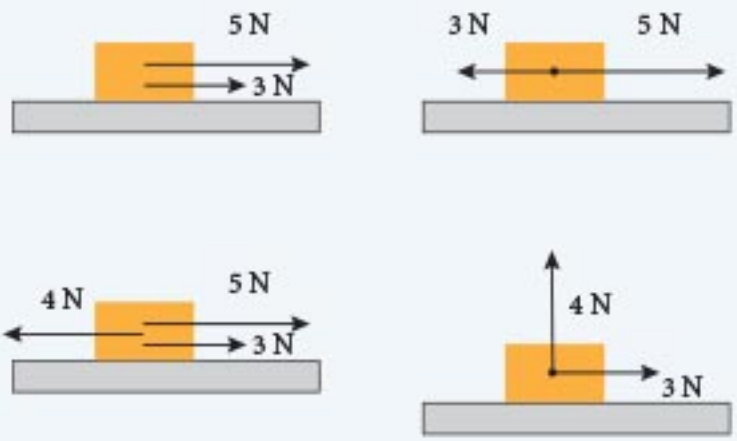
2. Aşağıdaki durumlar için kuvvet diyagramlarını çizin :

   a) Masa üzerindeki ki kitab.
   b) Atış anındaki top.
   c) Yaya asılı cisim.
   c) Sürücünün gaz pedalına bastığı sırada hareket hâlindeki bir araba.
   ç) Sürücü fren pedalına bastığında hareket halindyken bir araba.
   d) Ebeveyni tarafından yokuş yukarı çektiği kızaktağın üzerindeki çocuk.
   e) Olimpiyat Oyunları eleme müsabakalarında bir yarışmacının gülleyi atmaya hazırlanırken ipe asılı duran gülle.
   f) Role coaster arabası, arabanın hız treninin dairesel rayının en alt ve en üst konumunda olduğu zaman.
   g) Sürtünmesiz kayan bir cisim, yarımküreden ayrıldığı anda yarımkürenin yüzeyinde düşük bir hıza sahipken.
   ğ) Bir iple birbirine bağlı üç cisim vardır ve birinci cisim sağa doğru çekilirken.

3. Şekilde, M ve m kütleleri olan iki cismin bir iple birbirine bağlandığı bir sistem gösterilmektedir. $M < m$ kütleli cisim ile yüzey arasındaki sürtünme katsayısı μ'dür. Cisimlere etki eden kuvvetleri çizin ve onları isimlerndirin!



4. Resimlerde verilen tüm durumlar için ortaya çıkan olasılıkları hesaplayın.



2.6 Newton'un Yasaları

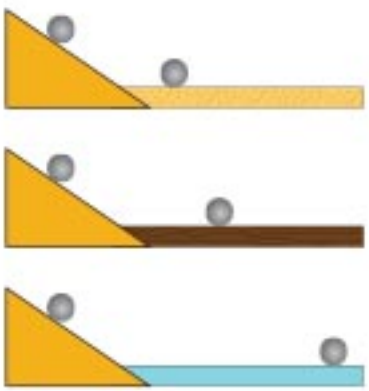
Newton'un Birinci Yasası

Antik Yunan'da Aristotel kuvvet kavramından bahsetmişti. Ona göre, cisimler ancak üzerlerine bir kuvvet etki ettiğinde hareket eder. Bu fikir mantıksız değildir, çünkü her gün karşılaştığımız bir şeydir: Duran bir arabayı hareket ettirmek için bir kuvvete, hareket halinde tutmak için ise gaz pedalına basmaya devam etmemiz gerekir. Ancak Aristotel'in hesaba katmadığı şey sürtünme kuvvetiydi. Gaz pedalına basmayı bıraktığımızda araba durur çünkü sürtünme kuvveti arabaya etki eder.

Aristotel'in kuvvetin cisimleri birbirine bağlamadaki rolü hakkında bu fikri uzun süre varlığını sürdürdü. Yaklaşık 2000 yıl sonra Galileo, kuvvetin cisimler üzerindeki etkisini deneylerle yeniden tanımladı.

Galileo'nun yaptığına benzer bir deneyi ele alalım.

Metal bir top, yatay bir yüzeye doğru devam eden eğimli bir düzlemden aşağıya bırakılıyor (Resim 1). Yatay yüzeye kum serpildiğinde top çok hızlı bir şekilde duruyor. Yüzey ahşapsa, top daha uzun süre hareket ediyor ve daha uzağa ulaşabiliyor. Yüzey camsa, topun en uzun süre hareket ettiği ve en uzağa ulaştığı gözlemlenebilir.



▲ Şekil 1. Bir düzlemde bir topla deney

Bu deneyden şu sonuca varılabilir: Sürtünme kuvveti azaldıkça, bilyenin aldığı mesafe artar; yani hareket daha uzun sürer ve gittikçe düzgün doğrusal harekete yaklaşır.

Benzer deneyler yaparak Galileo şu sonuca ulaşmıştır: Eğer tüm dış etkiler tamamen ortadan kaldırılabilseydi, cisim doğrusal bir çizgi boyunca sabit hızla sonsuza dek hareket etmeye devam ederdi; yani düzgün doğrusal hareket yapardı.

Isaac Newton, Galileo'nun ulaştığı sonucu bugün Newton'un Birinci Yasası olarak bilinen bir yasaya genelleştirdi:

> Cisimlere hiçbir kuvvet etki etmediğinde, cisimler hareketsiz veya düzgün doğrusal hareket halinde kalırlar.

Newton'un birinci yasası şu şekilde de ifade edilebilir:

> Her cisim, başka bir cisim tarafından etkileninceye kadar hareketsiz kalır veya düzgün doğrusal hareket halindedir.

Newton'un birinci yasasına eylemsizlik yasası da denir.



▲ Şekil 2. Emniyet kemeriyle korunan acemi bir sürücü

Eylemsizlik, cisimlerin durma hâllerinin veya düzgün doğrusal hareketlerinin değişimine karşı koyma özelliğidir.

Bir cismin üzerine etki eden bileşke kuvvet sıfır olduğunda, cismin hareketine **eylemsizlik hareketi** denir.

Tam da bu yasa, otomobillerde emniyet kemerinin zorunlu olmasının nedenini açıklar. Yüksek hızla giden bir otomobil ani fren yaptığında (örneğin çarpışma sırasında), emniyet kemeri takılı değilse yolcular eylemsizlikten dolayı öne fırlatılırlar (Resim 2).

Eylemsizlik Referans Sistemleri

Eylemsizlik referans sistemi, bir kuvvetin etkisi altında olmayan cisimlerin hareketsiz olduğu veya düz bir çizgide düzgün hareket ettiği bir sistemdir.

Böyle sistemlerde Newton'un birinci hareket yasası geçerlidir ve cisimlerin hareketi ek (görünür) kuvvetlere gerek kalmadan doğru bir şekilde tanımlanabilir. Bu referans sistemleri fizikte çok büyük bir rol oynar.

Gösterilmiştir ki, eğer bir deney iki farklı eylemsizlik sisteminde yapılırsa, deneyler aynı fizik yasalarına tabi olur ve aynı sonuçlar elde edilir. Örneğin: Bir referans sistemi Dünya yüzeyine bağlıdır, diğeriyse sabit hızla hareket eden bir trene bağlıdır. Bu iki referans sistemi eylemsizlik sistemleri olarak kabul edilebilir. Trenin içindeki bir yolcu, trenin sabit hızla hareket edip etmediğini ya da durduğunu kanıtlayacak hiçbir deney yapamaz; yani fizik yasaları her iki referans sistemi için de aynı şekilde geçerlidir.

Kütle, Cisimlerin Eylemsizliklerinin Bir Ölçüsüdür

Otoyolda seyahat ederken, farklı araçların farklı hızlarda hareket ettiğini sıklıkla fark ederiz. Kamyonlar neden her zaman arabalardan daha yavaş hareket eder ve onlar için neden özel hız sınırlamalar vardır?

Kamyonların neden daha yavaş hareket etmesi gerektiğini anlamak için, kütlenin cisimlerin hareketinde ve durmasında oynadığı rolü bir örnek üzerinden inceleyelim.

Çözülmüş örnek 1:

Arabalar için hız sınırının 120 km/saat olduğu bir otoyolda, kamyonların en fazla 80 km/saat hızla gitmesine neden izin veriliyor?

Cevap:

Kamyonlar arabalardan çok daha fazla kütleye sahiptir, bu da çok daha fazla atalet anlamına gelir. Atalet, bir cismin hızındaki bir değişikliğe direnme yeteneğidir. Bu, kamyonun fren yapmasının daha uzun süreceği ve dolayısıyla durmadan önce daha uzun bir mesafe kat etmesi gerekeceği anlamına gelir. Özellikle ani frenleme sırasında kaza riskini azaltmak için, kamyonlar daha düşük bir hızda, yani azami 80 km/sa hızla gitmeli ve kamyon ile önlerindeki araç arasındaki mesafe kurallarına uymalıdır.

Kütle, cisimlerin eylemsizliğinin bir ölçüsüdür, yani bir cismin kütlesi, cismin hızındaki değişime ne kadar direnç gösterdiğini söyler.

Newton'un İkinci Yasası

Bir Bilim İnsanı Gibi Düşün

Newton'un birinci yasası doğrulanamaz, çünkü kendimizi diğer cisimlerin etkisinden kurtarmak imkânsızdır. Ancak, bir kuvvetin etkisi altında bir cismin hızının ve hareket yönünün de değişebileceğini gösterebiliriz. Dolayısıyla, bir kuvvetin etkisi altında cismin ivme kazandığını söyleyebiliriz. Bu ivmenin büyüklüğü neye bağlıdır? Göreviniz, cismin ivmesinin üzerine etki eden kuvvete ve kütlesine bağımlılığını belirleyeceğiniz iki bilimsel araştırma yürütmek olacaktır.

Bilimsel araştırmanın başlığı: Cismin ivmesinin üzerine etki eden kuvvete bağlılığının belirlenmesi

Adım 1: Düz bir yüzey üzerinde, bir kuvvetin etkisi altında sabit bir ivmeyle hareket eden bir arabanın hareketini gözlemleyin. Arabanın, üzerine etki eden kuvvete bağlı olarak deneyimlediği ivmeyi belirlemek için bağımsız, bağımlı ve kontrol değişkenlerinin doğru bir şekilde belirlendiği bir test sağlayın.

Adım 2: Bir hipotez kurun

Adım 3: Bir deney planı oluşturun ve deneyi gerçekleştirin. Deney, şu simülasyon kullanılarak da gerçekleştirilebilir: PhET | Kuvvetler ve Hareket: Temeller | İvme.

Adım 4: Verileri işleyin ve kuvvet etkisi altında arabanın ivmesinin bağımlılığının grafiğini çizin.

Adım 5: Sonuçları yorumlayın ve hipotezi onaylayın veya reddedin

Aynı adımları şu başlıklı bilimsel araştırma için de tekrarla: Cismin ivmesinin kütlesine bağlılığının belirlenmesi.

Daha önce yapılan araştırmalardan elde edilen sonuçlara göre kesinlikle aşağıdaki karara varılmıştır:

- Bir cismin bir kuvvetin etkisi altında kazandığı ivme, cisme etki eden kuvvetle doğru orantılıdır.
- Bir cismin kuvvetin etkisi altında kazandığı ivme, kütlesine ters orantılıdır.

Birlikte, bu sonuçlar şu formülle ifade edilebilir:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

Araştırmalarınız sonucunda yukarıda verilen Newton'un ikinci yasasını keşfettiniz.

Newton'un ikinci yasası farklı bir şekilde yazıldığında şu şekilde ifade edilir:

(F) etkisi altında bir kuvvetin, kütlesi (m) olan bir cisim ivme (a) kazanır.

Kolay hatırlanması için Newton'un İkinci Yasası genellikle şu şekilde yazılır: $\vec{F} = m\vec{a}$. Matematiksel olarak bu formül bir öncekiyle aynı olsa da yanıltıcı olabilir. „Kuvvet kütleye ve ivmeye bağlıdır" diyemeyiz. Kuvvet, bir cisme dışarıdan etki eden ve cismin kütlesine ve ivmesine bağlı olmayan bir şeydir. Ayrıca, aynı cisim için kullanıldıkları için kütlesi değişmez.

Bir cisme birden fazla kuvvet etki ediyorsa, bileşke kuvvet F_R etkisi altında m kütleli cisim a ivmesi kazanır:

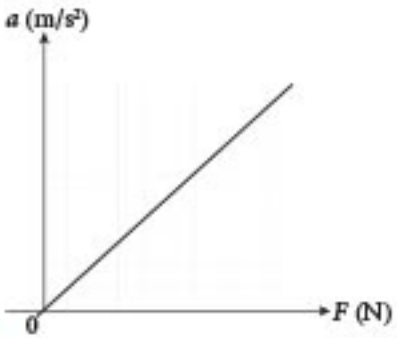
$$\overrightarrow{F_R} = m\vec{a}$$

Bir cismin bir kuvvetin etkisi altında kazanacağı ivmenin yönü, üzerine etki eden bileşke kuvvetin yönüyle aynıdır.

Son denklemlerden, kuvvetin birimi Newton olarak tanımlanmıştır. 1 kg'lık bir kütleye uygulanan 1 N'luk kuvvet, 1 m/s²'lik bir ivme verir veya

$$1\text{N} = 1\text{kg} \cdot 1\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Newton'un ikinci yasası aynı zamanda dinamiğin temel yasası olarak da adlandırılır ve yalnızca eylemsiz referans sistemlerinde geçerlidir.



▲ Grafik 1. Bir cismin ivmesinin , üzerine etki eden kuvvete bağlılığının grafiği.

Kuvvet Etkisi Altındaki Cismin Ivme Grafiği

İvmenin kuvvetle bağımlılığını bir grafik üzerinde gösterirsek, koordinat başlangıcından başlayan doğru bir çizgi elde ederiz, yani ivme ile kuvvet arasındaki bağımlılık doğru orantılıdır (grafik 1).

Grafik koordinat başlagıcından başlıyor, yani kuvvet $F = 0\,\text{N}$ olduğunda cismin ivmesi de 0 oluyor. Bu, cismin ya hareketsiz ya da düz bir çizgide düzgün hareket ettiği anlamına geliyor, tıpkı Newton'un Birinci Yasası'nda olduğu gibi!

Çözülmüş örnek 2:

$m = 2{,}5\,\text{kg}$ kütleli bir cisme sabit bir kuvvet etki etmektedir. Cisim hareketsiz halden hareket etmeye başlıyor ve $t = 2\,\text{dk.}$ süre geçince $s = 500\,\text{m}$ yol alıyor. Kuvvetin şiddetini belirleyiniz.

Tavsiyeler:

Dinamikle ilgili problemleri çözerken, her zaman düzgün ve düzgün ivmelenmiş doğrusal hareket denklemlerini aklında bulundur.

Verilen:

$m = 2{,}5\,\text{kg}$
$t = 2\,\text{min} = 2 \cdot 60\,\text{s} = 120\,\text{s}$
$s = 500\,\text{m}$
$v_0 = 0$

İstenilen:

$F = ?$

Çözüm:

Temel dinamik denklemi – Newton'nun İkinci Yasası $\vec{F} = m\vec{a}$ başlanarak ve cismin aldığı kuvvet ile ivmenin aynı doğrultu ve yönde olduğunu dikkate alarak skaler denklem şu şekilde yazılır $F = ma$

Düzgün ivmeli doğrusal hareket için skaler denklemler de yazılır.

$$v = v_o + a\,t \qquad s = v_0\,t + \frac{a\,t^2}{2}$$

$$v = a\,t \qquad s = \frac{a\,t^2}{2}$$

Ödevin durumuna göre, yol denklemi kullanılır ve şu sonuç elde edilir:

$$a = \frac{2s}{t^2} = \frac{2 \cdot 500\,\text{m}}{(120\,\text{s})^2} = 0{,}07\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Denklemi F yerine koyduğumuzda ise:

$$F = ma = 2{,}5\ \text{kg} \cdot 0{,}07\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 0{,}175\,\text{N}$$

Bir Bilim İnsanı Gibi Düşün

Newton'un ikinci yasasını kullanarak, sürtünme kuvvetinin cismin kütlesine, temas yüzeylerinin pürüzlülüğüne ve temas yüzeylerinin alanına nasıl bağlı olduğunu belirle.

Bilimsel araştırmanın başlığı: Sürtünme kuvvetinin cismin kütlesine bağımlılığının belirleyin.

Adım 1: İki farklı kuvvetin (çekiş ve sürtünme) etkisi altında, düz bir çizgide düzgün hareket eden bir cismin hareketini gözlemleyin. Cismin kütlesinin sürtünme kuvvetini nasıl etkilediğini belirlemek için bağımsız, bağımlı ve kontrol değişkenlerini doğru bir şekilde belirleyerek adil bir test sağlayın.

Adım 2: Bir hipotez kurun

Adım 3: Bir deney tasarlayın ve deneyini gerçekleştirin

Adım 4: Verileri analiz edin

Adım 5: Sonuçları yorumlayın ve hipotezi onaylayın veya reddedin

Aynı prosedürü aşağıda verilen konulardan bilimsel araştırma için tekrarlayın:

- Sürtünme kuvvetinin temas eden yüzeylerin pürüzlülüğüne bağlılığının belirleyin
- Sürtünme kuvvetinin temas eden yüzeylerin alanına bağlılığının belirleyin

Newton'un Üçüncü Yasası

Masa tenisi oynarken, top masaya her çarptığında masaya bir kuvvet uygular, aynı zamanda masa da topa bir kuvvet uygular ve bu nedenle top zıplayarak hızını ve hareket yönünü değiştirir.

Isaac Newton, kuvvetlerin her zaman var olduğunu, yani çiftler halinde ortaya çıktığını fark etmişti. Kuvvetin, cisimlerin etkileşiminin bir ölçüsü olarak tanımlanması, birbirleriyle etkileşime giren en az iki cisim olması gerektiğini gösterir. Bu etkileşimde, birinci cisim ikinci cisme etki adı verilen bir kuvvetle, ikinci cisim de birincisine tepki adı verilen bir kuvvetle etki eder.

Newton'un üçüncü yasası şöyle der:t

Bir cismin başka bir cisme uyguladığı kuvvet, ikinci cismin birinciye uyguladığı kuvvete eşit büyüklüktedir.

Bu şu şekilde yazılır:

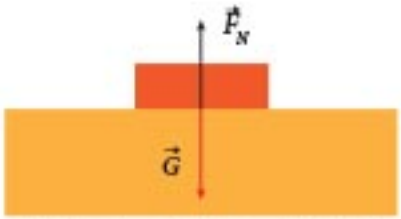
$$\vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1}$$

Eksi işareti bu iki kuvvetin zıt yönlerde olduğunu gösterir.

Başka bir deyişle, Newton'un üçüncü yasası şöyle der: Her etkiye karşılık, eşit ancak zıt bir tepki vardır.

Newton'un üçüncü yasası, cisimlerin karşılıklı etki kuvvetlerinin her zaman çiftler halinde meydana geldiğini, bir kuvvetin etki kuvveti, diğerinin ise etki kuvvetinin bileşkesi olduğunu ve tepki kuvveti olarak adlandırıldığını belirtir. Kuvvet türlerini incelerken bu kuvvet çiftlerinden bazılarından daha önce bahsetmiştik: cismin ağırlığı - etki ve yüzeyin normal tepki kuvveti - tepki (Şekil 3), cismin ağırlığı - etki ve sonundaki gerilme kuvveti - tepki, cismin ağırlığı - etki ve elastik kuvvet - gerilim - tepki, yerçekimi - Dünya'nın cismi çektiği kuvvet - etki ve cismin Dünya'yı çektiği kuvvet - tepki.

Etki ve tepki kuvvetleri farklı cisimler üzerinde etki eder. Bir cisme etki eden bileşke kuvveti ararken, cismin üzerine etki eden iki kuvvetten hangisinin, o cismin diğer cisme uyguladığı kuvvet olduğuna dikkat edilmelidir.



▲ **Şekil 3.** Kuvvet çifti: cismin ağırlığı - etki ve zeminin normal tepki kuvveti - tepki

Çözülmüş örnek 3:

Bir araba bir kamyonla çarpışırsa, hangi araç daha büyük bir kuvvete maruz kalır? Hangi araç daha büyük bir ivmeye maruz kalır? Açıklayın!

Cevap:

Newton'un üçüncü yasasına göre, etki kuvveti ve tepki kuvveti birbirine eşittir. Bu, kamyonun arabaya uyguladığı kuvvetin, arabanın kamyona uyguladığı kuvvete eşit olacağı anlamına gelir. Newton'un ikinci yasasından ($F = ma$), daha küçük kütleli aracın, yani arabanın daha büyük bir ivme kazanacağı sonucu çıkar.

Daha Fazla Bilgi İçin:

Eylemsiz sistemlere ek olarak, eylemsiz olmayan sistemler de vardır. Eylemsiz olmayan sistemler, eylemsiz referans sistemlerine göre ivmeyle hareket eden sistemlerdir. Doğası cisimlerin etkileşiminden kaynaklanmayan eylemsizlik kuvvetlerine tabidirler. Eylemsizlik kuvvetleri yalnızca eylemsiz olmayan sistemlerde ortaya çıkar!

Örnek: Hızlanan bir trenin zeminine yerleştirilen bir top, trenin hareket yönüne zıt yönde zeminde hareket etmeye başlar.

Eylemsizlik kuvvetleri, cisimlerin etkileşiminin sonucu değil, referans sisteminin ivmeli hareketinin bir sonucudur. Bu kuvvetlerin şiddeti, cismin kütlesi ile sistemin ivmesinin çarpımına eşittir ve yönü sistemin ivme yönüne zıttır, yani:

$$\vec{F}' = -m\vec{a}$$

Eylemsiz sistemler için temel dinamik yasası şu şekildedir:

$$\vec{F} + \vec{F}' = m\vec{a}'$$

Burada $\vec{F}$, cisme etki eden tüm "gerçek" kuvvetlerin bileşke kuvveti; $\vec{F}'$ eylemsizlik kuvveti; $\vec{a}'$ ise cismin **eylemsiz olmayan** referans sistemine göre kazandığı ivmedi.

Sorular:

1. Bir cisme yalnızca tek bir kuvvet etki ediyorsa, cisim hareketsiz ya da düzgün doğrusal hareket halinde olabilir mi?
2. Bir cisim ile zemin arasındaki sürtünme kuvveti şu şekilde ölçülür: bir cisim, yatay bir yüzey üzerinde dinamometreyle çekildiğinde ve cisim düzgün doğrusal hareket edecek şekilde çekilirse, cismi çekmek için uygulanan kuvvetin büyüklüğü sürtünme kuvvetine eşittir. Nedenini açıkla!
3. Bir araba neden bir kamyondan daha kolay hızlanabilir?
4. Bir kutu eğik bir düzlem üzerinde duruyor. Düzlemin eğimi, kutu kaymaya başlayana kadar artırılıyor. Eğimin artık değişmediği durumda cisim nasıl hareket eder?
5. Bir zemin üzerine yerleştirilmiş bir cisme yerçekimi ağırlığı ve zeminin tepki kuvveti etki ediyor. Bu iki kuvvet, etki–tepki kuvvetleri midir? Değilse, bu iki kuvvetin etki–tepki çiftlerindeki karşı kuvvetlerin adlarını belirt.
6. Bir çiviyi ağaca çakmak istediğinde, her vuruşta çekiç çiviye bir kuvvet uygular ve çivi de çekice aynı büyüklükte bir kuvvet uygular. Buna rağmen çiviyi nasıl çakmayı başarırsın?
7. Newton'un birinci yasasının, Newton'un ikinci yasasının özel bir durumu olduğunu düşünüyor musunuz? Neden evet/neden hayır?
8. $m = 2$ kg, kütleli bir cisim, hareketsiz halden sabit bir kuvvetin etkisi altında hareket etmeye başlıyor. $s = 100$ m'lik bir mesafe $v = 10\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ hızla kat edildikten sonra kuvvetin şiddetini belirleyiniz.

9. $m = 2\,\text{kg}$ kütleli bir cismin birinci saniyede $s = 2\,\text{m}$ yol alması için cisme ne kadar kuvvet uygulanmalıdır?

10. Ay'a uçmak için kullanılan en ünlü roketlerden biri Satürn 5'tir. Toplam kütlesi $m = 516 \cdot 10^3\,\text{kg}$ bileşke kuvveti $F = 4900\,\text{kN}$ ve anlık hızı $v_0 = 2300\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$ olan roket, $t = 20\,\text{s}$, saniye içinde belirli bir mesafe s katetmiştir. Bu mesafeyi hesaplayınız.



11. Sürücüsüyle birlikte kütlesi $m = 600\,\text{kg}$ olan Toyota Formula 1 araçlarından biri, hareketsiz durumdan hareket ettiğinde, $t = 3{,}4\text{s}$ sürede $s = 100\,\text{m}$ yol almaktadır. Aracın oluşan sürtünme kuvvetinin bileşkesini hesaplayınız.



Kuvvet Çeşitleri Ve Newton Yasaları Ile Problem Çözme

İpuçları:

Newton yasalarını kullanarak problemleri başarıyla çözmek için, bir cisim üzerine birden fazla kuvvet etki ettiğinde, birkaç adımın uygulanması uygun görülür:

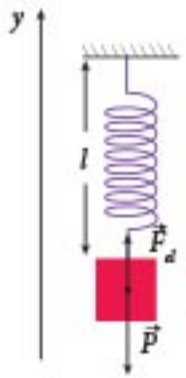
- Cisim üzerindeki kuvvetlerin diyagramı çizilir.
- Cismin hareket yönü belirlenir.
- Newton'un ikinci yasası, cisme etki eden tüm kuvvetleri dikkate alarak vektörel biçimde yazılır.
- Newton'un ikinci yasası, kuvvetlerin bir koordinat sistemine yansıtıldığı skaler formda yazılmıştır. Denklemlerin yönünün hareket yönüyle örtüşmesi en iyisidir. Koordinat sistemini nasıl kuracağınız, cisme etki eden kuvvetlerin yönüne bağlıdır.
- Bilinmeyen büyüklükler belirlenir.

Fiziksel denklemleri yazdıktan sonra, herhangi bir fiziksel niceliği ortadan kaldırmak için uygun tematik işlemi kullanın.

Birden fazla cismin söz konusu olduğu bir problemi çözerken her bir cisim için ayrı bir kuvvet diyagramının çizildiğini ve Newton'un İkinci Yasası'ndan ayrı bir denklemin yazıldığını unutmayın.

Farklı cisimlerin hareketi farklı referans eksenlerine göre düşünülebilir.

Ders kitabının sonunda yer alan trigonometrik fonksiyonlar ek 2'de, bu problemlerin çözümünde yardımcı olacak temel trigonometrik fonksiyonlar tanımlanmaktadır.



▲ Şekil 1. Gerilim altında asılı duran bir cisme etki eden kuvvetlerin diyagramı .

Çözülmüş örnek 1:

Meyve satıcısı, meyvenin kütlesini bir teraziye asarak ölçer. Terazinin, gerilmemiş halde uzunluğu 10 cm olan bir yay bulunmaktadır. Yayın ucuna kütlesi 600 g olan bir meyve poşeti asılır. Uzamadan sonra yayın uzunluğu, başlangıç uzunluğunun üçte ikisi kadar artmıştır. Yayın elastik katsayısı kaçtır?

Çözüm:

Verilen:

$l_0 = 10\ \text{cm} = 0{,}1\ \text{m}$
$m = 600\ \text{g} = 0{,}6\ \text{kg}$
$s = 500\ \text{m}$
$v_0 = 0$

$$l = l_0 + \frac{2}{3}l_0 = (1+\frac{2}{3})l_0 = \frac{5}{3}l_0$$

$$g = 9{,}81\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

İstenilen:

$k = ?$

Cisim ve yay hareketsiz durumdayken, Newton'un İkinci Yasası'ndaki denklem, $a = 0$ varsayılarak yazılır:

$$\overrightarrow{F_{el}} + \vec{P} = 0$$

Referans eksenine göre izdüşüm alınarak elde ettiğimiz

$$F_{el} - P = 0 \qquad F_{el} - mg = 0 \qquad F_{el} = mg$$

Hooke yasasının denkelminde $F_{el} = k\Delta l$ uzantısını kullanılarak, aşağıdaki formulü elde ederiz

$$\Delta l = l - l_0 = \frac{5}{3}l_0 - l_0 = \frac{2}{3}l_0$$

Bunu Hooke yasası ile değiştirirsek elastik kuvvetini $F_{el} = k\frac{2}{3}l$ elde ederiz. Daha sonar bu bağımlılığı Newton'un İkinci Yasasının izdüşüüne koyarız

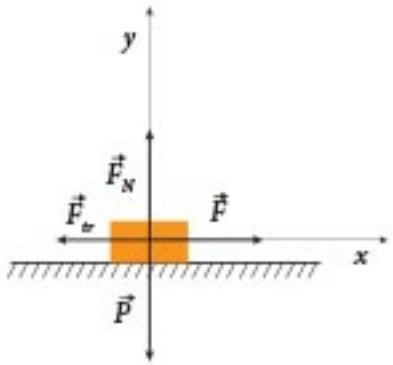
$$k\frac{2}{3}l_0 = mg$$

k için son denklemde elde ettiğimiz

$$k = \frac{3mg}{2l_0} = \frac{3 \cdot 0{,}6\ \text{kg} \cdot 9{,}81\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{2 \cdot 0{,}1\ \text{m}} = 88{,}3\ \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Çözülmüş örnek 2:

senia, 10 kg kütleli bir kutuyu yüzeye göre yatay yönde 800 N›luk bir kuvvetle çekiyor. Yüzey ile kutu arasındaki sürtünme katsayısı 0,1dir. Hava direnci ise ihmal eder. Dünya›nın ivmesi, kutunun $g = 9{,}81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ nedir? deneyimlediği ivme midir?



▲ Şekil 2. Yatay bir düzlemde hareket eden bir cismin kuvvet diyagramı

Çözüm:

Verilen:

$m = 10\ \text{kg}$

$F = 800\ \text{N}$

$\mu = 0{,}1$

$g = 9{,}81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

İstenilen:

$a = ?$

Kutuya etki eden tüm kuvvetler için Newton'un İkinci Yasası'ndan vektör denklemini yazın

$\vec{F}_{tr} + \vec{F}_N + \vec{P} + \vec{F} = m\vec{a}$

Kutuya etki eden kuvvetler birbirine dik yönlerde olduğundan, kuvvetlerin yönleriyle örtüşen bir düzlem koordinat sistemi oluşturuyoruz.

Denklemin x ve y eksenleri doğrultusunda izdüşümü yapılır.

$x: -F_{trx} + F_{Nx} + P_x + F_x = ma_x$ $\quad y: -F_{try} + F_{Ny} + P_y + F_y = ma_y;$

$F_{trx} = F_{tr};$ $\quad F_{try} = 0;$

$F_x = F;$ $\quad F_x = 0;$

$P_x = 0;$ $\quad P_x = P;$

$F_{Nx} = 0;$ $\quad F_{Ny} = F_N;$

$a_x = a$ $\quad a_y = 0$

Tüm bu koşullar kullanıldığında, Newton'un İkinci Yasasının izdüşümleri basitleştirilir ve aşağıdaki formül elde edilir

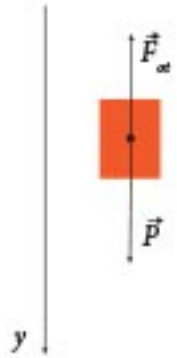
$x: -F_{tr} + F = ma$

$y: -P + F_N = 0;\ F_N = P = mg$

Sürtünme kuvveti $F_{tr} = \mu F_N$, denklemini göz önünde bulundurarak değiştirebilirz.

$x: -\mu mg + F = ma$

$$a = \frac{F - \mu mg}{m} = \frac{800\ \text{N} - 0{,}1 \cdot 10\ \text{kg} \cdot 9{,}81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{10\ \text{kg}} = 79{,}02 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$



▲ Şekil 3. Açık paraşütlü paraşütçünün kuvvet diyagramı

Çözülmüş örnek 3.

Bir paraşütçünün paraşütüyle birlikte kütlesi 90 kg›dır. Paraşüt açıldığında paraşütçünün hızı 50 m/s›dir. Paraşütçü 40 m alçaldıktan sonra hızı 10 m/s›ye düşer. Paraşüt açıkken hava direnci kuvveti nedir?

Çözüm:

Verilen:

$m = 90\ \text{kg}$
$v_0 = 50\ \text{m/s}$
$v = 10\ \text{m/s}$
$h = 40\ \text{m}$

İstenilen:

$F_{ot} = ?$

Açık paraşüt inişi sırasında paraşütçünün paraşütle birlikte kuvvet diyagramı Şekil 3'te verilmiştir.

Paraşütçüye etki eden kuvvetler diyagramına göre, Newton'un İkinci Yasası vektörel biçimde şöyle ifade edilir

$$\vec{F}_{ot} + \vec{P} = m\vec{a}$$

Eğer bu kuvvetlerin izdüşümünü, paraşütçünün hareket yönünde yerleştirilmiş koordinat eksenine yaparsak, elde ettiğimiz

$$P - F_{ot} = ma$$

Böylece hava direnci kuvveti için elde ettiğimiz

$$F_{ot} = P - ma$$
$$F_{ot} = mg - ma = m(g - a)$$

Paraşütçünün ivmesi, alınan yol ve hız değişimi için verilen formüllerden bulunabilir:

$$h = v_0 t + \frac{at^2}{2} \text{ ve } v = v_0 + at$$

Böylece ivme için elde edilir

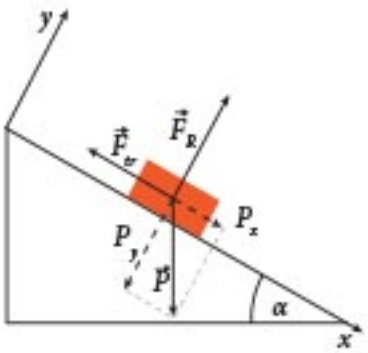
$$a = \frac{v^2 - v_0^2}{2h} = -30\ \text{m/s}$$

Hava direnci kuvveti için elde edilir:

$$F_{ot} = 3583\ \text{N}$$

Çözülmüş örnek 4:

Kamyonu boşaltırken, işçilerin kaldırmak zorunda kalmaması için yükü indirmek amacıyla yükleme/transfer rampaları kullanılır. İşçi, rampanın başına 50 kg kütleli bir kutu yerleştirir. Rampanın açısı 30 ° ve uzunluğu 2 m›dir. Zemin ile kutu arasındaki sürtünme katsayısı 0,1›dir. Yerçekimi ivmesi 0,1›dir $g = 9{,}81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Hava direnci ihmal edilir . Kaç tane. Kutu eğimli bir rampadan aşağı ne zaman hareket eder?



▲ Şekil 4. Eğimli bir düzlem boyunca hareket eden bir cismin diyagramı

Verilen:

$m = 50\ \text{kg};\quad s = 2\ \text{m};\quad \alpha = 30°;\quad \mu = 0{,}1;\quad g = 9{,}81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

İstenilen:

$t = ?$

Çözüm:

Cisme etki eden tüm kuvvetler için Newton'un İkinci Yasasının vektör denklemi yazılır

$$\vec{F}_{tr} + \vec{F}_N + \vec{P} = m\vec{a}$$

Denklemin x doğrultusundaki izdüşümü yapılır:

$$x: -F_{trx} + F_{Nx} + P_x = ma_x;$$

$$F_{trx} = F_{tr};$$

$$P_x = P\sin\alpha;$$

$$F_{Nx} = 0;$$

$$a_x = a$$

Devamında elde edilen

$$x: -F_{tr} + P\sin\alpha = ma;$$
$$-\mu F_N + mg\sin\alpha = ma$$

Denklemin y ekseni doğrultusundaki izdüşümü yapılır:

y: $F_{try} + F_{Ny} - P_y = ma_y;$

$F_{try} = 0;$

$P_y = P\cos\alpha;$

$F_{Ny} = F_N;$

$a_y = 0$

$y: F_N - P\cos\alpha = 0;$

$F_N - mg\cos\alpha = 0;$

$F_N = mg\cos\alpha$

F_N'nin x–eksenindeki izdüşüm denklemine yerine konmasıyla şu elde edilir:

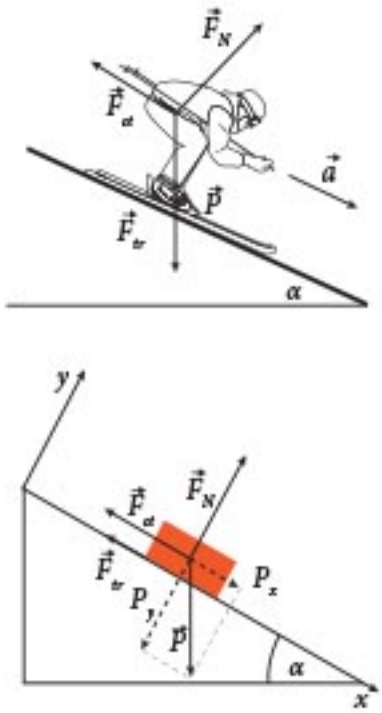
$$-\mu mg\cos\alpha + mg\sin\alpha = ma$$

a ivmesi için son denklemden aşağıdakini elde etmiş oluruz

$$a = g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha) = 9{,}81\frac{\text{m}}{\text{s}^2}(\sin 30° - 0{,}1\cos 30°) = 9{,}81\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\left(\frac{1}{2} - 0{,}1\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = 4{,}05\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Düzgün doğrusal harekette yol denklemi üzerinden elde edilen sonuç $s = v_0 t + \frac{a t^2}{2}$,

veya $s = \frac{a t^2}{2}$, zaman için elde edilen sonuç $t = \sqrt{\frac{2s}{a}} = 0{,}89\ \text{s}$



▲ Şekil 5. İnen bir kayakçı ve onun üzerinde etki eden kuvvetlerin diyagramı

Çözülmüş örnek 5:

m kütleli bir kayakçının bir tepeden verilen α açısıyla inerken üzerine etki eden kuvvetlerin diyagramını çizin. Üzerine etki eden kuvvetlerin kayakçının hareketini nasıl etkilediğini ve ivmesinin neye bağlı olduğunu analiz edin.

Çözüm:

Bir kayakçının eğimli düzlemden inişi sırasında (alp disiplini kayağı), kayakçı hareket yönünde bir ivme kazanır. İniş sırasında ona etki eden kuvvetler şunlardır:

- Yerçekimi ($\vec{P}$) – düzey olarak aşağıya yönde
- Yüzeyin normal tepki kuvveti ($\vec{F}_N$) – eğimli düzleme dik yönde, düzlemden kayakçıya doğru
- Hava direnci kuvveti ($\vec{F}_\alpha$) – kayakçının hareket yönüne zıt
- Sürtünme kuvveti ($\vec{F}_{tr}$) – yine kayakçının hareket yönüne zıt

Eğimli düzlemde aşağı inen kayakçı için Newton'un ikinci yasası vektörel biçimde şu denklemle verilir:

$$\vec{P} + \vec{F}_N + \vec{F}_\alpha + \vec{F}_{tr} = m\vec{a}$$

Denklemin x ve y eksenlerine izdüşümü yapılırsa aşağıdaki etkeni elde ederiz:

$x: -F_{trx} - F_{otx} + F_{Nx} + P_x = ma_x$; $y: F_{try} + F_{oty} + F_{Ny} - P_y = ma_y$;

$F_{trx} = F_{tr}$, $F_{try} = 0$;

$F_{otx} = F_{ot}$; $F_{oty} = 0$;

$P_x = P\sin\alpha$; $P_y = P\cos\alpha$;

$F_{Nx} = 0$; $F_{Ny} = F_N$;

$a_x = a$ $a_y = 0$

$$x: -F_{tr} - F_{ot} + P\sin\alpha = ma \qquad y: F_N - P\cos\alpha = 0;$$
$$-\mu F_R - F_{ot} + mg\sin\alpha = ma \;; \qquad F_N - mg\cos\alpha = 0;$$
$$F_N = mg\cos\alpha$$

F_N x–eksenindeki izdüşüm denklemine yerine konmasıyla aşağıdakini elde ederiz:

$$-\mu mg\cos\alpha - F_{ot} + mg\sin\alpha = ma$$

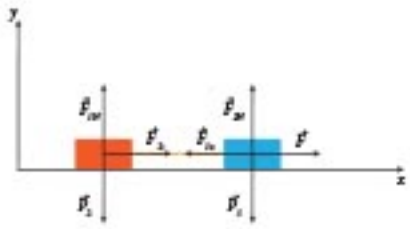
Son denklemden ivme a için elde edilir :

$$\frac{-\mu mg\cos\alpha - F_{ot} + mg\sin\alpha}{m} = a$$

$$g\sin\alpha - \mu g\cos\alpha - \frac{F_{ot}}{m} = a$$

Son denklemlerden şu sonuca varılabilir :

- Kayakçı, yerçekimi sayesinde ve yalnızca kayakçının hareket yönündeki Yerçekimi bileşeninin etkisiyle eğimli bir düzlemden aşağı iner. Bu bileşen, dik yamaçlardan daha büyüktür. Bu nedenle, daha dik yamaçlarda kayakçılar daha yüksek hıza ulaşırlar.
- Yüzeyin normal tepki kuvveti, kayakçının kazandığı ivmede rol oynamaz.
- • Hava direnci kuvveti ve kayak ile kar arasındaki sürtünme kuvveti ne kadar büyük olursa, kayakçının kazanacağı ivme o kadar küçük olur. Hava direncini azaltmak için kayakçı, şekilde verilen duruşu alarak temas alanını ve dolayısıyla hava direnci kuvvetini azaltır. Sürtünme kuvveti, farklı kayak stillerine uygun özel kayak tasarımlarıyla azaltılır. Bununla birlikte, kayakların kenarı ile kar arasındaki sürtünme kuvveti önemlidir; çünkü bu sayede kayakçı pistteki virajları alabilir.



▲ Şekil 6. Çift eklemli bir gövde için kuvvet diyagramı

Çözülmüş örnek 6:

Yatay bir yüzey üzerine yerleştirilen iki cisim, kütleleri $m_1 = 0{,}1$ kg ve $m_2 = 0{,}3$ kg ağırlığı ihmal edilen uzamayan bir iple bağlanmıştır. Birinci cisme etki eden kuvvet $F = 40$ N'dur. İpin dayanabileceği en büyük gerilme kuvveti $F_{\text{çmax}} = 35$ N. Cisimler ile yüzey arasındaki sürtünme ihmal edilsin.

a) Uygulanan yük altında iki cisimden oluşan sistemin ivmesi nedir ?

b) İp bu yükü taşıyabilir mi?

Çözüm:

Verilen:

$m_1 = 5\text{kg}$

$m_2 = 6\text{kg}$

$g = 9{,}81 \dfrac{\text{m}}{\text{s}^2}$

İstenilen:

$a = ?$

İki cisim için Newton'un İkinci Yasasının vektör denklemleri yazılır, ardından x ve y eksenleri doğrultusundaki izdüşüm denklemleri de yazılır.

I cisim:

$\vec{F} + \vec{F}_{s1} + \vec{P}_1 + \vec{F}_{N1} = m_1 \vec{a}$

$x: F_x - F_{1sx} + F_{1Nx} + P_{1x} = m_1 a_x;$ $\quad y: F_y - F_{1sy} + F_{1Ny} + P_{1y} = m_1 a_y;$

$F_x = F;$ $\quad F_y = 0;$

$F_{1sx} = F_{1s};$ $\quad F_{1s} = 0;$

$F_{1Nx} = 0;$ $\quad F_{1Ny} = F_{1N};$

$P_{1x} = 0;$ $\quad P_{1y} = P_1;$

$a_x = a$ $\quad a_y = 0$

$x: F - F_{1s} = m_1 a$ $\quad y: F_{1N} + P_1 = 0$

II cisim:

$\vec{F}_{2s} + \vec{P}_2 + \vec{F}_{2N} = m_2 \vec{a}$

$x: F_{2sx} + F_{2Nx} + P_{2x} = m_2 a_x;$ $\quad y: -F_{2sy} + F_{2Ny} + P_{2y} = m_2 a_y;$

$F_{2s} = F_{2s};$ $\quad F_{2s} = 0;$

$F_{Nx} = 0;$ $\quad F_{2Nx} = F_{2N};$

$P_{2x} = 0;$ $\quad P_{2y} = P;$

$a_x = a$ $\quad a_y = 0$

$x: F_{2x} = m_2 a$ $\qquad$ $y: F_{2N} + P_2 = 0$

Cismin hareketi x ekseni doğrultusunda olduğundan, yalnızca x ekseni üzerindeki izdüşüm denklemleri kullanılacaktır

$$F - F_{1x} = m_1 a\,;$$
$$F_{2x} = m_2 a$$

Newton'un üçüncü yasasına gore $F_{1x} = F_{2x} = F_x$, buna göre aşağısı yazılabilir

$F - m_2 a = m_1 a$, yani a adına devamınıdakini elde ederiz

$$a = \frac{F}{m_1 + m_2} = \frac{40\ \text{N}}{0{,}1\ \text{kg} + 0{,}3\ \text{kg}} = 100\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Gerilim kuvveti için elde ettiğimiz formül

$$F_{2x} = F_x = m_2 a = 30\ \text{N}$$

Bu, ipin böyle bir yükü taşıyabileceği anlamına gelir.

Çözülmüş örnek 7:

Asılı bir makara üzerinden bir ip geçirilmiştir; ipin uçlarına $m_1 = 5\,\text{kg}$ ve $m_2 = 6\,\text{kg}$ kütleli iki ağırlık asılmıştır. Makaranın ve ipin kütlesi ile ipin makaraya sürtünmesi ihmal edilsin. Ağırlıkların Dünya'ya göre ivmesi ne kadardır?

Çözüm:

Verilen:

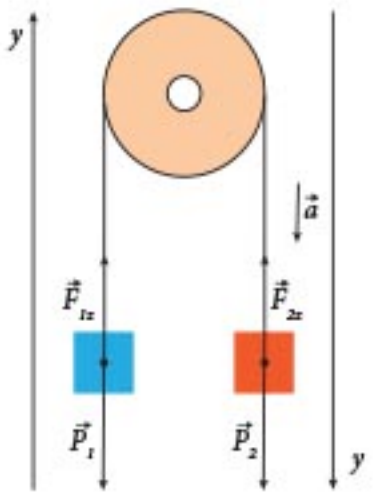
$m_1 = 5\,\text{kg}$
$m_2 = 6\,\text{kg}$

$$g = 9{,}81\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

İstenilen:

$a = ?$

Her cisim için referans eksenleri çizilir. Yön, ağırlıkların hareket yönüne göre seçilir. Ağırlıklara yalnızca yerçekimi kuvveti ve ipin gerilme kuvveti etki ettiğinde, hareket yönü daha büyük kütleli ağırlığa göre belirlenir. Eğer areket yönü için yanlış bir varsıyım yapılırsa, ivme için negatif bir değer elde edilir.



▲ Şekil 7. Uzatılamaz bir ipe asılı ışıkların diyagramı

İki ağırlık için Newton'un İkinci Yasasının vektör denklemleri yazılır, ardından y ekseni doğrultusundaki izdüşüm denklemleri de yazılır.

I ağırlık:

$$\vec{F}_{1z} + \vec{P}_1 = m_1 \vec{a}$$

$$y_1 : F_{1z} - P_1 = m_1 a$$

$$F_{1z} - m_1 g = m_1 a$$

II ağırlık:

$$\vec{F}_{2z} + \vec{P}_2 = m_2 \vec{a}$$

$$y_2 : F_{2z} - P_2 = m_2 a$$

$$-F_{2z} - mg = m_2 a$$

Newton'un üçücü yasasına gore $F_{1z} = F_{2z} = F_z$

Newton'un üçücü yasasına gore F_{1z} yi yerine koyduğumuzdaa

$$F_{1z} = F_z = m_1 g + m_1 a$$

İkinci ağırlık denklemi için aşağıdakini elde ederiz

$$-(m_1 g + m_1 a) + m_2 g = m_2 a$$

Son düzenleme ile ivme için şu ifade elde edilir:

$$a = \frac{(m_2 - m_1)g}{m_1 + m_2} = \frac{1\ \text{kg} \cdot 9{,}81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{11\ \text{kg}} = 0{,}89 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

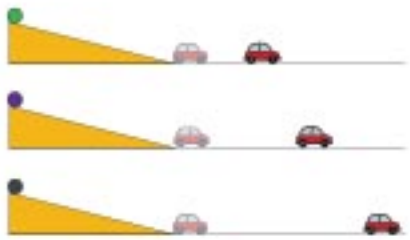
2.7 Cismin Momentumu ve Momentumun Korunumu Yasası

Bir pinpon topuna sopayla vurduğumuzda, topun hareketinin yönü ve hızı değişir. Newton yasaları, topun nasıl hareket edeceğini hesaplamamıza olanak tanır, ancak Newton yasaları, top ile sopa arasındaki temas süresinin hareketindeki değişimi nasıl etkilediğini söyleyemez. Bu nedenle, bu bağımlılığı ortaya çıkaracak birkaç fiziksel büyüklük sunacağız.

Cismin impulsu

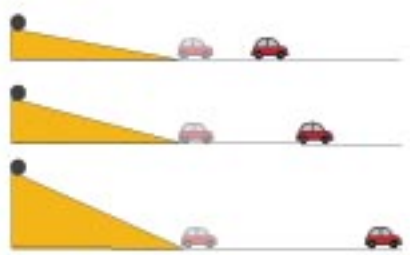
Bir cisme kuvvet uygulandığında ne kadar hareket edeceğini neyin belirlediğini görmek için iki aşamalı bir deney yapacağız.

Deneyin ilk bölümünde, aynı boyutlara sahip ancak farklı kütlelere sahip metrelerce topu (örneğin: bir tenis topu, bir lastik top ve bir metal top) eğimi sabit olmayan belirli bir düzlem boyunca bırakacağız (Şekil 1). Düzlemin ucuna bir oyuncak araba yerleştirirsek, en büyük kütleye sahip topun çarptığı arabanın en çok hareket edeceğini göreceğiz. Tüm toplar aynı mesafeden bırakıldıkları için aynı hızda hareket etti, ancak en büyük kütleye sahip top en büyük hareketi yarattı.



▲ Şekil 1. Farklı kütlelere sahip bilyelerin etkisi altında tekerleğin farklı hareketi

İkinci bölümünde, aynı topun düz bir yüzeye yerleştirilmiş bir arabaya çarpma hızını değiştireceğiz. Bu, yüzeyin eğimini değiştirerek sağlanacaktır (Şekil 2). Yüzeyin eğimi arttıkça, topun hızı da artacaktır. Bu deneyle, en yüksek hızda hareket eden top arabaya çarptığında arabanın en çok hareket ettiği gözlemlenebilir . Tüm topların kütlesi aynıdır, ancak en yüksek hıza sahip top en büyük yer değiştirmeye neden olur.



▲ Şekil 2. Farklı hızlardaki bilyelerin etkisi altında tekerleğin farklı hareketleri

Sonuçlar, çarpışmanın etkisinin hem topun kütlesine hem de hızına bağlı olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, bir cismin çarpışma sırasında başka bir cisimde değişime neden olma yeteneğini tanımlamak için kütle ve hızı birleştiren yeni bir fiziksel niceliğe ihtiyaç vardır. Bu niceliğe Isaac Newton hareket niceliği adını vermiş, bugün ise cismin momentumu olarak adlandırılmaktadır.

Bir cismin momentumu, cismin kütlesi ile hızının çarpımıdır.

Bir cismin momentumu şu formül kullanılarak hesaplanır

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

Bir cismin kütlesi skaler bir nicelik olmasına rağmen, cismin hızı vektörel, momentumu ise vektörel bir nicelik olup $\vec{p}$ harfiyle gösterilir .

İtme kuvvetinin birimi $\mathbf{kg\frac{m}{s}}$.

İtme Kuvveti

Otoyolda aynı hızda seyreden iki araç var. Biri otomobil, diğeri kamyon. Her iki sürücü de bir kazayı önlemek için ani fren yapmak zorunda kalırsa, kamyonun aynı sürede durmak için çok daha fazla kuvvete ihtiyacı olacaktır. Bu nedenle kamyonların daha uzun durma mesafeleri ve özel fren sistemleri vardır. Bu nedenle ağır vasıtalar için, özellikle araçlar arasında bırakmaları gereken mesafe ve hareket hızı konusunda farklı trafik kuralları vardır.

Biri 80 km/s, diğeri 120 km/s hızla hareket eden iki özdeş araç olduğunda ne olur? Her iki sürücü de çarpışmayı önlemek için ani fren yapmak zorunda kalırsa , daha hızlı giden sürücünün aynı sürede durmak için çok daha fazla kuvvete ihtiyacı olacaktır. İki aracın kütlesi aynı olsa da, daha hızlı giden aracın momentumu daha fazladır, bu da durmasının daha zor olduğu anlamına gelir.

Her iki örnekte de kullanılan fiziksel niceliğin, araçların fren yapabileceği **zaman aralığı olduğunu fark ettiniz.** Şimdi, kuvvetin süresinin cismin hareketindeki değişimi nasıl etkilediğini inceleyeceğiz.

Dinamiğin temel denklemi şu formülle verilir:

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

$\vec{F} = m\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ olarak temsil edilebilir yani ,

$$\vec{F} = m\frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1} \quad \text{veya} \quad \vec{F} = \frac{m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1}{t_2 - t_1}$$

$\Delta\vec{p} = m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1$ miktarı, $\Delta t = t_2 - t_1$ **zaman aralığındaki momentumdaki değişimdir.**

şu formülle de yazılabilir:

$$\vec{F} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t}$$

Burada $\frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t}$ momentumun değişim oranını temsil eder yani vücudun nabzının ne kadar hızlı değiştiği.

Bir cismin momentumunun değişim hızı, cisme etki eden kuvvete eşittir.

$\vec{F}\Delta t = \Delta\vec{p}$ şeklinde de yazılabilir.

$\vec{F}\Delta t$ çarpımına itme kuvveti denir . Denklemden kuvvetin itmesinin, cismin momentumundaki değişime eşit olduğu söylenebilir.

Bir araç aniden fren yaptığında veya bir cisme çarptığında, yolcular atalet nedeniyle ileri doğru hareket etmeye devam eder ve aracın ön kısmına çarpabilirler. Böyle ani bir duruş sırasında yolculara etki eden kuvvetleri azaltmak için, kuvvetin süresini artırmak önemlidir. Emniyet kemerleri ve hava yastıkları tam da bunu sağlar (Şekil 3). Vücudun bir saniyenin kesri kadar durması yerine, vücudun durma süresini (yani momentumun değişmesi için gereken süreyi) uzatarak yolcuya etki eden kuvveti aşağıdaki formüle göre azaltır:

$$\vec{F} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t}$$



▲ Şekil 3. Güvenlik donanımları (emniyet kemeri ve hava yastığı) aracın ani durması durumunda kuvvetin etki süresini uzatmayı amaçlar.

Çözülmüş örnek 1:

$m = 691$ kg, olan McLaren aracı , pistten çıkıyor $v_0 = 144\,\frac{\text{km}}{\text{h}}$,hızla dairesel bir virajda, aşağıdaki $\Delta t = 5$ s sabit ivme hız $v = 216\,\frac{\text{km}}{\text{h}}$.

Hesapla Arabanın momentumu ve çekişi değişti. kuvvetle eklenen ivme.



▲ Şekil 4. McLaren otomobili.

Verilen:

$m = 691$ kg; $v_0 = 144\,\frac{\text{km}}{\text{h}} = 40\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$; $\Delta t = 5$ s; $v = 216\,\frac{\text{km}}{\text{h}} = 60\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

İstenilen:

$\Delta p = ?$; $F = ?$

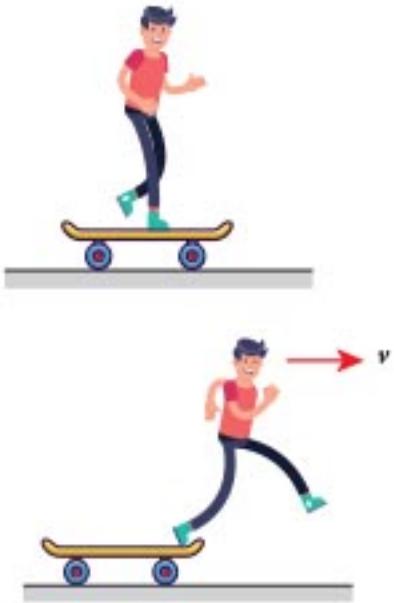
Çözüm:

Momentumdaki değişim şu şekilde

$$\Delta p = mv - mv_0 = m(v - v_0) = 691\,\text{kg} \cdot \left(60\,\frac{\text{m}}{\text{s}} - 40\,\frac{\text{m}}{\text{s}}\right) = 1382\,\text{kg}\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

F denkleminden, Newton'un İkinci Yasasına gore elde edilen sonuç

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{1382\,\text{kg}\,\frac{\text{m}}{\text{s}}}{5\,\text{s}} = 276,4\,\text{N}$$



▲ Şekil 5. Bir çocuğun kayak yapıyormuş gibi atlayışı. Çocuk sağa atlarken kayak sola dönüyor.

Momentumun Korunumu Yasası

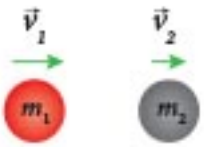
Sabit bir kaykayın üzerinde duran bir çocuk yatay bir yöne doğru zıplarsa, kaykay geriye doğru hareket eder. Aynı şey, kıyıya yakın bir yerde park halinde duran bir tekneden çıkan bir balıkçı için de geçerlidir. Balıkçı tekneden çıktığında tekne geriye doğru hareket eder. Bunun nedenini açıklayabilir misiniz?

Şimdiye kadar sadece tek bir cismin momentumunu ele aldık. Ancak yukarıdaki örneklerde olduğu gibi, cisimler etkileşime girdiğinde momentumlarına ne olduğuna bakalım. Bizim örneğimizde, etkileşime giren iki topu ele alacağız ve silindir ile teknenin neden geriye doğru hareket ettiğini cevaplamanız gerekiyor. Etkileşime giren iki cisim bir sistem oluşturur. Bu iki cisim ortamdaki diğer cisimlerle etkileşime girmiyorsa, bu sisteme izole sistem denir.

İzole sistem, çevredeki diğer cisimlerle etkileşime girmeyen cisimlerden oluşan bir sistemdir.

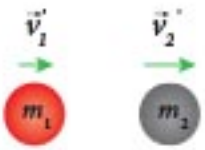
Cisimlerin etkileşimi Newton'un üçüncü yasasına tabidir, yani;

$$\vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1}$$



çarpışmadan önce

▲ Şekil 5 a. Çarpışmadan önce bilardo topları



çarpıştıktan sonra

▲ Şekil 5 6. Bilardo topları çarpışıyor

Newton'un üçüncü yasasını, $\vec{v}_1$ ve $\vec{v}_2$ hızlarında hareket eden ve izole bir sistemi temsil eden iki bilardo topunun çarpışmasına uygulayacağız (Şekil 5a).

Her iki topun momentumu $\vec{p}_1$ ve $\vec{p}_2$'dir.

Çarpışma sırasında, ilk topun ikinci topa çarptığı kuvvet, ikinci topun birinci topa çarptığı kuvvete eşit büyüklükte ve zıt yönde olacak şekilde etkileşime girerler. Çarpışma sırasında, iki topun hızları değişecektir ve bunları $\vec{v}_1'$ ve $\vec{v}_2'$ (Şekil 5 b).

Topların kütleleri sabit kalır ve hızları değişir. Cismin hızındaki bir değişiklik aynı zamanda momentumda da bir değişiklik anlamına gelir, yani sırasıyla $\vec{p}_1'$ ve $\vec{p}_2'$ momentumu kazanırlar.

Newton'un ikinci yasasına göre, ilk topun ikinci topa küçük bir zaman aralığı Δt'de etki ettiği kuvvet, ikinci topun hızında, yani momentumunda bir değişikliğe neden olur ve şöyle yazılabilir.

$$\vec{F}_{1,2} = \frac{\vec{p}_2' - \vec{p}_2}{\Delta t}$$

Yazarın topa ilk uyguladığı ve hızını veya momentumunu değiştiren kuvvet için de aynı şey geçerlidir. Bu durum şu şekilde yazılabilir:

$$\vec{F}_{2,1} = \frac{\vec{p}_1' - \vec{p}_1}{\Delta t}$$

Newton'un üçüncü yasası $\vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1}$ 'e göre bu iki kuvvet büyüklük olarak eşit ancak yön olarak zıttır, yani

$$\frac{\vec{p}_2' - \vec{p}_2}{\Delta t} = -\frac{\vec{p}_1' - \vec{p}_1}{\Delta t} \quad \text{veya} \quad \vec{p}_2' - \vec{p}_2 = -(\vec{p}_1' - \vec{p}_1)$$

Bundan şu sonuç çıkar ki

$$\vec{p}_1' + \vec{p}_2' = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$$

Son formül, izole bir sistemdeki cisimlerin toplam momentumunun korunumu yasasını verir:

Cisimlerin birbirleriyle etkileşime girmeden önceki momentumlarının toplamı, etkileşime girdikten sonraki momentumlarının toplamına eşittir .

Veya etkileşimden sonra bir cismin momentumu artarsa, aynı durumdaki diğer cismin momentumu da aynı miktarda azalmalıdır.

Başlangıçta verilen iki örneği şimdi açıklayabilir misiniz?

Çözülmüş örnek 2:

Mermi kütlesi $m = 100\text{kg}$ hızla uçuyor $v = 200\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$.Merminin fırlatıldığı an iki parçaya ayrılır. Bir gün, kütlesi $m_1 = 60$ kg olan bir cisim hareket etmeye devam eder. Parçalanmadan önceki mermiyle aynı yönde, ancak daha hızlı. Merminin ikinci $v_1 = 320\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$. bölümündeki hareketin yoğunluğunu ve yönünü belirleyin.

İpucu: Bir vektör denkleminde eşittir işaretinin, büyüklük ve yönün yanı sıra denklemin sol ve sağ taraflarındaki bileşke vektörlerin de eşit olması gerektiğini gösterdiğini unutmayın.

Verilen: $m = 100$ kg $\quad v = 200\,\frac{\text{m}}{\text{s}} \quad m_1 = 60$ kg $\quad v_1 = 400\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

İstenilen: $\vec{v_2} = ?$

Çözüm:

Momentumun korunumu yasasının vektör denklemi şu şekilde yazılır:

$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$, $m\vec{v} = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$

Problemin durumuna göre $\vec{p}$ ve $\vec{p}_1$ vektörlerinin doğrultusu ve yönü aynı olduğu düşünüldüğünde, sol ve sağ taraftaki yönlerin eşitliğini sağlamak için, $\vec{p}_2$, vektörünün, yani $\vec{v}_2$ hızının da en azından aynı yöne sahip olduğu sonucuna varılabilir; dolayısıyla şu yazılır:

$mv = m_1v_1 + m_2v_2$, buradan v_2 hızı için aşağıdakini elde ederiz

$$v_2 = \frac{mv - m_1v_1}{m_2} = \frac{mv - m_1v_1}{m - m_1} = \frac{100\,\text{kg} \cdot 200\frac{\text{m}}{\text{s}} - 60\,\text{kg} \cdot 400\frac{\text{m}}{\text{s}}}{100\,\text{kg} - 60\,\text{kg}} = -100\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Eksi işareti, ikinci parçanın hızının, merminin ve birinci parçanın hızına zıt yönde olduğunu göstermektedir.

Daha Fazla Bilgi İçin:

- Fizikte çarpışma terimi, cisimlerin çok kısa süreli etkileşimlerini ifade eder ve bu etkileşimlerde cisimlere etki eden dış kuvvetler ihmal edilir. Çarpışmalar, cisimlerin etkileşimden sonra ayrıldığı ideal elastik çarpışmalar olabileceği gibi, cisimlerin birleşerek tek bir cisim gibi hareket ettiği ideal elastik olmayan çarpışmalar da olabilir. Bu çarpışmalara ek olarak, momentumun korunumu yasası her zaman geçerlidir.

Sorular ve Görevler:

1. Bir cismin kütlesi diğerinin kütlesinin üç katıdır. İmpulsları aynı kalırsa, cisimlerin hızlarının oranı ne olmalıdır?
2. Kapıyı daha az kuvvetle uzun süre bastığınızda, kapıyı hızlı bir şekilde vurduğunuzdan neden daha kolay açabilirsiniz?
3. Birisi tekneden kıyıya atladığında, tekne neden kıyıdan uzaklaşır?
4. Üç cisim izole bir sistem oluşturur. Üç cisim için momentumun korunumu yasasını nasıl tanımlarsınız?
5. Bir cismin hızı beş katına çıktığında, momentumu $200\,\text{kg}\frac{\text{m}}{\text{s}}$ artmıştır. Cismin hızındaki artıştan önceki ve sonraki momentumunu hesaplayın.
6. Bir av tüfeğinin kütlesi $m_1 = 6{,}4$ kg. Tüfek ateşlendiği anda, $v_2 = 900\frac{\text{m}}{\text{s}}$ hızla bir mermi fırlatılmaktadır. Tüfeğin hızının büyüklüğünü ve yönünü belirleyin. Merminin kütlesi $m_2 = 8$ g.

Özet:

- Cisimlerin hareketlerinin nedenlerini açıklayan fizik alanına dinamik denir.
- Kuvvet, cisimler arasındaki etkileşimi tanımlar .
- Cisimler arasındaki etkileşim temassız (iki cismin karşılıklı temas yoluyla etkileşime girmesi) ve temassız (cisimler arasındaki etkileşimin fiziksel bir alan yoluyla olması) olabilir.
- Alt eylem kuvveti:
  - vücut şekil ve hacim değiştirebilir,
  - vücut, düzeltmenin büyüklüğü ve yönüne bağlı olarak hareket hızını değiştirebilir.
  - vücut dönmeye başlayabilir.
- Doğada farklı doğalara sahip birçok kuvvet türü vardır.
- Yer çekimine neden olan kuvvetler, Dünya'nın yer çekimi ve ağırlığıdır.
- Silisyum elektromanyetik yapıya sahiptir: elastik kuvvetler ve direnç kuvvetleri.
- Elastik kuvvetler şunlardır: Yüzeye karşı oluşan normal tepki kuvveti, bir ipe etki eden çekme kuvveti ve deforme olmuş bir yaydaki elastik kuvvet.
- Sürtünme kuvveti ve hava direnç kuvveti, çevreye karşı oluşan direnç kuvvetini temsil eder.
- Kuvvet diyagramı, üzerine etki eden tüm kuvvetlerin gösterildiği bir cismi temsil eder.
- Bir cisim üzerine birden fazla kuvvet etki ediyorsa, cisim üzerine etki eden kuvvetlerin vektörel toplamını gösteren kuvvete bileşke kuvvet denir.
- Klasik dinamikte Newton'un üç yasası geçerlidir.
- Newton'un birinci yasası şöyle der: Her cisim, başka bir cisim tarafından etki edilmediği sürece hareketsiz kalır veya düz bir çizgide düzgün hareket halinde kalır.
- Newton'un ikinci yasası şöyledir: (F) etkisi altında, kütlesi (m) olan bir cisim bir ivme (a) veya $\vec{F} = m\vec{a}$.
- Newton'un üçüncü yasası şöyledir: Bir cismin başka bir cisim üzerine etki ettiği kuvvet, ikinci cismin birinci cisme etki ettiği kuvvete eşit büyüklüktedir, yani $\vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1}$.
- Newton'un yasaları yalnızca eylemsiz referans sistemlerinde geçerlidir.
- Eylemsiz referans sistemi, kuvvet etkisi altında olmayan cisimlerin hareketsiz olduğu veya düz bir çizgide düzgün hareket ettiği bir sistemdir.
- Kütle, bir cismin eylemsizliğinin bir ölçüsüdür, daha doğrusu bir cismin kütlesi, cismin hızındaki değişime ne kadar direnç gösterdiğini söyler.
- Kuvvetin birimi Newton'dur. 1 kg kütleli bir cisme 1 N'luk bir kuvvet uygulandığında, cisme 1 m/s² ivmesi verilir.
- Bir cismin momentumu, cismin kütlesi ile hızının çarpımıdır, yani $\vec{p} = m\vec{v}$.
- Momentumunun değişim hızı, cisme etki eden kuvvete eşittir.
- İzole bir sistemde, cisimlerin etkileşime girmeden önceki momentumlarının toplamı, etkileşimden sonraki momentumlarının toplamına eşittir, yani

  $\vec{p}_1' + \vec{p}_2' = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$.
- İzole sistem, çevredeki diğer cisimlerle etkileşime girmeyen cisimlerden oluşan bir sistemdir.

2.8 Dairesel Hareket



▲ Şekil 1. Panoramik tekerlek

Her eğri, yarıçapı R olan bir dairenin bir parçasını temsil eder. Uyduların Dünya etrafındaki hareketi daireseldir. Bir dönme dolaba bindiğinizde (Şekil 1), bir daire içinde hareket edersiniz.

Düzgün Dairesel Hareket, Doğrusal Hız, Periyot Ve Frekans

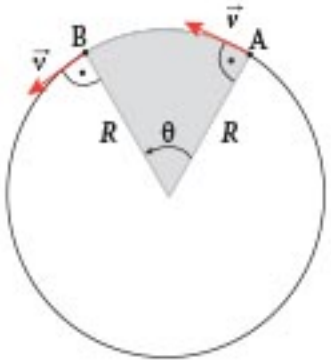
Bu derste dairesel hareketi tanımlayan fiziksel büyüklükler ve yasalarla tanışacaksınız.

Gondolunun bir daire etrafında dönme hızı , tekerleğin yarıçapını ve gondolun bir tam daireyi tamamlaması için gereken süreyi (dönme periyodu veya kısaca periyot (T) olarak adlandırılır) biliyorsak hesaplanabilir. Dairenin yarıçapını bildiğimizde, gondolun hareket ettiği dairenin çevresini de ($2R\pi$) biliyoruz. Gondolun hızı, bir dönüş için kat edilen mesafe ve bu dönüş için gereken süreden, yani

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

Gondolun dairesel hareket ettiği bu hıza gondolun doğrusal hızı denir.

Eğrisel hareketin en basit türü düzgün dairesel harekettir.



▲ Şekil 2. Çemberin her noktasındaki hız vektörü yön ve yön değiştiriyor.

Düzgün dairesel hareket, bir cismin bir çember üzerinde çizgisel hızının büyüklüğü sabit olacak şekilde hareket etmesidir.

Bildiğimiz üzere, hız vektörel bir niceliktir; yani büyüklüğünün yanı sıra bir yönü de vardır. Gondolun herhangi bir andaki hız vektörü, dönme dolabın teğeti boyunca yönlendirilmiştir. Bu, hız vektörünün yönünün ve büyüklüğünün sürekli değiştiği anlamına gelir (Şekil 2).

Bu hareketin en önemli özelliklerinden biri, tekerleğin bir tam tur atıp başlangıç konumuna dönmesi için geçen süredir. Bu süreye periyot denir.

Bir çember üzerinde hareket eden bir cismin periyodu (T), bir tam dönüş yapması için geçen zamandır.

Periyodun birimi saniyedir (s).

Örneğin, tekerlek 2 dakika boyunca hareket ederse ve bu süre içerisinde bir tam tur atarsa, periyodu 2 dakikadır.

Bazı hareketlerin periyodu çok daha kısadır, bu nedenle süreyi birkaç tam devir üzerinden ölçmek daha iyidir. Dolayısıyla, dairesel hareketin toplam süresi (t) ve bu süre zarfında dairenin devir sayısı (N) biliniyorsa periyot hesaplanabilir, yani:

$$T = \frac{t}{N}$$

Eğer tekerleğin 12 dakikada 8 tur attığını ölçtüysek, periyodunun 1,5 dakika olduğunu hesaplayabiliriz.

Dairesel harekette birim zamanda kaç devir yapıldığını bilmek önemlidir, bu nedenle yeni bir fiziksel büyüklük olan frekansı tanımlıyoruz.

Birim zamanda kaç dönüş yapıldığını gösteren fiziksel niceliğe frekans (f) denir.

Frekans aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır:

$$f = \frac{N}{t}$$

Periyot ile frekans arasında bir ilişki olduğu görülebilir. Devir sayısı $N = 1$ ise, hareketin süresi periyoda eşit olur. Bu şu şekilde yazılabilir:

$$f = \frac{1}{T}$$

Frekansın birimi saniye eksi bir (s^{-1}) veya hertz›dir (Hz). Bir cismin 1 saniye içinde bir daire etrafında bir tur atması durumunda frekans bir hertz›dir (Hz).

Çözülmüş örnek 1:

Bir saatin yelkovanının uzunluğu 1 cm ise, ucundaki doğrusal hız nedir?

Verilen:

Örnek metninde bir saatin yelkovanının periyodu verilmemiş olsa da, yelkovanın bir tam tur atmasının 1 saat sürdüğünü biliyoruz. Dolayısıyla periyodun bilindiğini varsayıyoruz.

$l = 1\ \text{cm} = 10^{-2}\ \text{m}; \quad T = 60\ \text{min} = 3600\ \text{s}$

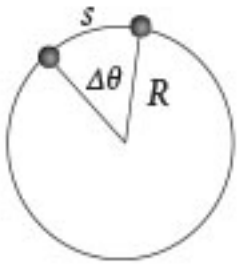
İstenilen:

$v = ?$

Çözüm: $v = \frac{2R\pi}{T} = \frac{2l\pi}{T} = 0{,}17 \cdot 10^{-4}\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$



▲ Şekil 3. Gondol dönme dolabı



▲ Şekil 4. Kat edilen mesafe ve tanımlanan açı $\Delta\theta$.

Açısal Dönüş Ve Açısal Hız

Dairesel bir yörüngede hareket eden gondol (Şekil 3), belirli bir sürede belirli bir mesafe (s) kat edecektir . Bu süre zarfında, hareket eden gondolun bağlı olduğu tekerleğin yarıçapı , **dönüş açısı** adı verilen belirli bir açı $\Delta\theta$, çizecektir (Şekil 4). Kat edilen mesafe (s), dairesel bir yayın uzunluğu olarak hesaplanır.

$$s = \Delta\theta \cdot R$$

Dönme açısının birimi radyandır (rad). 360 °'lik bir açı (tam bir daire), 2π rad'lık bir açıya karşılık gelir. Dolayısıyla,

$$1 \text{ rad} = \frac{360^\circ}{2\pi} \approx 57^\circ \text{ и } 1^\circ = \frac{2\pi}{360^\circ} = 0{,}017 \text{ rad}$$

Birim zamanda dönme açısındaki değişimi tanımlayan niceliğe açısal hız denir.

Açısal hız (ω), bir cismin birim zamanda ne kadar dönüş açısı tanımladığını gösteren fiziksel bir niceliktir.

aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır

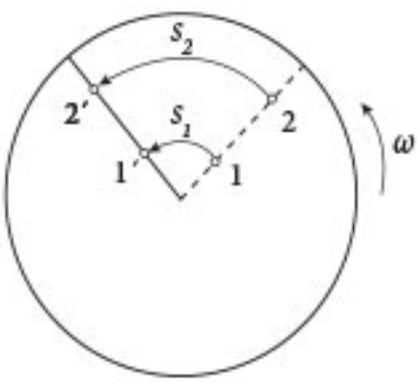
$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

Burada $\Delta\theta$ verilen Δt zaman aralığında cismin dönüş açısıdır .

Açısal hızın birimi radyan/saniyedir (rad/s). Bir cismin 1 saniye içinde 1 rad dönmesi durumunda açısal hız 1 rad/s olur.

Bir daire içinde hareket eden bir cisim bir tam dönüş yaptığında , cismin bir periyotta 2π radyanlık bir dönüş yaptığını söyleyebiliriz ve açısal hız şu şekilde verilir:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$



▲ Şekil 5. Dönen bir disk . Disk üzerinde iki farklı anda 1 ve 2 noktaları işaretlenmiştir . Belirli bir zaman aralığında, 1 ve 2 noktaları sırasıyla 1' ve 2' konumlarına ulaşmaktadır.

Doğrusal hız denklemi şu şekildeyse $\frac{2\pi}{T}$ hadi değiştirelim açısal hızla birlikte açısal hız da yazılabilir

$$v = \omega R$$

Bu denklem, aynı açısal hız için, merkezden farklı uzaklıklarda bulunan cisimlerin farklı doğrusal hızlara sahip olacağını gösterir. Örneğin, dönen bir diski ele alırsak (Şekil 5), diskin merkezine (nokta 1) yakın noktalar, kenarına (nokta 2) yakın olanlarla aynı açısal hıza sahiptir. Ancak, aynı açısal dönüşe maruz kalmalarına rağmen, tanımladıkları doğrusal yay, kenara yakın noktalar için daha büyüktür ($s_2 > s_1$), bu nedenle daha yüksek bir doğrusal hıza sahiptirler.

Çözülmüş örnek 2:

Saatin saniye, dakika ve akrep kollarının açısal hızlarını belirleyiniz.

Verilen:

Yine metinde saniye, dakika ve ay akrep ve yelkovanın periyotları verilmemiş olsa da bilindiği kabul edilmektedir.

$T_s = 60\ \text{s}$

$T_{min} = 60\ \text{min} = 3600\ \text{s}$

$T_h = 12\ \text{h} = 43200\ \text{s}$

İstenilen:

$\omega_s = ?$

$\omega_{min} = ?$

$\omega_h = ?$

Bir saatin tüm kollarının açısal hızı şu formülle hesaplanabilir:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

elde edilen değer:

$$\omega_s = \frac{2\pi}{T_s} = 0{,}105\,\frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\omega_{min} = \frac{2\pi}{T_{min}} = 0{,}174 \cdot 10^{-2}\,\frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\omega_h = \frac{2\pi}{T_h} = 0{,}145 \cdot 10^{-3}\,\frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Merkezcil İvme

Peki gondol neden dairesel hareket ediyor?

Bunu cevabını basit bir gösteri ile bulacağız.

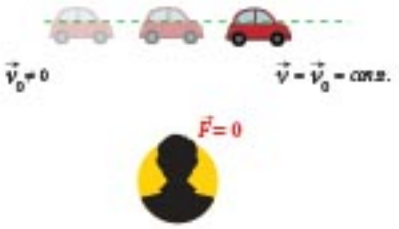
Önümüzde duran küçük bir arabayı iple çekersek, araba bize doğru düz bir çizgide yaklaşacaktır (Şekil 6).

Diğer yandan, araba düz bir çizgide v hızıyla hareket ediyorsa ve ona iple herhangi bir kuvvet uygulamzsak, araba düz bir çizgide hareket etmeye devam edecektir (Şekil 7).

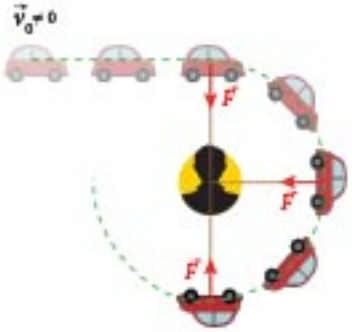
Fakat araba v hızıyla hareket ediyorsa ve biz ona sabit bir kuvvet uygulayarak onu kendimize doğru çekiyorsak, araba sabit bir hızla dairesel bir çizgide hareket etmeye başlayacaktır (Şekil 8).



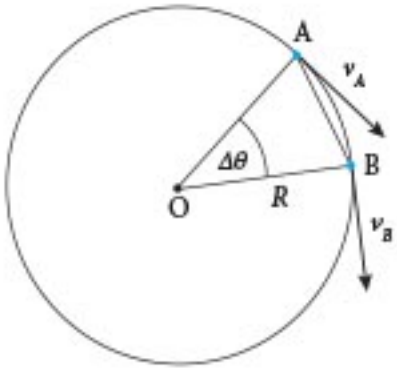
▲ Şekil 6. Bir adam hareketsiz duran küçük bir arabayı hareket ettirmek için bir ip kullanıyor.

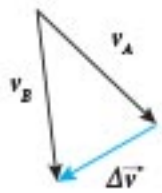


▲ Şekil 7. Kuvvet uygulamadığımızda araba düz bir çizgide hareket etmeye devam eder.



▲ Şekil 8. Araba daire şeklinde hareket ediyor.





▲ Şekil 9. $\Delta\vec{v}$ Hız vektörünün yönündeki bir değişim sonucu

v hızıyla hareket eden bir cismin hareket yönünü değiştirmek için ona bir kuvvet uygulamamız gerekir. Cisme sabit ve daha büyük bir kuvvet uygularsak, cisim hareket yönünü sürekli olarak değiştirecek, yani bir daire içinde hareket etmeye başlayacaktır. Newton›un ikinci yasası $\vec{F} = m\vec{a}$, bir kuvvetin etkisi altında cismin ivme kazandığını biliyoruz. Şimdi bu ivmenin neye eşit olduğuna bir bakalım.

Daire içinde hareket ederken, hız vektörünün yönü sürekli değişir. Araba sabit bir hızla hareket etse de, hız vektörünün doğrultusu ve yönü değiştiği için ivme kazanır (Şekil 9). Bu değişim her zaman dairenin merkezine doğru yönelmiş olur.

Hız vektörünün doğrultusu ve yönündeki değişim sonucu oluşan ivmeye merkezcil ivme denir.

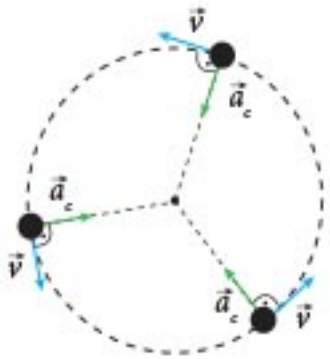
Aynısı şu formülde de verilmiştir:

$$\vec{a}_c = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

Merkezcil ivmenin büyüklüğü aşağıdaki formülü kullanarak hesaplanır:

$$a_c = \frac{v^2}{R},$$

burada v, R yarıçaplı bir daire içinde hareket eden bir cismin doğrusal hızıdır. Yönü, hızdaki değişimin yönüne eşittir, yani her zaman dairenin merkezine doğrudur (Şekil 10). Bu nedenle merkezcil ivme olarak da adlandırılır.



▲ Şekil 10. Bir çemberin herhangi bir noktasındaki merkezcil ivme, çemberin merkezine doğru yönelmiştir.

Doğrusal hız yerine, doğrusal ve açısal hız arasındaki ilişkiyi veren denklem yazılırsa: $v = \omega R$, merkezcil ivmenin formülü elde edilir

$$a_c = \omega^2 R$$

Arabayı döndürdüğümüz ipin bir noktada kopması durumunda arabaya ne olacağını ve nasıl hareket edeceğini sorabilir misiniz? Kuvvetin etkisinin sona ermesi nedeniyle, ipin koptuğu anda araba, o noktada sahip olduğu hız vektörü yönünde hareket etmeye devam edecektir (Şekil 11).

Şimdi gondolun neden dairesel hareket ettiğini açıklayabilir misiniz?



▲ Şekil 11. İplik koptuktan sonra araba o noktadaki hız vektörü doğrultusunda hareketine devam eder.

Çözülmüş örnek 3.

İki arkadaş bir eğlence parkında aynı atlıkarıncaya binmektedir. Birinin bindiği atlıkarınca, atlıkarıncanın dönme ekseninden $r_1 = 2$ m diğerinin bindiği atlıkarınca ise $r_2 = 5$ m uzaklıktadır. İki atlıkarıncanın doğrusal hızları ile merkezcil ivmelerinin oranını hesaplayınız.

Verilen:

$r_1 = 2\text{m} \quad r_2 = 5\text{m} \quad \omega_1 = \omega_2 = \omega$

İstenilen:

$\frac{v_1}{v_2} = ? \qquad \frac{a_{c1}}{a_{c2}} = ?$

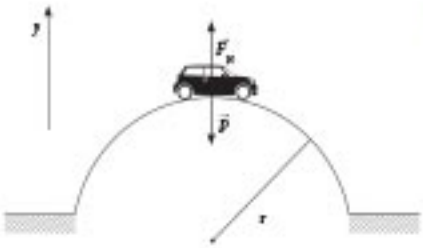
Çözüm:

Doğrusal ve açısal hızın bağımlılığını veren ifadeyi kullanarak aşağıdaki gibi yazılır:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\omega r_1}{\omega r_2} = \frac{r_1}{r_2} = \frac{2m}{5m} = \frac{2}{5}$$

Merkezcil ivmenin açısal hıza bağımlılığını veren ifadeyi kullanarak devamında olduğu gibi yazalım:

$$\frac{a_{c1}}{a_{c2}} = \frac{\omega^2 r_1}{\omega^2 r_2} = \frac{r_1}{r_2} = \frac{2m}{5m} = \frac{2}{5}$$



▲ Şekil 12. Yarım daire biçimli bir köprü üzerinde hareket eden bir arabaya etki eden kuvvetlerin diyagramı.

Çözülmüş örnek 4:

$m = 1020$ kg, olan bir araç , yarıçapı $r = 20$ m olan yarım daire şeklindeki bir köprüden $v = 36 \dfrac{\text{km}}{\text{h}}$ sabit hızla hareket etmekdir.

Arabanın, köprünün en yüksek noktasına ulaştığı anda yüzeyin normal tepki kuvvetini hesaplayın.

Verilen:

$m = 1020$ kg

$r = 20$ m

$g = 9{,}81 \dfrac{\text{m}}{\text{s}^2}$

$v = 36 \dfrac{\text{km}}{\text{h}} = 10 \dfrac{\text{m}}{\text{s}}$

İstenilen:

$F_N = ?$

Çözüm:

Newton'un İkinci Yasası'nın denklemi, arabanın köprünün en yüksek noktasında olduğu durum için yazılmıştır.

$\vec{F}_N + \vec{P} = m\vec{a}_c$

Bir referans eksenine göre projeksiyon yaparak elde ettiğimiz sonuç

y: $F_N - P = -ma_c$ $\quad F_N - P = -ma_c$

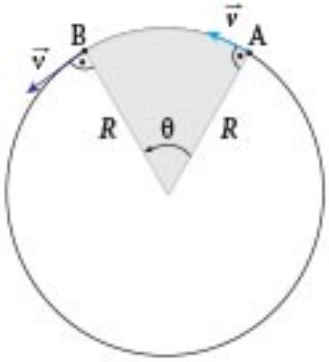
Verilen denklemi göz önüne alırsa $a_c = \dfrac{v^2}{r}$ sonucunu elde ederiz.

$F_N - mg = -m\dfrac{v^2}{r}$

F_R denkleminin çözümü aşağıdaki sonucu verir:

$F_N = mg - m\dfrac{v^2}{r} = m\left(g - \dfrac{v^2}{r}\right)$

$$F_N = 1020\,\text{kg} \cdot \left(9{,}81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} - \frac{\left(10 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{20\,\text{m}}\right) = 4906{,}2\,\text{N}$$



▲ Şekil 13. Hız vektörü büyüklük, doğrultu ve yön olarak değişir

Teğetsel İvme ve Açısal İvme

Panoramik dönme dolap hareket etmeye başladığında, gondolun çizgisel hızı değişir (Şekil 13).

Hareketin doğrusal hızı değişirse, cisim teğetsel ivmeye sahip olur. Teğetsel ivmenin yoğunluğu aşağıdaki formülle hesaplanır:

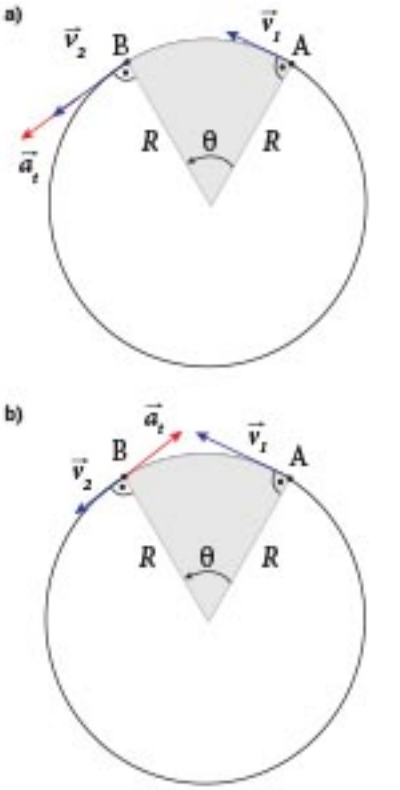
$$a_t = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

burada Δv verilen Δt zaman aralığında cismin çizgisel hızındaki değişimdir.

Teğetsel ivme vektörünün yönü, hız vektörünün yönüyle aynıdır (cismin hızı arttığında) (Şekil 14 a) ve hız vektörünün yönünün zıt (cismin hızı azaldığında) (Şekil 14 b) olabilir.

Dairesel bir yörüngede hareket eden bir cismin doğrusal hızının yoğunluğu değiştiğinde, yani cismin teğetsel ivmesi olduğunda, cisim eşit zaman aralıklarında farklı açılar çizer. Bu da bize cismin açısal hızının da değiştiğini, yani cismin açısal ivme kazandığını gösterir.

Açısal ivme, zaman biriminde açısal hızın ne kadar değiştiğini gösteren fiziksel bir niceliktir.



▲ Şekil 14. Teğetsel ivme vektörünün yönü: a) cismin hızı arttığında, b) cismin hızı azaldığında

Açısal ivme α ile gösterilir ve aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$\alpha = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$$

Bir cismin açısal hızı 1sn sürede $(\frac{\text{rad}}{\text{s}^2})$ değiştiğinde açısal ivme $1\frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$ olur.

Dairesel hareketteki açısal ivme, doğrusal hareketteki ivmeye benzer.

Teğetsel ivme ile açısal ivme arasındaki ilişki şu şekilde verilir:

$$a_t = R\alpha$$

Burada R, cismin hareket ettiği çemberin yarıçapıdır .

Çözülmüş örnek 5:

50 kg kütleli bir çocuk, yarıçapı 10m ve dönüş süresi 100 saniye olan bir dönme dolaba binmektedir. Gondolda bulunan çocuğa aşağıda verilere göre etki eden normal tepki kuvvetini belirleyiniz:

a) tekerleğin en düşük noktası

b) tekerleğin en yüksek noktası
c) Dönme dolabın hareketine devam edebileceği hıza ulaşması için tam bir tur atması gerektiğini bilerek, açısal ve teğetsel ivmeyi bulunuz.

Çözüm:

Verilen: $m = 50$ kg $T = 100$ s $R = 10$ m
İstenilen:
a) $F_{N1} = ?$
b) $F_{N2} = 2?$
c) $a_t = ?$
$\alpha = ?$



▲ Şekil 15. Yolcuları olan dönme dolabın ve yolculara tekerleğin en alt ve en üst noktalarında etki eden kuvvetler.

Çözüm:
Çocuk, Dünya'nın yerçekimi ve zeminin normal tepki kuvvetinin etkisi altında kalır ve bunun sonucu olarak çocuk merkezcil ivme kazanır. Newton'un ikinci yasası vektör biçiminde şöyle ifade edilir:

$$\vec{F}_N + \vec{P} = m\vec{a}_c$$

a) Tekerleğin en alt noktasında, Dünya'nın yerçekimi ve normal tepki kuvvetleri çocuğa etki etmekte, çocuğun bu kuvvetlerin etkisi altında yaşadığı merkezcil ivme, tekerleğin merkezine doğru, yani dikey olarak yukarıya doğru yönelmektedir (Şekil 15).
Newton'un ikinci yasası birinci durum hakkında şu şekilde ifade edilir::

$$F_N - P = ma_c$$

Substratın gelişmiş normal reaksiyonu nereden geliyor?

$$F_N = ma_c + P = m\frac{v^2}{R} + mg = m(\frac{v^2}{R} + g)$$

burada $v = \frac{2R\pi}{T} = 0,628\,\text{m/s}$
Ve yerdeki tepki kuvveti için şunu elde ederiz $F_N = 492,5\,\text{N}$.

b) En yüksek noktada aynı kuvvetler çocuğa etki eder, ancak bu sefer çocuğun deneyimlediği merkezcil ivme dikey olarak aşağıya doğru yönlendirilmiştir (Şekil 15).
Bu durum için Newton'un ikinci yasası şu şekilde ifade edilir:

$$P - F_N = ma_c$$

Buradan zemine etki eden normal tepki kuvveti elde ederiz:

$$F_N = P - ma_c = mg - m\frac{v^2}{R} = m(g - \frac{v^2}{R})$$

Zemin üzerindeki normal tepki kuvvetinin elde edildiği yer $F_N = 488,5\,\text{N}$

c) Elimizdeki verilere göre $\omega_0 = 0$
ve dönme dolabın hareketine devam edebileceği hıza ulaşması için tam bir tur atması gerektiğini bildiğimize göre şunu yazabiliriz:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 0,0628 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Buradan açısal ivme için aşağıdakini elde ederiz:

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega - \omega_0}{T} = \frac{\omega}{T} = 0,00628 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

Teğetsel ivme için şunu elde ettiğimiz sonuç:

$$a_t = R\alpha = 0,0628 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Daha Fazla Bilgi İçin

„Hareketsiz olduğumuzda" hangi hızla hareket ederiz?

Hissetmesek de, Dünya'da hareketsiz olduğumuzda bile uzaya doğru muazzam bir hızla hareket ediyoruz (Şekil 16). Bunun sebebi çeşitli dairesel hareket seviyelerinin oluşması:

- Dünya Güneş'in etrafında döner.
- Güneş, Samanyolu'nun merkezi etrafında döner.
- Samanyolu'nun tamamı Evren'de hareket halindedir (burada sadece ilk ikisine odaklanacağız).



▲ Şekil 16. Güneş Sistemi'nin galaksinin merkezi etrafındaki hareketi.

Gezegenlerin Güneş etrafındaki hareketi

Dünya, Güneş'in etrafında ortalama ≈ 29 800 m/s (~107 000 km/h) doğrusal hızla döner. Aşağıdaki Tablo 1, diğer gezegenlere ait verileri göstermektedir:

Gezegen	Güneşe Uzaklık (10^6 km)	Süre (gün)	Açısal hız (rad/s)	Hat hızı (m/s)	Merkezcil ivme (m/s^2)
Merkür	57,9	88	$8,26 \cdot 10^{-7}$	47 848	$3,95 \cdot 10^{-2}$
Venüs	108,2	224,7	$3,24 \cdot 10^{-7}$	35 018	$1,13 \cdot 10^{-2}$
Dünya	149,6	365.25	$1,99 \cdot 10^{-7}$	**29 786**	$5,93 \cdot 10^{-3}$
Mars	228	687	$1,06 \cdot 10^{-7}$	24 135	$2,55 \cdot 10^{-3}$
Jüpiter	778,3	4331	$1,68 \cdot 10^{-8}$	13 068	$2,19 \cdot 10^{-3}$
Satürn	1432	10747	$6,77 \cdot 10^{-9}$	9 690	$6,56 \cdot 10^{-3}$
Uranüs	2867	30589	$2,38 \cdot 10^{-9}$	6 816	$1,62 \cdot 10^{-3}$
Neptün	4515	59800	$1,22 \cdot 10^{-9}$	5 490	$6,68 \cdot 10^{-3}$

Tablo 1. Güneş Sistemi'ndeki gezegenler hakkında bazı temel veriler. Kaynak: NASA

Güneş'in galaksideki hareketi

Güneşimiz ve dolayısıyla biz, Samanyolu'nun merkezi etrafında 233 000 m/s (~792 000 km/h) hızla döneriz. Bu, Dünya'nın Güneş etrafındaki dönüş hızından 7 kat daha hızlıdır!

Tablo 2, galaksinin merkezinden farklı uzaklıklardaki yıldızlara ait verileri göstermektedir:

Nesne	Mesafe (kpc)	Mesafe (10^{16} km)	Açısal hız (rad/s)	Hat hızı (m/s)	Merkezcil ivme (m/s^2)
Merkezi yıldız	0,1	0,31	$3,54 \cdot 10^{-14}$	110 000	$3,90 \cdot 10^{-4}$
Güneş	8	24,7	$9,46 \cdot 10^{-16}$	**233 000**	$2,20 \cdot 10^{-7}$
Yıldız oluşturan galaksi	15	46,3	$4,75 \cdot 10^{-16}$	220 000	$1,05 \cdot 10^{-7}$

Güneş'in, galaksinin yakınındaki yıldızlardan daha hızlı bir doğrusal hızla hareket ettiğini fark etmiş olabilirsiniz. Aslında, galaksideki yıldızların doğrusal hızı, galaksinin merkezinden yaklaşık 8 kpc'ye kadar artar ve sonrasında yaklaşık bir şekilde sabit kalır. Bu, sarmal galaksilerin bir özelliğidir ve karanlık maddenin varlığına işaret eder.

Ne kadar hızlı hareket ediyoruz?

Sadece iki ana hızı toplarsak:

- Dünya'nın Güneş etrafındaki hızı: ~29 800 m/s
- Güneş'in galaksinin merkezi etrafındaki hızı: ~233 000 m/s

Dünya'nın evrendeki toplam hızı: ~260 000 m/s

„Durduğumuz" halde bile saatte 900 bin km hız yapıyoruz!

Sorular ve Görevler:

1. Bir cisim ne zaman 1Hz frekansına sahip olur ?
2. Periyot nedir hangi ölçü birimiyle ifade edilir?
3. Bir cismin merkezcil ivmesi hangi fiziksel büyüklüklere bağlıdır?
4. Saat kolunun ucunun hareketi bir daire içinde düzgün hareket olarak kabul edilebilir mi? Açıklayınız.
5. Bir arabanın yarım daire şeklindeki bir yolda hangi kuvvet sayesinde hareket ettiğini açıklayınız. Yolda buz varsa ne olur? Açıklayınız.
6. Ferrari arabası viraja girerken sürekli hızını değiştiriyor. Virajın hangi kısmında sürtünme kuvvetinin en büyük olacağını düşünüyorsunuz. (Açıklamanızda hız ve eğrilik yarıçapı niceliklerini kullanınız.)
7. Ünlü Big Beng saatinin yelkovanı uzunluğu $l = 4,3\,\mathrm{m}$'dir. Yelkovanın ucundaki doğrusal hızı hesaplayınız. Yelkovanın açısal hızı nedir?
8. Jüpiter'in uydusu Jo'nun dönüş periyodu $T = 2$ gün ve $1,8\,\mathrm{h}$. Uydunun yarıçapı $r = 421\,700\,\mathrm{km}$ olan düzgün dairesel hareket yapmaktadır. Uydunun doğrusal ve açısal hızını hesaplayınız.
9. Kütlesi $m = 1,2\,\mathrm{t}$ olan bir araç yarım daire şekilnde bir viraja girmekte ve $v = 8\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ sabit hızıyla hareket etmektedir. Virajın yarıçapı $r = 20\,\mathrm{cm}$ cm'dir. Asfalt ile lastikler arasındaki sürtünme kuvvetini ve sürtünme katsayısını hesaplayınız.
10. Kütlesi $m = 2\,\mathrm{t}$ olan bir kamyon, eğrilik yarıçapı $R = 120\,\mathrm{m}$ olan içbükey bir köprü boyunca $v = 35\,\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$ hızla hareket etmektedir. Kamyon köprü tabliyesini geçerken köprüye ne kadar kuvvet uygular?



▲ Big Beng saati



▲ Ay

2.9 Yerçekimi

Elma, ağaçtan koparılmak üzereyken dikey olarak aşağı doğru düşmeye başlar, bu nedenle hızı artar, yani elma ivmeyle hareket eder. Newton'un ikinci yasasına göre, bir cisim ivme yönünde bir kuvvetin etkisi altında olmadığında ivmeyle hareket eder. Bu kuvvet, daha önce öğrendiğimiz gibi, Dünya'nın yerçekimidir.

Aynı şey, Dünya'nın etrafında dairesel bir yörüngede hareket eden Ay için de geçerlidir. Ay, onu dairesel bir yörüngede hareket etmeye zorlayan ve düz bir çizgide hareket etmesine

Isaac Newton, her iki hareketin de kuvvet tarafından belirlendiğini biliyordu. Dünya'yı çeken kuvvetler ile Ay'ı yörüngede „tutan" kuvvetleri, aynı kuvvet -**kütleçekimi** veya **kütleçekimi kuvveti**- olduklarını varsayarak birbirine bağladı

Çekici kütleçekimi kuvvetinin formülünü icad etti.

Newton'un evrensel kütleçekim yasası, bir cismin diğerini çektiği kütleçekim kuvvetinin, iki cismin kütlelerinin çarpımıyla doğru orantılı ve aralarındaki uzaklığın karesine ters orantılı olduğunu belirtir.

Formül olarak şöyle yazılır:

$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Burada m_1 ve m_2 birbirini çeken iki cismin kütleleri, r aralarındaki mesafe ve γ kütleçekim sabiti. Kütleçekim sabiti değeri:

$$\gamma = 6,667 \cdot 10^{-11}\ \mathrm{Nm^2/kg^2}$$

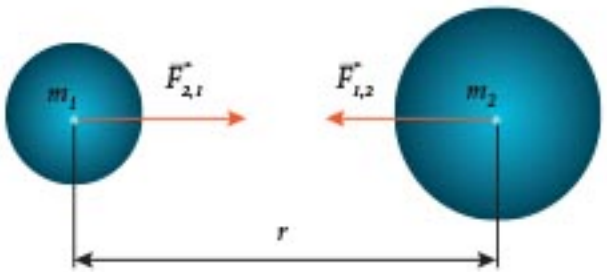
Isaac Newton'un ölümünden yaklaşık yetmiş yıl sonra Henry Cavendish tarafından deneysel olarak belirlendi .

m_1 ve m_2 kütleli iki cismin etkileşime girdiği (birbirini çektiği) kuvvetler, Newton'un üçüncü yasasına göre $\vec{F}_{1,2}$ ve $\vec{F}_{2,1}$,eşittir.

Kütleçekimi kuvvetinin yönü her zaman birbirine çekilen iki cismin merkezlerini birleştiren eksendir (Şekil 1).

Kütleçekimi sabitinin küçük değeri nedeniyle, bu kütleçekimi kuvvetinin m_1 ve m_2 olmak üzere iki küçük kütle arasında r uzaklığında gözlemlenmesi çok zordur, ancak yine de mevcuttur.

Bu nedenle çevremizde gördüğümüz nesnelerin birbirlerini çekmediği görülmektedir.



▲ Şekil 1. m_1 ve m_2 kütlelerine sahip iki cismin kütleçekimsel etkileşimi

Çözülmüş örnek 1:

1 kg'lık bir kutunun 1 m aralıklarla yerleştirildiğinde uyguladığı kütleçekim kuvveti nedir?

Çözüm:

Verilen:

$m_1 = m_2 = 1\ \text{kg}$

$r = 1\ \text{m}$

$\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11}\ \dfrac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$

İstenilen:

$\vec{F}_{2,1} = \vec{F}_{1,2} = F$

Kuvveti elde etmek için Newton'un evrensel kütleçekim yasasına doğrudan yerine koyma yaparız

$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$F = 6,67 \cdot 10^{-11}\ \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2} \cdot \frac{1\text{kg} \cdot 1\text{kg}}{1\text{m}^2} = 6,67 \cdot 10^{-11}\text{N}$$

Beklendiği gibi, bu son derece küçük bir kuvvettir. Bu kuvvet, örneğin bir sivrisinek kanadına denk gelen 7 nanogram (10-12 kg) kütleli bir cismin ağırlığına denk gelir.

Çözülmüş örnek 2:

Dünya ile Ay arasındaki kütleçekim kuvveti (Şekil 2) $F_{ay} = 2 \cdot 10^{20}\ \text{N}$'dir. Dünya ve Ay'ın kütleleri $m_d = 6 \cdot 10^{24}\ \text{kg}$, $m_a = 7,3 \cdot 10^{22}\ \text{kg}$'dir. Birbirlerinden uzaklıklarını hesaplayınız.



▲ Şekil 2. Dünya ve doğal uydusu Ay

Verilen:

$F_{zm} = 2 \cdot 10^{20}\ \text{N}$; $m_z = 6 \cdot 10^{24}\ \text{kg}$; $m_m = 7{,}3 \cdot 10^{22}\ \text{kg}$; $\gamma = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\ \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$

İstenilen:

$r_{zm} = ?$

Çözüm:

Newton'un kütleçekimi yasasına göre Dünya ile Ay arasındaki çekim kuvveti şu şekilde yazılır:

çözüldükten $F_{zm} = \gamma \frac{m_z \cdot m_m}{r_{zm}^2}$, kazanırız.

r_{zm} için çözüm yapıldığında $r_{zm}^2 = \gamma \frac{m_z \cdot m_m}{F_{zm}}$, elde edilir, yani

$$r_{zm} = \sqrt{\gamma \frac{m_z \cdot m_m}{F_{zm}}} = \sqrt{6{,}67 \cdot 10^{-11}\ \frac{6 \cdot 10^{24}\ \text{kg} \cdot 7{,}3 \cdot 10^{22}\ \text{kg}}{2 \cdot 10^{20}\ \text{N}}} = 3{,}8 \cdot 10^{8}\ \text{m}$$

Yerçekimi İvmesi

Dünya'nın çevresindeki bir cisimle etkileşime girdiği kuvveti ele alalım.

Kuvvet Türleri dersinde, Dünya'nın yerçekimi kuvvetinin, Dünya'nın çevresindeki cisimleri çektiği kuvvet olduğunu ve şu formülle hesaplandığını söylemiştik:

$$P = mg$$

öyle ki m cismin kütlesi, g ise yerçekimi ivmesidir.

Dünya ile yüzeyine yakın bir cisim, Newton'un kütle çekim yasasıyla ifade edilen bir çekim kuvvetiyle birbirini çekecektir $F = \gamma \frac{mM}{R^2}$

Burda m cisminin Dünya'ya yakın kütlesi, M Dünya'nın kütlesi ve R Dünya'nın merkezi ile cisim arasındaki uzaklıktır ki bu durumda bu uzaklığın Dünya'nın yarıçapına eşit olduğu kabul edilebilir.

Bu durumda yer çekimi kuvveti Dünya'nın ağırlığıdır, yani şu şekilde yazılabilir:

$$mg = \gamma \frac{mM}{R^2}$$

Buradan yerçekimi ivmesi için şunu elde ederiz

$$g = \gamma \frac{M}{R^2}$$

Dünya'nın kütlesi $M = 5{,}28 \cdot 10^{24}$kg ise Dünya'nın yarıçapı $R = 6{,}37 \cdot 10^6\,\mathrm{m}$, Dünya'nın yerçekimi ivmesi için $g = 9{,}81 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$ ederiz

Yerçekimi ivmesi, Dünya yüzeyi yakınında yalnızca Dünya'nın kütleçekiminin etkisi altında hareket eden tüm cisimlerin kazandığı ivmedir. Bu ivme sabittir ve değeri 9,81 m/s².

Formüle göre şu sonuç çıkar:

1. Yerçekimi ivmesi düşen cismin kütlesine bağlı değildir.
2. Dünya'nın yakınında yerçekimi ivmesi sabit değildir ve formüle göre cismin Dünya yüzeyine göre yüksekliği h arttıkça azalır.

$$g = \gamma \frac{M}{(R+h)^2}$$

3. Yerçekimi ivmesi, onu oluşturan gezegenin kütlesine ve yarıçapına bağlıdır ve bu nedenle her gezegen için bu ivmenin farklı bir değeri vardır.

Çözülmüş örnek 3:

Bir cismin yer çekimi ivmesinin 1, 2 kat azalması için, Dünya yüzeyinden h uzaklığı kaç cm olmalıdır? Dünya'nın yarıçapı $R = 6400$ km ve Dünya'nın kütlesi $m_z = 6 \cdot 10^{24}$ kg.

Verilen:

$\frac{g_0}{g} = 1{,}2$

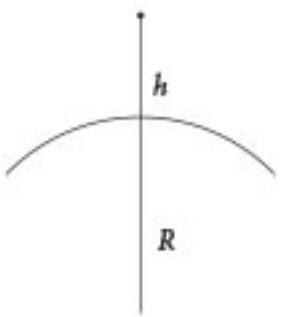
$m_z = 6 \cdot 10^{24}$ kg

$R = 6400$ km $= 64 \cdot 10^5$m

$\gamma = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{\mathrm{Nm}^2}{\mathrm{kg}^2}$

İstenilen:

$h = ?$



Şekil 4. Vücut yüksekliği h Dünya oranına göre

Çözüm:
Newton'un yerçekimi kanunu ve Dünya'nın yerçekimi kuvvetinin aslında Dünya ile söz konusu cisim arasındaki yerçekimi kuvveti olduğu göz önüne alınarak, $P = F_g$ ve $P_h = F_{gh}$, durumlarına ait denklemler yazılır, yani

$$mg_h = \gamma \frac{m_z m}{(R_z + h)^2}$$

$$mg = \gamma \frac{m_z m}{R_z^2}$$

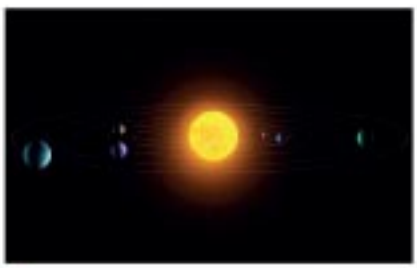
Son iki denklemin bölünmesi şunu verir $\frac{mg}{mg_h} = \frac{\gamma \frac{m_z m}{(R_z + h)^2}}{\gamma \frac{m_z m}{R_z^2}}$, $\frac{g}{g_h} = \frac{R_z^2}{(R_z + h)^2}$,

$$\frac{1}{1,2} = \frac{R_z^2}{(R_z + h)^2}$$

Kareleri ortadan kaldırmak için denklemin her iki tarafının karekökünü

$\sqrt{\frac{1}{1,2}} = \sqrt{\frac{R_z^2}{(R_z + h)^2}}$ $\sqrt{\frac{1}{1,2}} = \frac{R_z}{R_z + h}$, buradan çapraz çarpma ile aşağıdakini yazabiliriz $R_z + h = \sqrt{1,2} R_z$; $h = \sqrt{1,2} R_z - R_z$

$$h = R_z \left(\sqrt{1,2} - 1\right) = 0,095 R_z = 6,08 \cdot 10^5 \text{ m}$$



▲ Şekil 5. Gezegenlerin Güneş etrafındaki hareketi

Güneş Sistemdeki Gezegenlerin Hareketi

I) Gezegenlerin hareket hızı

Güneş ile Dünya arasında ortaya çıkan **kütle çekim kuvveti** şu formülle verilir:

$$F = \gamma \frac{M_s M_z}{r^2}$$

öyle ki M_s ve M_z sırasıyla Güneş ve Dünya'nın kütlelerini, r ise merkezleri arasındaki mesafeyi ifade eder. Bu kütleçekim kuvvetinin etkisi altında Dünya, yarı eliptik bir yörüngede hareket eder; matematik bilgimizin seviyesi nedeniyle bunu dairesel bir yörünge olarak kabul edeceğiz (Şekil 5). Kütleçekim kuvvetinin etkisi altında Dünya, şu formülle hesaplanan bir merkezcil ivme kazanır:

$$a_c = \frac{v}{r}$$

Öte yandan Newton'un ikinci yasasına göre bu ivmeyi sağlayan kuvvet şu formülle gösterilebilir:

$$F = M_g a_c \text{ veya } F = M_g \frac{v^2}{r}$$

Bu iki denklem, aynı kuvveti ifade ettikleri için eşitlenirse şu şekilde yazılabilir:

$$\gamma \frac{M_s M_g}{r^2} = M_g \frac{v^2}{r}$$

Dolayısıyla, Dünya'nın Güneş etrafındaki hareket hızı için şu bağıntı elde edilir:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma M_s}{r}}$$

Gezegenlerin hareket hızı aynı ilkeye göre tüm diğer gezegenler için de belirlenebilir.

Formülden şu sonuç çıkar: Bir gezegenin hareket hızı, uzaklığın karekökü ile ters orantılıdır; başka bir deyişle, Güneş Sistemi'nde gezegen ne kadar uzakta bulunuyorsa, o kadar daha düşük hızla hareket eder.

II) Hareket dönemi

Merkezcil ivmeyi aşağıdaki formülle ifade edersek:

$$a_c = \omega^2 R$$

Açısal hız için, açısal hız ile Dünya'nın Güneş etrafındaki dönüş periyodu arasındaki ilişkiyi veren formülü kullanırız:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

aşağıdaki bağıntı kazanılır :

$$\gamma \frac{M_s M_g}{r^2} = M_g (\frac{2\pi}{T})^2 r$$

Buradan, Dünya'nın Güneş etrafındaki periyodik dönüşü için şu şekilde ifade ederiz:

$$T = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{\gamma M_s}}$$

Diğer tüm gezegenler için Güneş etrafındaki periyodik dönüş aynı şekilde belirlenebilir - prensiplerden ve formülden, gezegenin periyodik dönüşünün uzaklığın küpünün karekköküne doğru orantılı bağlı olarak olduğu sonucuna varılabilir veya gezegen Güneş Sisteminde daha uzakta bulunuyorsa daha küçük bir dönüş periyoduna sahip olacağı söylenebilir.

Kütleçekim Alanı Ve Kütleçekim Alan Şiddeti

Kuvvetleri ve karşılıklı etkileşimlerini öğrenirken, cisimler arasındaki etkileşimin temaslı ve temassız olabileceğini söylemiştik. Cisimler arasındaki kütleçekimsel etkileşim ise temassız

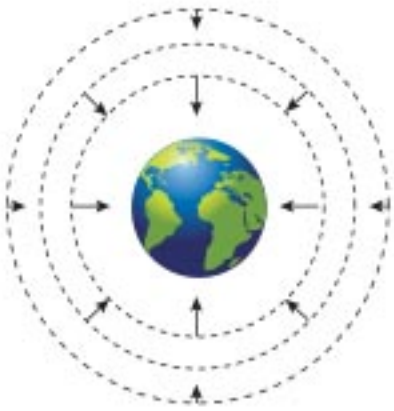
(uzaktan) bir etkileşimdir, yani m_1 ve m_2 kütleli iki cismin, birbirlerinden belirli bir uzaklıkta bulunmalarına ve temas halinde olmamalarına rağmen etkileşime girmesidir. Newton'dan beri fizikçiler ve filozoflar, kütleli bir cismin alarında doğrudan bir temas olmaksızın, belirli bir uzaklıkta bulunan başka bir cismin varlığını nasıl algılayabildiğini açıklamaya çalıştılar. 19. yüzyılda bu etkileşimi açıklamak için alan kavramı geliştirilmiştir. Bu fikre göre, kütlesi olan her cisim, etrafındaki uzayda bir kütleçekim alanı oluşturur ve bu alan aracılığıyla diğer cisimle etkileşim gerçekleşir.

Aynı sebepten dolayı, belirli bir mesafeye yerleştirilmiş iki yüklü cisim birbirleriyle etkileşime girer, ancak yüklü cisimlerin etrafında oluşan bu alana elektrik alanı denir. Cisimlerin etkileşime girdiği elektrik kuvvetlerinin hem çekici hem de itici olabileceğini biliyoruz.

Bu bize etrafımızdaki Uzayın boş olmadığını, büyüklüklerine ek olarak kendi yönleri de olan kütle çekim, elektromanyetik ve diğer alanlarla dolu olduğunu söyler.

Modern fizikte fiziksel alanlar, cisimlerin birbirleriyle etkileşime girdiği bir madde varoluş biçimini temsil eder. Yerçekimi alanını (büyüklüğünü ve yönünü) belirlemek için, **fiziksel büyüklük olan yerçekimi alanı şiddeti kavramı kullanılır** .

Bir noktadaki kütle çekim alanının ($\vec{G}$) şiddeti, o noktaya yerleştirilen m kütleli bir cismin üzerine etki eden kuvvete eşittir.



▲ Şekil 6. Yerçekimi alanı şiddeti vektörünün yönü ve büyüklüğü

Formül olarak şu şekilde yazılır:

$$\vec{G} = \frac{\vec{F}}{m}$$

Kütleçekim alanının şiddeti vektörel bir büyüklüktür ve yönü ile doğrultusu kütleçekim kuvvetiyle aynıdır. Eğer kütleçekim alanı şiddeti için olan denkleme, Dünya'nın kütlesi m olan bir cismi çektiği kütleçekim kuvvetinin denklemi yerleştirilirse, şu ifade elde edilir:

$$G = \gamma \frac{M_{\oplus}}{r^2}$$

Dünya'nın kütle çekim alanının şiddeti, Dünya'nın kütlesine (genel durumda, alanı oluşturan cismin kütlesine) doğrudan, Dünya'nın merkezinden cisme olan uzaklığın karesine ise ters orantılıdır (Şekil 6).

Yerçekimi alanının şiddeti formülünü, Dünya'nın yerçekimi alanındaki yerçekimi ivmesi formülüyle karşılaştırırsak, bu iki fiziksel niceliğin aynı değere sahip olduğunu, ancak aynı fiziksel büyüklük olmadıklarını görürüz. Yerçekimi alanının şiddeti alanla, yerçekimi ivmesi ise cismin alana düşmesiyle (cismin alanda aldığı ivmeyle) ilişkilidir.

Yerçekimi alan şiddetinin birimi 1 N/kg'dır.

Daha Fazla Bilmek İstersen:

- İskenderiyeli Hypatia

İskenderiyeli Hypatia (yaklaşık 370–415 yılları arasında), tarihteki ilk kadın bilim insanlarından biridir. İskenderiye Müzesi ve Kütüphanesi'nde çalışmış, burada matematik, fizik ve astronomi dersleri vermiştir. Gökyüzü cisimlerinin hareketleriyle ilgilenmiş ve Güneş ile yıldızların konumlarını ölçmeye yarayan antik bir alet olan astrolabın yapımını geliştirmiştir.

Onun döneminde hâlâ Dünya'nın evrenin merkezinde olduğunu savunan jeosantrik model kabul görmekteydi. Buna rağmen Hypatia, öğrencilerinin gezegenlerin ve yıldızların dairesel yörüngelerdeki hareketlerini anlamalarına yardımcı olmuş, bu hareketleri açıklamak için geometri ve fizikten yararlanmıştır.

Bu çalışmalarıyla, daha sonra Kepler ve Newton'un geliştireceği kütleçekimin etkisi altındaki hareket biliminin temellerine katkıda bulunmuştur.

- Kepler yasaları

17. yüzyılın başlarında Alman gökbilimci Johannes Kepler, gezegenlerin mükemmel daireler boyunca değil, elipsler boyunca hareket ettiğini ve Güneş'in elipsin odak noktalarından birinde bulunduğunu keşfetti. Kepler, gökbilimci Tycho Brahe'nin gözlemlerini kullanarak gezegenlerin hareketini inceledi ve bugün hâlâ yörünge mekaniğinin temeli kabul edilen üç ünlü Kepler yasasını formüle etmeyi başard:

- Birinci Kepler Yasası (Eliptik Yörünge Yasası): Gezegenler eliptik yörüngelerde hareket eder, Güneş elipsin odak noktalarından birinde bulunur.
- İkinci Kepler Yasası (Eşit Alanlar Yasası): Gezegen, yörüngesi boyunca eşit zaman aralıklarında eşit alanlar tarar. Yani, Güneş'e yaklaştığında daha hızlı, uzaklaştığında ise daha yavaş hareket eder.
- Üçüncü Kepler Yasası (Dönem–Uzaklık Yasası): Bir gezegenin yörünge periyodunun karesi, Güneş'ten olan ortalama uzaklığının küpüyle orantılıdır.

Bu bağıntı, Newton'un yasalarını uygulayarak ulaştığımız aynı sonuçtur! Aslında Newton, Kepler'in bu sonuçlarını genelleyerek evrensel kütleçekim yasasının genel formuna ulaşmıştır. Kepler gezegenlerin hareketini tanımlamış, fakat bu olguyu açıklayan kişi Newton olmuştur.

- Einstein ve genel görelilik

Newton'un kütleçekimi teorisi gezegenlerin hareketlerini mükemmel bir şekilde açıklasa da, hassas ölçümlerle özellikle Merkür'ün yörüngesinde küçük sapmalar ortaya çıkmaya başladı.

Albert Einstein, 1915 yılında Newton'un yerçekimi anlayışının yerini alan genel görelilik kuramını yayınladı. Einstein'a göre yerçekimi bir kuvvet değil, kütle ve enerjinin neden olduğu uzay ve zamanın eğrilmesidir. Gezegenler, bu eğrilmiş geometride "en doğrudan yol" boyunca (jeodezik) hareket eder; tıpkı içbükey bir yüzey üzerinde yuvarlanan bir top gibi.

Bu kuram, bilinen tüm kütleçekim olgularını doğru biçimde açıklar ve kara deliklerin, kütleçekim dalgalarının ve evrenin genişlemesinin anlaşılmasında temel oluşturur; ancak çözümlere ulaşmak için gerekli matematiksel aygıt oldukça karmaşıktır. Bu nedenle çoğu pratik uygulamada Newton'un kütleçekim yasası hâlâ kullanılır ve yeterince doğru sonuçlar verir.

- Kütleçekim ölçümleri için kuantum sensörleri

  NASA, kütleçekimini ölçmek üzere ilk kuantum sensörünü geliştiriyor. Earth Science Technology Office (ESTO) tarafından desteklenen bu gelişmiş aygıt, küçük kütleçekim farklarını yüksek doğrulukla haritalamayı sağlayacak. Bilim insanları bunun petrol rezervlerinin, yeraltı sularının ve diğer kaynakların tespitine yardımcı olacağını düşünüyor.

- Dünya'da mikrogravitenin simülasyonu

  NASA'nın Ohio'daki bir laboratuvarı, yaklaşık 5,18 saniye süreyle mikrogravitasyon koşullarında deneyler yapılmasına olanak tanıyor. Vakuum odasında cisimlerin serbest düşüşe bırakılmasıyla, kütleçekimin yanma, sıvıların hareketi ve biyolojik tepkiler gibi süreçleri nasıl etkilediği araştırılıyor.

Sorular ve Görevler:

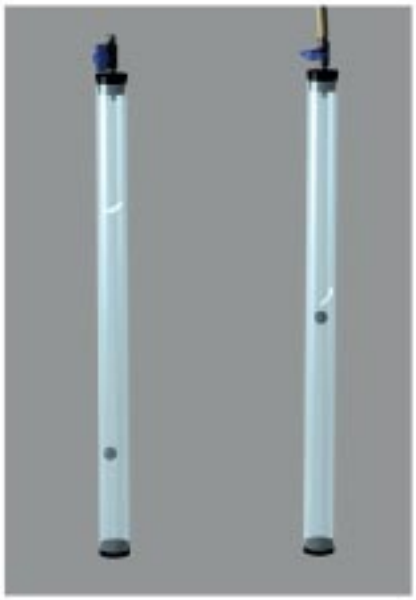
1. Venüs ve Dünya gezegenleri ile Güneş arasındaki kütle çekim kuvvetlerini karşılaştırın. Bunu hangi parametrelere göre ve nasıl belirleyebilirsiniz?
2. Dünya ve Ay'ın yerçekimi ivmeleri aynı mıdır? Bir karşılaştırma yapın.
3. Güneş ile Neptün gezegeni arasındaki çekim kuvveti $F_{sn} = 6,75 \cdot 10^{22}\ \mathrm{N}$. Aralarındaki ortalama uzaklığın $r_{sn} = 1277,42 \cdot 10^{6}\ \mathrm{km}$ olduğunu bildiğimize göre, Neptün'ün kütlesini hesaplayınız.
4. Dünya yüzeyinden ölçülen uzaklık kaç km'dir? Yerçekimi ivmesi $g = 2\,\frac{m}{s^2}$ midir ?Dünya'nın yarıçapı $R = 6400\ \mathrm{km}$ midir ve kütlesi $m_z = 6 \cdot 10^{24}\ \mathrm{kg}$ 'dır..
5. Jüpiter'in ünlü uydusu Europa'nın kütlesi $m_e = 4,8 \cdot 10^{22}\ \mathrm{kg}$. Bir cismi $h = 1000\ \mathrm{km}$ yüksekliğe kaldıracak yerçekimi ivmesi yüzeyin üstünde, $g_e = 2\,\frac{m}{s^2}$. Avrupa uydusunun yarıçapını hesaplayınız.
6. Hubble Teleskobu'nun yörünge periyodu $T_z = 96\ \mathrm{min}$ 'dır. Dünya yüzeyinden $h = 555\ \mathrm{km}$ yükseklikte yörüngededir . Teleskobun ortalama doğrusal ve ortalama açısal hızını ($R = 6400\ \mathrm{km}$) hesaplayınız.
7. $T = 120\ \mathrm{min}$ olan bir uydunun Dünya yüzeyinden ölçülen yüksekliğini hesaplayınız . Dünya'nın yarıçapı $R = 6400\ \mathrm{km}$ 'dir. Dünya'nın kütlesi için $m_z = 6 \cdot 10^{24}\ \mathrm{kg}$.

8. Güneş ve Jüpiter'in aynı cismin yüzeyine yerleştirildiğinde etki edecekleri kütle çekim kuvvetlerinin oranını hesaplayın. Kütle ve yarıçap değerleri $m_j = 1898,6 \cdot 10^{24}\,\text{kg}$, $R_j = 70 \cdot 10^3\,\text{km}$, $m_s = 2 \cdot 10^{30}\,\text{kg}$, $R_s = 7 \cdot 10^5\,\text{km}$ olarak verilmiştir.

Özet:

- Düzgün dairesel hareket, bir cismin sabit büyüklükteki bir hızla dairesel bir yörüngede hareket etmesidir.
- Dönem (T), bir çember üzerinde hareket eden cismin tam bir turu tamamlaması için gereken süredir.
- Frekans (f), birim zamandaki gerçekleşen devir sayısıdır $f = \frac{N}{t}$.
- Yarıçapı R olan bir daire üzerinde düzgün bir şekilde hareket eden bir cismin doğrusal hızı $v = \frac{2R\pi}{T}$.
- Açısal hız (ω), bir cismin birim zamanda ne kadar dönüş açısı tanımladığını belirten fiziksel bir niceliktir yani $\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$.
- Yarıçapı $(\frac{\text{rad}}{\text{s}^2})$ olan bir daire içinde düzgün bir hızla hareket eden bir cismin doğrusal hızı.
- Doğrusal ve açısal hız arasındaki ilişki $v = \omega R$ formülüyle verilir.
- Hız vektörünün yönünde ve yönünde meydana gelen bir değişiklik sonucu oluşan ivmeye merkezcil ivme denir ve şu formülle hesaplanır: $a_c = \frac{v^2}{R}$ veya $a_c = \omega^2 R$.
- Açısal ivmenin birimi radyan/saniye karedir $\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$ olduğunu belirten fiziksel bir niceliktir.
- Açısal ivmenin birimi radyan/saniye karedir $(\frac{\text{rad}}{\text{s}^2})$.
- Teğetsel ivme ile açısal ivme arasındaki ilişki şu formülle verilir: $a_t = R\alpha$.
- Newton'un yerçekimi kanunu, bir cismin diğerini çektiği yerçekimi kuvvetinin, iki cismin kütlelerinin çarpımıyla doğru orantılı, aralarındaki mesafenin karesiyle ters orantılı olduğunu belirtir: $F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$
- Yerçekimi ivmesi şu formülle hesaplanır: $g = \gamma \frac{M}{R^2}$.
- Dünya yakınlarında yerçekimi ivmesi sabit değildir ve cismin Dünya yüzeyine göre bulunduğu h yüksekliği arttıkça $g = \gamma \frac{M}{(R+h)^2}$ formülüyle azalır.
- Bir noktadaki yerçekimi alanının ($\vec{G}$) şiddeti, alanın o noktaya yerleştirilmiş m kütleli bir cisme etki edeceği kuvvete eşittir.
- Yerçekimi alanı şiddetinin birimi 1 N/kg'dır.

2.10 Bir cismin Dünya'nın Yerçekimi Alanındaki Hareketi ve Durumu



▲ Şekil 1. İçine metal bir top ve bir tüy bırakılan camdan bir tüp.

Dünya'nın, cisimleri çektiği çekim kuvveti her zaman kütle merkezine doğru yönelir. Çekim kuvvetinin yönü, büyüklüğü ve yoğunluğu, fırlatılan cismin ilk hızı ve Dünya'nın çekim alanında cisme etki eden ek kuvvetler, cismin hareketi sırasında çizdiği yörüngeyi şekillendirir.

Sadece Dünya'nın çekim kuvvetinin etkisi altında kalan cisimlerin hareketlerini tanımlamak ve açıklamak en basit olanıdır.

Şekil 1'deki örneği bir inceliyelim.

Sol tüpte günlük hayattan bildiğimiz durumu görürüz: tüy, hava direnci daha büyük olduğu için daha küçük bir ivmeyle düşer. Sağ tüpte ise vakum var. Yerçekimi kuvveti dışında başka bir kuvvet olmadığı için tüy ve top aynı anda düşecektir. Her iki cismin ivmesi eşit ve aynı değerdedir. Bunun, Dünya'nın yerçekimi kuvvetinin cisimlere verdiği ivme olduğu ve bunun da Dünya'nın yerçekimi ivmesi olduğu açıktır. Bu deneye Galileo'nun deneyi denir, çünkü Galileo'nun Pisa Kulesi'nin tepesinden farklı kütlelere sahip iki cismi düşürerek her iki cismin de aynı ivmeyle düştüğünü gösterdiği varsayılır.



▲ Şekil 2. Yerçekimi alanındaki hareket örnekleri

Gelecek derslerde inceleyeceğimiz hareketler, tamamen kütle çekimi etkisinden kaynaklanmaktadır ve Dünya'nın yarıçapına kıyasla küçük mesafelerde, yani yüzeyine yakın yerlerde gerçekleşmektedir.

Bir sirkte olduğunuzu hayal edin. Rengarenk ışıklar, heyecan verici müzikler ve inanılmaz numaralar sergileyen akrobatlar. Sirke gelen ziyaretçilerin arasında Sarah ve Darius var.

Gördükleri her şey karşısında hayrete düşerler. Ancak eğlencenin yanı sıra ilginç bir şey daha fark ederler: cisimlerin hareket ettiği farklı yollar (Şekil 2). Jonglör topu dikey olarak yukarı atar ve top sonra serbestçe dikey olarak aşağı düşer. Okçu oku parabolik bir yol çizen yatay bir yöne atar. Topun içinden fırlatılan palyaço eğik bir atış yapar. Asansörde hareket eden kız ağırlığında, gözle görülür değişiklikler hisseder. Küçük palyaçonun balonu ise havasını brakarken, çıkan havanın yönününe zıt yöne hareket eder. Tüm bu hareketlerin kökeni aynıdır: Dünya'nın yerçekimi alanı. Şu hareketleri inceleyelim ve açıklayalım.

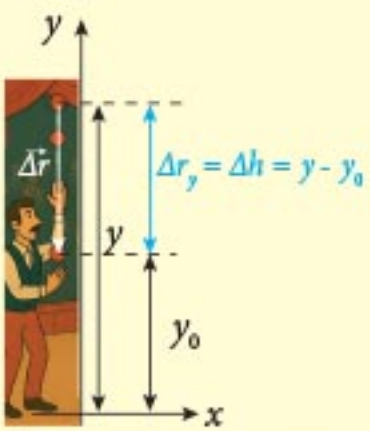
Serbest Düşüş

Akrobatik gösterilerden birinde (Şekil 2), jonglör iki topu havada tutarak dikey olarak yukarı fırlatır. Toplar bir anda durur ve serbestçe dikey olarak aşağı doğru hareket etmeye başlar. Bu hareketin nedeni, Dünya'nın çevresindeki tüm cisimleri kendine çeken yerçekimi kuvvetidir.

Dünya'nın kütleçekim alanında serbest bırakılan cisimler, Dünya'nın kütleçekimi ivmesine eşit bir ivmeyle ($\vec{a} = \vec{g}$). düzgün ivmeli doğrusal hareket yaparlar. Bu harekete serbest düşme denir.

Bunu daha iyi anlamak için serbest düşüşü örnek 1 üzerinden inceleyelim.

Örnek 1:



▲ **Şekil 3.** Jöngler, bu resimde Δh yüksekliğinden serbestçe düşen bir topun hareketini görüyoruz.

Top bir noktada durur ve dikey olarak aşağı doğru hareket etmeye, yani serbestçe düşmeye devam eder. Daris, topun durduğu andan jonglörün eline dönene kadar kat ettiği yolun yaklaşık $\Delta h = 1$ m. olduğunu fark eder. Topun, $a = g = 9{,}81\frac{m}{s^2}$. yerçekimi ivmesine eşit bir ivmeyle düştüğünü var sayarsak, Daris, topun jonglörün eline dönüş hızını hesaplamak ister ve bunu şu şekilde yapar:

Başlangıç koşulları, yani verilen fiziksel büyüklükler için bilinen değerler yazılır.

$v_o = 0$

$\Delta h = 1\text{m}$

$a = g = 9{,}81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

$v = ?$

Hız ve yer değiştirme için vektör denklemleri yazılır.

$\vec{v} = \vec{v_0} + \vec{g}\,t$

$\Delta\vec{r} = \vec{v_o}\,t + \frac{\vec{g}\,t^2}{2}$

Serbest düşme dikey bir harekettir. Bu nedenle, düzlemsel koordinat sisteminde dikey y eksenini seçerek vektörel büyüklüklerin y eksenine göre uygun izdüşümlerini bulur ve yazarız.

Yer değiştirme vektörü y eksenine göre zıt yöndedir; bu yüzden onun izdüşümü eksi işaretlidir.

$y : v_y = v_{oy} + g_y\,t$

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

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

v ve Δh denklemlerinde , başlangıç koşulu $v_o = 0$, girilir ve zaman t, Δh denklemi ile ifade edilir.

$y : v = v_o + g\,t$

$v = g\,t$

$\Delta h = v_0\,t + \frac{g\,t^2}{2}$

$\Delta h = \frac{g\,t^2}{2}$

$v = 4{,}42 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

$v = g\sqrt{\frac{2\Delta h}{g}}$

$t^2 = \frac{2\Delta h}{g}$ $t = \sqrt{\frac{2\Delta h}{g}}$

Büyük Bir Yükseklikten Düşüş

Büyük yüksekliklerden bir cismin düşüşü söz konusu olduğunda, ortam direnci yine de ihmal edilemez. Atmosfer içerisinde yüksek bir irtifadan bir cismin düşüşünü inceleyelim (Şekil 4).

Düşme sırasında cisme iki kuvvet etki eder: Dünya'nın, aşağıya doğru yönelen, çekim kuvveti $\vec{P}$, ve havanın direnç kuvveti.

$\vec{F}_{at}$, yukarı doğru yönlendirilmiş (Şekil 4). Newton'un ikinci yasasına göre denklemi yazıyoruz

$$\vec{P} + \vec{F}_{at} = m\vec{a}$$

Vektörel denklemden skaler denkleme geçmek için, denklemin keyfi olarak seçilen y ekseni yönündeki izdüşümünü alacağız

$$y: P - F_{at} = ma$$

Yerçekimi kuvveti $P = mg$ ve hava direnci kuvveti $F_{at} = cv^2$ ifadelerini yerini değiştirerek şu ifadeyi elde ederiz:

$$mg - cv^2 = ma$$

Düşüşün başlangıcında cismin hızı az olduğundan direnç ihmal edilebilir düzeydedir, hareket yaklaşık olarak serbest düşüştür. Ancak hız arttıkça hava direnci de artar. Bir noktada hava direnci kuvveti, Dünya'nın yer çekimine eşit olacaktır. Bu, cisme etki eden kuvvetlerin toplamının sıfıra eşit olduğu anlamına gelir.

$$mg - cv^2 = 0$$

Newton'un Birinci Yasası'na göre, bir cisme etki eden kuvvetlerin toplamı sıfırsa, cisim ya hareketsiz kalır ya da sabit bir hızla düz bir çizgide hareket etmeye devam eder. Dünya'nın yerçekimi kuvvetleri ile hava direnci kuvvetleri eşit olduğunda, cismin hızı artmayı bırakır. Bu , aslında cismin ulaşabileceği **maksimum hızdır.**

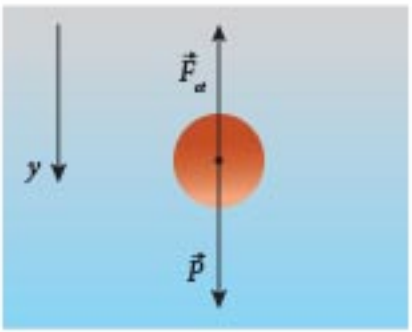
Önceki denklemi pekiştirdiğimizde hız için şunu elde ederiz:

$$cv^2 = mg$$

$$v^2 = \frac{mg}{c}$$

$$v = \sqrt{\frac{mg}{c}}$$

Denklem, maksimum hızın cismin kütlesinin ve yerçekimi ivmesinin karekköküne doğru orantılı, sürtünme katsayısının karekköküne ise ters orantılı olarak bağlı olduğunu gösterir. Bu, daha büyük bir hava direnci kuvvetine maruz kalan cisimlerin daha düşük bir maksimum hıza sahip olduğu anlamına gelir. Aslında, maksimum hız denklemi bize aynı yükseklikten bırakılan cisimlerin neden farklı hızlara ulaştığı ve bu nedenle aynı sürede düşmediği sorusunun cevabını verir. Dolayısıyla, günlük hayatta da şahit olduğumuz gibi aynı yükseklikten bırakılan bir cismin



▲ Şekil 4. Atmosferin içinden büyük bir yükseklikten düşen bir cismin üzerindeki kuvvetlerin diyagramı



▲ Şekil 5. Paraşütçü, paraşütünü açmadan önce büyük bir hızla düşer, ancak ivmesi sıfırdır.

diğerinden daha hızlı düşmesi, hava direncinin etkisinin bir sonucudur. Şimdiye kadar yazılanlardan çıkarılacak sonuç, daha büyük kütleli ve daha iyi aerodinamiğe (daha düşük sürtünme katsayısına) sahip bir cismin aynı zamanda daha yüksek bir maksimum hıza sahip olduğu gerçeğidir.

Çok yüksekten düşen bir cismin tipik bir örneği paraşütçülerin düşüşüdür (Şekil 5).

Dünya'nın çekim alanındaki cisimlerin hareketini fiziksel teoriyle açıklayabilecek doğada sayısız örnek mevcuttur.

- Yağmur damlaları, yerçekiminin etkisiyle dikey olarak aşağıya doğru düşer. Hava direnci kuvveti, Dünya'nın yerçekimi kuvvetine eşit olana kadar hızlanır.
- Yapraklar yer çekiminin etkisiyle aşağı doğru hareket eder, ancak şekillerin gereği ve havanın direnç kuvveti de yapraklara etki eder ve yapraklar havada dans ediyormuş gibi görünür.
- Volkanik patlamalar sırasında, külün küçük parçacıkları atmosfere fırlatılır ve daha sonra serbestçe Dünya'ya düşer .
- Bir meteor Dünya atmosferine girdiğinde yer çekiminin etkisiyle düşmeye başlar ve ışıklı bir iz bırakır.

Etkinlik (Deney): Dünya'nın yerçekimi ivmesi g değerinin hesaplanması

Hedef deney:

Dijital teknolojiyi kullanarak Dünya'nın yerçekimi ivmesinin değerini hesaplamak.

Gerekli araçlar:

Bir cep telefonu, iki top (biri metal, diğeri plastik), bir cetvel ve resmi web sitesi https://physlets.org/tracker adresinden indirebileceğiniz ücretsiz Tracker uygulamasının (Tracker Video Analiz ve Modelleme Aracı) yüklü olduğu bir bilgisayar. Uygulama doğrudan tarayıcınızdan (Chrome, Firefox, Safari veya Edge) kullanılabilir.

▲ Tracker uygulamasına bağlantı

İşlem:

- Kadrajı, videodaki mesafeleri belirleyebilmek için bir referans cismi—örneğin bir cetvel ya da bilinen bir nesne—bulunacak şekilde hazırla. Arka plan, toplarla mümkün olduğunca yüksek kontrastta olmalıdır; toplar koyuysa arka plan açık, toplar açıksa arka plan koyu olmalıdır. Ayrıca, kadrajda görünür çok fazla başka nesne bulunmamalıdır.

- İyi bir kameraya sahip bir cep telefonu alın ve "Yavaş Çekim" (Slow Motion) işlevini seçin

- Telefonu bir tripoda veya sabit bir yüzeye yerleştirin, böylece kamera topların düşeceği kadrajı kapsasın.
- Önce metal topun serbest düşmesine izin verin. Topa başlangıç hızı vermemeye, sadece avucunuzdan bırakmaya dikkat edin. Aynı topla birkaç video çekin. Ardından aynı işlemi plastik topla tekrarlayın ve onunla da birkaç video çekin.
- Tracker uygulamasının yardımıyla topların hareketlerini analiz edin. Uygulama, topların her konumu için zaman anlarının kaydedildiği bir görüntü elde etmenizi sağlayacaktır.
- Beş bitişik konum arasındaki mesafeleri ve ilgili zaman aralıklarını ölçün.
- Ölçülen mesafe değerlerini ve bu mesafelerin kat ettiği zamanları gireceğiniz bir tablo oluşturun.
- $h - h\left(\frac{t^2}{2}\right)$ bağıntısına göre (yüksekliğin, zamanın karesinin yarısının bir fonksiyonu olarak) bir grafik çiz ve bu grafikten her iki top için yerçekimi ivmesinin değerini hesapla
- İki top için elde edilen yerçekimi ivmesi değerlerini karşılaştırın ve analiz edin.

Bir Bilim İnsanı Gibi Düşün

Bir topun düşme süresinin, topun bırakıldığı yüksekliğe bağlı olduğunu belirlemek için bilimsel bir çalışma yürüten Marko'yu hatırlıyor musunuz? Şimdi, nesnelerin kütlesinin düşme süresini nasıl etkilediğine dair bir çalışma tasarlayıp yürütmek size düşüyor.

Atmanız gereken adımları hatırlayalım:

Adım 1: Adil bir test sağlamak için bağımsız, bağımlı ve kontrol değişkenlerini doğru bir şekilde belirleyin.

Adım 2: Bir hipotez oluşturun

Adım 3: Deneysel bir plan geliştirin ve deneyi gerçekleştirin.

Adım 4: Verileri işleyin.

Adım 5: Sonuçları yorumlayın ve hipotezi doğrulayın veya reddedin.

Dikey Atış

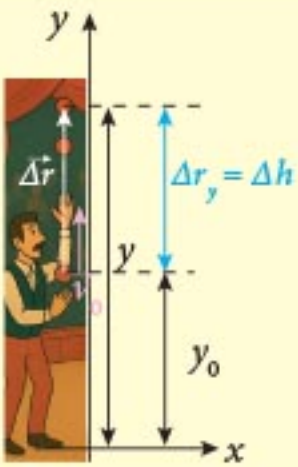
Jonglörün akrobatik gösterisinde (Şekil 6), topları dikey olarak yukarı fırlatabilmek için onlara bir başlangıç hızı vermesi gerekir. Topların durdukları ana kadar yavaşladıkları kolayca fark edilir.

Bu hareketin sebebi Dünya'nın kütle çekimi etkisidir.

Dünya'nın yerçekimi alanında başlangıç hızıyla dikey olarak yukarı doğru fırlatılan cisimler, Dünya'nın ivmesine eşit bir ivmeyle, düzgün bir çizgide yavaşlayarak hareket yaparlar $\vec{a} = \vec{g}$. **Bu tür bir harekete dikey atış denir.**

Dikey olarak yukarıya doğru bir top atan bir hokkabaz örneğini ele alalım.

Örnek 2:



▲ Şekil 6. Jonglör. Bu şekilde, jonglörün yukarı doğru fırlattığı topun hareketini inceliyoruz.

Jonglör topu dikey olarak yukarı doğru fırlatır. Top bir noktada durur ve dikey olarak aşağı doğru hareket etmeye devam eder. Sarah, topun fırlatıldığı andan durduğu ana kadar kat ettiği mesafenin yaklaşık $\Delta h = 1$ m. olduğunu gözlemler. Topun, yerçekimi ivmesine eşit bir ivmeyle sabit bir yavaşlama oranıyla hareket ettiğini bildiğinden $a = g = 9{,}81 \frac{m}{s^2}$, Sarah topun fırlatıldığı ilk hızı şu şekilde hesaplamak ister:

Verilen fiziksel büyüklükler için başlangıç koşulları, yani bilinen değerler kaydedilir.

$$v = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\Delta h = 1\text{m}$$

$$a = g = 9{,}81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$v_0 = ?$$

Hız ve yer değiştirme için vektör denklemleri yazılır.

$$\vec{v} = \vec{v_0} + \vec{g}\,t \qquad \Delta\vec{r} = \vec{v_o}\,t + \frac{\vec{g}\,t^2}{2}$$

$y: v_y = v_{oy} - g_y t$

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

Dikey atış, dikey bir harekettir. Bu nedenle, vektör niceliklerinin y eksenine göre karşılık gelen izdüşümlerini bulmak ve kaydetmek için düzlem koordinat sisteminin dikey y ekseni seçilir.

$y: v = v_o - g t$

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

Başlangıç hızı ve yerçekimi ivmesi vektörleri y eksenine göre zıt yönlerde olduğundan, eksi işareti eklenir.

$v_0 = gt$

$\Delta h = v_0 t - \frac{g t^2}{2}$

$0 = v_0 - gt$

$\Delta h = g t^2 - \frac{g t^2}{2}$

$\Delta h = \frac{g t^2}{2}$

v denklemi içine başlangıç koşulu yazılır. Başlangıç hızı v_0 ifadesi, Δh ifadesinde yerine konur ve böylece zaman t için bir denklem elde edilir. Yeni elde edilen t denklemi de v_0 ifadesinin yerine konulur.

$v_0 = g\sqrt{\frac{2}{g}} = \sqrt{2hg}$

$v_0 = 4,42 \ \frac{\text{m}}{\text{s}}$

$t^2 = \frac{2h}{g}$

$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$

Dikey atış teorisiyle açıklanabilen doğadaki ilginç olaylardan bazıları şunlardır:

- Bir volkanik patlama sırasında, kül ve gazlar dikey olarak yukarı doğru fırlatılır ve yerçekimi tarafından tutulur, ardından Dünya'ya geri düşer. Fırlatılan kül ve gazların maksimum yüksekliği, volkanik bulutun yayılımını belirlemek için kullanılabilir. Bu, hava trafiği ve insan sağlığı üzerindeki tehlikeleri tahmin etmede çok önemlidir.
- Bazı bitkiler (balon otu gibi), kapsülleri patladığında tohumlarını yukarı doğru fırlatır. Maksimum yüksekliğin ve tohumların düşüş hızının hesaplanması, tohumların nasıl dağıldığını ve düşüş sırasında ne ölçüde hasar gördüklerini açıklar.



▲ Şekil 7. Balon otu (Silene vulgaris). Dikey süngün veren bir bitki örneği .

Yatay Atış

Sirk gösterisindeki en ilgi çekici hareketlerden birinde (Şekil 8), okçu oku yatay bir yöne, başlangıç hızıyla fırlatır. Vücudu dikey olarak aşağı doğru çeken yerçekimi kuvveti nedeniyle, ok gözle görülür şekilde parabolik bir hareket yapar.

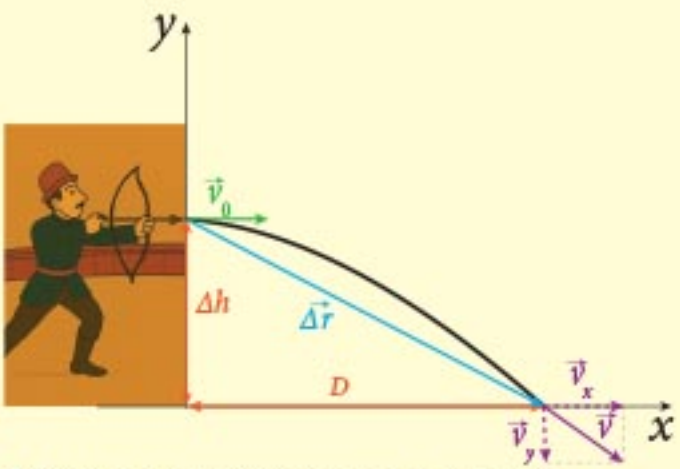
Belirli bir yüksekliğe kaldırılan ve Dünya'nın yerçekimi alanında yatay bir başlangıç hızıyla fırlatılan bir cisim, eğrisel bir hareket yapar. Bu harekete yatay atış denir.

Daris, sadece okun hareketini değil, gölgesini de dikkatli bir gözle takip eder. Yerde, projektör ışığının altında, okun gölgesi düz bir çizgide eşit şekilde hareket eder. Ancak dikey bir panelde, serbest düşüşü yapıyormuş gibi gölge hızlanarak asağıya doğru iniyor. Peki Daris aslında ne görüyor? O farkında omladan, okun hareketini iki bileşene ayrılmış şekilde gözlemler:

- Okun düz bir çizgide sabit bir hızla hareket ettiği yatay hareket. Bu hareket, zemindeki gölge ile gösterilir.
- Dikey hareket, okun yer çekimi etkisi altında düzgün ivmeli bir şekilde hareket ettiği, yani serbest düştüğü harekettir. Bunu dikey panelin gölgesinden görebiliriz.

Yatay atışın bu ayrıştırılmasını aşağıdaki örnekte iki basit harekete uygulayacağız.

Örnek 3:



▲ Şekil 8. Okçu, oku yatay yöne doğru fırlatır, böylece yatay bir atış yapmış olur.

Okçu, oku yatay olarak atar ve sirk salonunun zeminine yerleştirilmiş hedefi vurur. Daris, okçu ile hedef arasındaki mesafeyi, yani menzili $D = 60$ m olduğunu bilerek ve okun $h = 1{,}60$ m, yükseklikten atılan okun ilk hızını Daris hesaplamak istiyor.

Verilen fiziksel büyüklükler için başlangıç koşulları, yani bilinen değerler kaydedilir.

$$D = 60\,\text{m}$$

$$h = 1{,}60\,\text{m}$$

$$g = 9{,}81\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$v_0 = ?$$

$\vec{v} = \vec{v_0} + \vec{g}\,t$

Hız ve yer değiştirme için vektör denklemleri yazılır.

$\Delta\vec{r} = \vec{v_o}\,t + \frac{\vec{g}\,t^2}{2}$

$x:\ v_x = v_{ox} + g_x\,t$

$y:\ v_y = v_{oy} - g_y\,t$

Yatay atış eğrisel bir harekettir. Bu harekette okun yönü hem x hem de y eksenleri boyunca değişir. Bu nedenle, vektör niceliklerinin her iki eksene göre bir izdüşümü yapılır.

$x:\ \Delta r_x = v_{0x}\,t - \frac{g_x\,t^2}{2}$

$y:\ \Delta r_y = v_{0y}\,t - \frac{g_y\,t^2}{2}$

$x:\ v_x = v_o$

$y:\ -v_y = -g\,t\,/-1$

$y:\ v_y = g\,t$

Hatırlatma: Hız, yerçekimi ivmesi ve yer değiştirme vektörlerinin izdüşümlerinin işareti, bu vektörlerin yönlerinin ilgili koordinat eksenlerine göre konumuna bağlıdır.

$x:\ x - x_0 = v_0\,t$

$D = v_0 t$

$y:\ y_0 - y = \frac{g\,t^2}{2}$

$h = \frac{g\,t^2}{2}$

Menzil D (x ekseni boyunca maksimum yer değiştirme) ve okun fırlatıldığı yükseklik h için olan denklemler birleştirilerek, başlangıç hızı v_0 için bir ifade elde edilir.

$$D = v_0 t\ ;t = \frac{D}{v_0}\ h = \frac{gt^2}{2}\ ;h = \frac{gD^2}{2v_0^2}$$

$$v_0^2 = \frac{gD^2}{2h};v_0 = \sqrt{\frac{gD^2}{2h}}$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{9{,}81\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\cdot(60\text{m})^2}{2\cdot 1{,}60\text{m}}} = 105{,}1\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Yatay atış, çevremizde sürekli karşılaştığımız bir hareket türüdür. İşte bununla ilgili birkaç ilginç örnek:

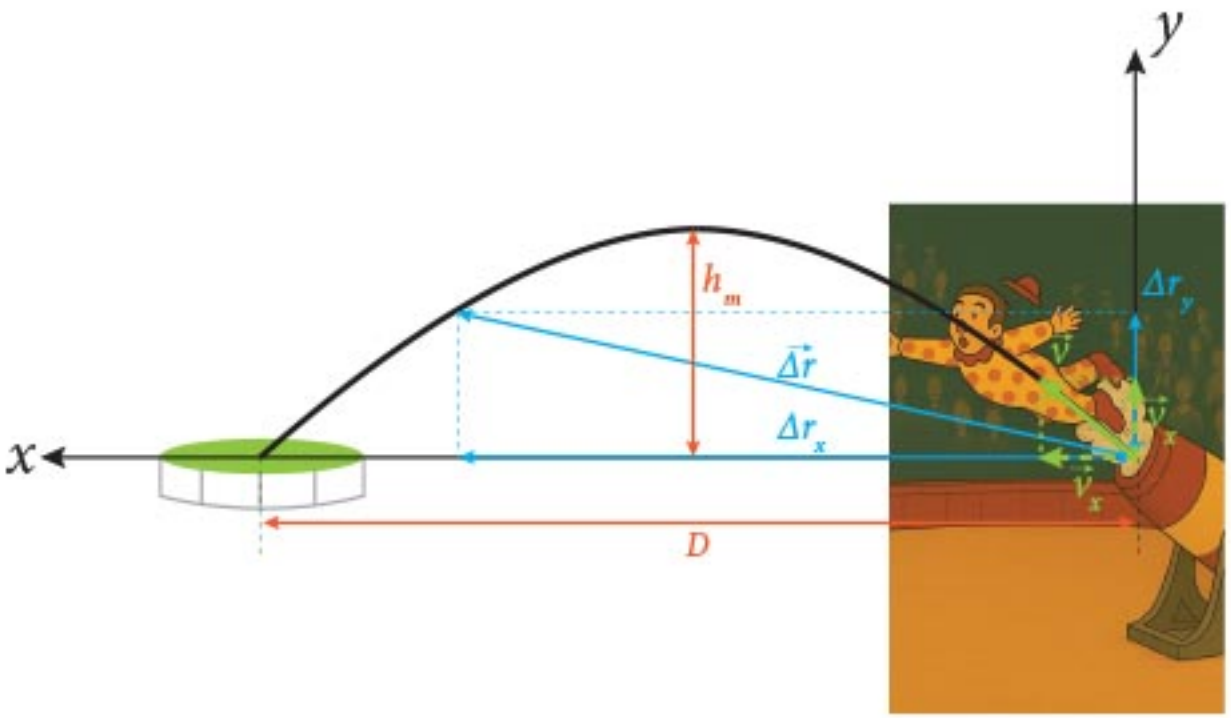
- Bazı bitkilerde, olgunlaştığında patlayıcı şekilde açılarak tohumları yatay olarak yüksek hızla fırlatan, balistik kapsül denilen bir meyve veya kapsül bulunur. Bu, tohumların yayılması için doğal bir mekanizmadır (balistik yayılım olarak adlandırılır).
- Bazı kuşlar (örneğin kartallar), yüksekten yatay uçarken kabukları veya kemikleri kaya üzerinde kırmak için bırakırlar. Kabuk yatay olarak fırlatılır ve düşer — klasik bir yatay atış.
- Herhangi bir ateşli silahtan fırlatılan mermilerin hareketi, yatay atışın tipik bir örneğidir. Yatay atışı tanımlayan yasalar, merminin yörüngesinin doğru biçimde belirlenmesini sağlar. Böylece istenmeyen sonuçlar önlenebilir.

Yatay ve eğik atışın, ayrıca yerçekimi kuvvet alanındaki diğer karakteristik mekanik hareketlerin bilinmesi, aracı güvenli şekilde kullanmak ve trafikte tehlikeli durumları önlemek için çok önemlidir. Örneğin, çarpışma sırasında yolcular doğrudan ileri gitmez; çoğunlukla parabolik bir yörünge çizerler. Bu amaçla, sürücüleri korumak için hava yastıkları stratejik noktalara yerleştirilmiştir. Araç, diğer araçlarla ya da bir hayvanla çarpıştığında yoldan çıkabilir ve yörüngesini değiştirebilir. Yörüngelerin anlaşılması, engellerden kaçınma manevralarını planlamaya yardımcı olur.

Daha Fazla Bilgi İçin:

- Topla yapılan akrobasi numarasında (Şekil 9), palyaço Dünya yüzeyine göre bir açıyla fırlatılır ve mindere düşene kadar aşağı doğru hareket ederek parabolik bir hareket yapar.
- Dünya'nın yerçekimi alanında, cismin Dünya yüzeyine göre verilen bir açıyla fırlatıldığı eğri hatlı hareket, eğik atıştır.

  Şekil 9'da palyaçonun verilen α açısıyla fırlatıldığı sirk topu gösterilmiştir. Verilen başlangıç hızı v_0 ve fırlatma açısı α için palyaçonun menzilinin nasıl hesaplanabileceğini ve menzilin maksimum olması için palyaçonun hangi açıyla fırlatılması gerektiğini göstereceğiz.



▲ Şekil 9. Belirli bir açıyla bir topun fırlatılmasıyla bir palyaço atış adı verilen bir hareket gerçekleştirir.

Verilen fiziksel büyüklükler için başlangıç koşulları, yani bilinen değerler kaydedilir.

v_0, α, g

$D = ?$ $\alpha_{max} = ?$

$\vec{v} = \vec{v_0} + \vec{g}\,t$

Hız ve yer değiştirmek için vektör denklemleri yazılır.

$\Delta\vec{r} = \vec{v_o}\,t + \dfrac{\vec{g}\,t^2}{2}$

$x: v_x = v_{ox} + g_x\,t$

$y: v_y = v_{oy} - g_y\,t$

Eğik atış eğrisel bir harekettir. Palyaçonun bu hareketteki yönü hem x hem de y eksenleri boyuncadır. Bu nedenle, vektör niceliklerinin her iki eksene göre izdüşümü yapılır.

$x: \Delta r_x = v_{0x}\,t - \dfrac{g_x\,t^2}{2}$

$y: \Delta r_y = v_{0y}\,t - \dfrac{g_y\,t^2}{2}$

$x: v_x = v_o \cos\alpha$

$y: v_y = v_o \cos\alpha - gt$

Yerçekimi ivmesi dikey olarak aşağıya doğru yönlendirilmiştir, yani yalnızca y eksenine göre bir izdüşüm vardır $g_x = 0, g_y = g$

$x: \Delta r_x = v_0 \cos\alpha\, t$

$y: \Delta r_y = v_0 \sin\alpha\, t - \dfrac{g\,t^2}{2}$

Palyaço hedefe (hava yatağına) düştüğü anda eksen boyunca yer değiştirme D aralığına eşit olacak ve Δr_y yer değiştirmesi sıfıra eşit olacaktır

$$\Delta r_x = D,\ \Delta r_y = 0$$

$$D = v_0 \cos\alpha\, t$$

$$0 = v_0 \sin\alpha\, t - \frac{g\,t^2}{2}$$

y ekseni boyunca yer değiştirme denkleminden, t zamanı ifade edilir ve D denklemine eklenir.

D aralığı için denklemin daha basit bir analizi için trigonometrik dönüşüm kullanılır $\sin 2\alpha = 2\sin\alpha \cdot \cos\alpha$

$$\frac{g\,t^2}{2} = v_0 \sin\alpha\, t\,;\ \frac{g\,t}{2} = v_0 \sin\alpha$$

$$t = \frac{2v_0 \sin\alpha}{g}$$

$$D = \frac{2v_0^2 \sin\alpha \cdot \cos\alpha}{g}$$

$$D = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

Sinüs fonksiyonunun maksimum değeri 1 olduğunda aralık en büyük olacaktır.

$$\sin 2\alpha = 1$$

Menzilin maksimum olduğu açıyı elde etmek için zıt arcsin fonksiyonu kullanılır

$$2\alpha = \arcsin 1$$

$$2\alpha = 90^0$$

$$\alpha_{max} = \frac{90^0}{2} = 45^0$$



▲ Şekil 10. Eğik atış gerçekleştiren uçan balıklar.

Eğik atış, çevremizde çok sık gerçekleşen bir harekettir. İşte doğadan bazı ilginç örnekler.

- Uçan balıklar (Exocoetidae ailesi) , sudan çıkıp havada kısa mesafeler „uçabilme" yetenekleriyle bilinen bir deniz balığı grubudur . Hareketleri genellikle yanlara doğru hamle şeklindedir. Bu yeteneklerini ton balığı, yunus ve diğer büyük balıklar gibi yırtıcılardan kaçmak için kullanırlar.

Sudan sıçrayan kurbağalar tipik bir eğik atış yaparlar. Kurbağa, ilk atış yapan diğer tüm nesneler gibi, hızın dikey bileşeni sıfıra düşene kadar yukarı doğru hareket eder. Bu andan itibaren kurbağanın hareketi yatay bir atış olarak kabul edilebilir.

Etkinlik (Deney): Menzilin maksimum olduğu fırlatma açısının hesaplanması

Aşağıdaki deneyi yapmayı deneyin

Deneyin amacı:

Menzilin en büyük olduğu fırlatma açısını, en az 10 ölçüm yaparak hesaplayınız.

Gerekli ekipman:

Mancınık (elastik bantlı veya yaylı küçük bir mancınık veya Mini Projectile Launcher kullanabilirsiniz), mezura, plastik top, toplayıcı

Uygulama:

- Mancınık düz bir yüzeye yerleştirilir.
- Bir fırlatma açısı seçin.
- Topu yerleştirin ve fırlatma kolunu çekin.
- Topun menzilini ölçün ve kaydedin.
- Sonuçları bir tabloya girin.
- Menzilin fırlatma açısına bağımlılığını gösteren bir grafik oluşturun.
- Sonuçları analiz edin.

Ağırlıksızlık Durumu
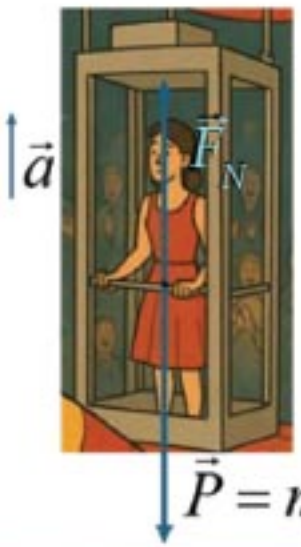
Cismin ağırlığı kavramını hatırlayalım. Ağırlık, vücudun yere veya (askıdaysa) zemine uyguladığı kuvvettir ve zemindeki normal tepki kuvvetine eşit büyüklüktedir. Asansörle noktayı gözlemleyen Daris ve Sarah, asansörün hızında ani değişiklikler fark ederler. Tüm bunlar, performansçının büyük fiziksel yüklere maruz kalmasına neden olur. Bunun neden böyle olduğunu görelim.

Asansör hareketinin birkaç farklı durumunu ele alacağız .



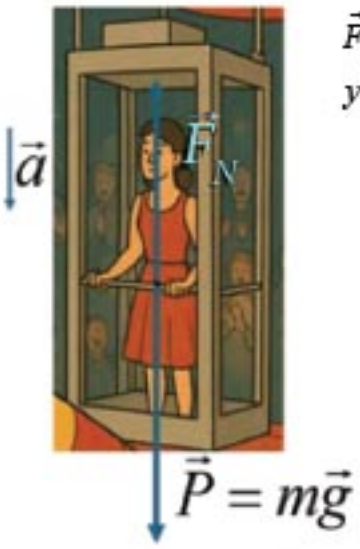
$$\vec{F}_N+\vec{P}=m\vec{a}$$
$$y: F_N-P=ma$$
$$G-mg=0$$
$$G=mg$$

Asansör $v=0$'da durmaktadır veya asansör düz bir çizgide düzgün bir şekilde hareket etmektedir $v=const$



$$\vec{F}_N+\vec{P}=m\vec{a}$$
$$y: F_N-P=ma$$
$$G-mg=ma$$
$$G=ma+mg$$
$$G=m(a+g)$$

Asansör ivmelenerek dikey olarak yukarı doğru hareket ediyor



$\vec{F}_N + \vec{P} = m\vec{a}$

$y : F_N - P = ma$

$G - mg = -ma$

$G = mg - ma$

$G = m(g - a)$

Asansör ivmelenerek dikey olarak aşağı doğru hareket ediyor.

$\vec{a} = \vec{g}$



$\vec{F}_N + \vec{P} = m\vec{a}$

$y : F_N - P = ma$

$G - mg = mg$

$G = mg - mg$

$G = 0$

Asansör yerçekimi ivmesine eşit bir ivmeyle dikey olarak aşağı doğru hareket etmektedir.

▲ Şekil 11. Farklı koşullar altında asansör hareketi

Her bir görüntü, farklı hareket koşullarında noktanın icracısına etki eden kuvvetleri göstermektedir.

Asansör hem hareketsizken hem de sabit bir hızla hareket ederken, akrobatın ağırlığı yerçekimi kuvvetine eşittir (Şekil 11). Akrobatın ağırlığına ilişkin son ifadelerini karşılaştırırsak, asansör yukarı doğru ivmeyle hareket ettiğinde ağırlığının en yüksek, aşağı doğru ivmeyle hareket ettiğinde ise en düşük olduğunu görürüz. Halat serbestçe aşağı doğru hareket edecek şekilde kasıtlı olarak serbest bırakıldığında, asansör serbestçe düşmeye başlar ve akrobatın ağırlığı sıfıra iner, yani akrobat asansör yüzeyine hiç baskı yapmaz.

Serbest düşen cisim ağırlıksızlık durumundadır.



▲ Şekil 12. Ağırlıksız ortamda bir astronot

Cisimlerin serbest ağırlık durumlarına ilişkin birkaç ilginç örnek vereceğim:

Uzay istasyonunda bulunan astronotlar, Dünya etrafında sürekli düşüş hâlinde olan istasyonla aynı hızla hareket ederler. Bu koşullarda hiçbir şeye basınç uygulamazlar, yani ağırlıkları yoktur.

Özel uçaklar vardır (bunlar "uzay uçakları" veya Zero-G uçuşları olarak bilinir) (Şekil 13). Bu uçaklar parabolik yörüngeler boyunca hareket ederken, bazı anlarda ivmeleri yerçekimi ivmesine eşit olur. Bu koşullarda uçaktaki yolcular serbest düşüş hâlindedir, yani ağırlıksız durumdadırlar. Bu durum genellikle birkaç saniye sürer.



▲ Şekil 13. Boeing 727 – G – FORCE ON

Bir lunapark hız trenine (roller coaster) bindiğinde ve en yüksek noktaya ulaştığında (Şekil 14), düşüş başlamadan hemen önce kısa bir an vardır ki, vücudun ağırlığını hissetmez (hiçbir şeye basınç uygulamaz). Bu, geçici bir ağırlıksızlık durumu anıdır.



▲ Şekil 14. Lunapark hız treni

Tepkisel (reaktif) Hareket

Şekil 2'deki sirk gösterilerinden birinde, küçük bir palyaçonun havaya bıraktığı ve havada hareket eden bir balonu göreceksiniz. Balonun hareketini momentumun korunumu yasasıyla açıklayacağız (Resim 15).



a) Balonun havası alınmadan önce



b) Balonun havası alındıktan sonra

▲ Şekil 15.

Balon açılmadan önce, balonun hızı da içindeki havanın hızı da sıfırdır. Bu, balonun ve havanın momentumlarının (impulslarının) sıfır olduğu anlamına gelir; yani $p_1 = 0$

Palyaço balonu salıp havasını bırakmaya başladıktan sonra, balonun hızı gibi balondan çıkan havanın hızı da değişir; dolayısıyla bunların momentumları (impulsları) da değişir $p_1' = m_1 v_1$ ve $p_2' = m_2 v_2$

Momentumun korunumu yasasından şu sonuç çıkar:

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}_1' + \vec{p}_2'$$

$$0 = m_1\vec{v}_1' + m_2\vec{v}_2'$$

$$m_1\vec{v}_1' = -m_2\vec{v}_2'$$

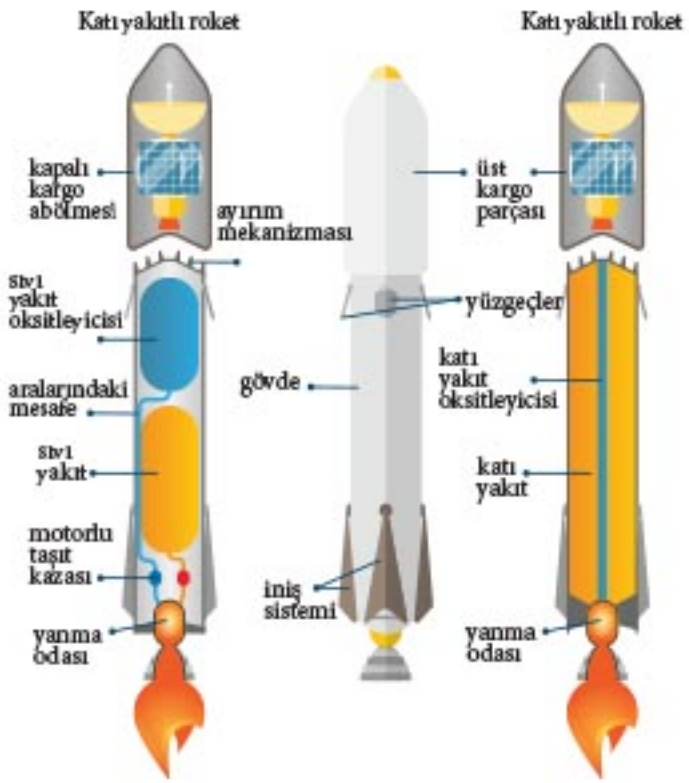
m_1 - balonun kütlesi, içindeki havayla birlikte, hızla hareket eden $\vec{v}_1$

m_2 - balon kütlesinin çıkışı ve bir hızla hareket eden havanın kütlesi $\vec{v}_1$

Eksi işareti, balonun içinden çıkan havanın yönünün tersine hareket ettiğini gösterir. Bu tür harekete **tepkisek hareket** denir.

Roketler tepkisel hareket prensibiyle hareket eder. Örnek olarak, uzay uçuşları için tasarlanan roketlerin hareket prensibini açıklayalım.

Öncelikle bir uzay roketinin bileşenleriyle tanışalım (Şekil 15).



▲ Şekil 16. Bileşenleri işaretlenmiş bir uzay roketinin şematik gösterimi.

Her roket şunlardan oluşur:

1. **Roket motoru**, roketleri iten ana güç kaynağıdır. Çalışma prensibi reaktif harekettir.
2. **Yakıt deposu** – motorun çalışması için gerekli olan sıvı veya katı yakıtı barındırır.
3. **Gövde** – roketin tüm bileşenlerini tutan hafif ama dayanıklı bir yapı
4. **Üst yük** – astronotların ve diğer yüklerin (araştırma aracı, uydu) bulunduğu kısım
5. **Yönlendirme ve navigasyon sistemi** - uçuş sırasında roketin dengesini ve kontrolünü korumaya yarayan bir sistem
6. **Ayırma bölümü** – Bir roket genellikle iki veya daha fazla aşamadan oluşur ve her aşamanın kendine ait bir motoru ve yakıtı vardır. Bir aşamadaki yakıt tükendiğinde, kütlesini azaltmak ve daha fazla hızlanma sağlamak için ayrılır. İki veya üç ayırma aşamasından oluşur. Her aşamanın kendine ait bir motoru ve yakıtı vardır.

Roketin hareket prensibini en basit şekilde açıklamak ve roketi hareket ettiren sözde reaktif kuvvet $\vec{F}_r$ ifadesini çıkarmak için referans sistemi olarak Dünya'yı alacağız (Şekil 17).

Newton'un İkinci Yasasını ifade eden denklemden başlıyoruz

$$\vec{F} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t}$$

$\Delta\vec{p}$ – bir roketin momentumundaki değişimi

$\vec{F}$ – roketin hareketini etkileyen tüm dış kuvvetlerin birleşik kuvveti

Momentum değişimi $\Delta\vec{p}$ gazın atılmasından önce ve sonra roketin toplam momentumunu ifade eder

$$\Delta\vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1$$

$\Delta\vec{p}_1$ – gaz fırlatılmadan önce bir roketin momentumu

$\Delta\vec{p}_2$ – gazları dışarı attıktan sonra bir roketin momentumu

$\vec{p}_1$ ve $\vec{p}_2$ momentumu, roketin kütlesi, fırlatılan gazların kütlesi ve bunların hızları cinsinden ifade edilir.

$$\Delta\vec{p} = m(\vec{v} + \Delta\vec{v}) + \Delta m(\vec{v} + \Delta\vec{u}) - (m + \Delta m)\vec{v}$$

$$\Delta\vec{p} = m\vec{v} + m\Delta\vec{v} + \Delta m\vec{v} + \Delta m\Delta\vec{u} - m\vec{v} - \Delta m\vec{v}$$

$$\Delta\vec{p} = m\Delta\vec{v} + \Delta m\Delta\vec{u}$$

m – roketin kütlesi
Δm – fırlatılan gazların kütlesi
$\vec{v}$ – roketin hızı
$\Delta\vec{v}$ – roketin Dünya'ya göre hızındaki değişim
$\Delta\vec{u}$ – gazların rokete göre hızındaki değişim

$\Delta\vec{p}$ ifadesini $\vec{F}$ denklemine koyun

$$\vec{F} = \frac{m\Delta\vec{v} + \Delta m\Delta\vec{u}}{\Delta t}$$

Denklemin sol ve sağ tarafları yer değiştirilerek, atılan gazların kütlesini içeren terim olan Δm, denklemin sağ tarafına taşınır.

$$\vec{F} = \frac{m\Delta\vec{v}}{\Delta t} + \frac{\Delta m\Delta\vec{u}}{\Delta t}$$

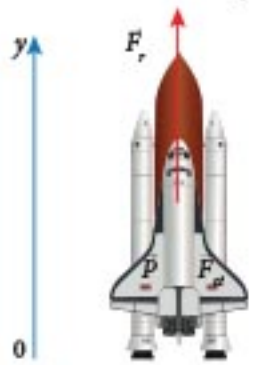
$$\frac{m\Delta\vec{v}}{\Delta t} + \frac{\Delta m\Delta\vec{u}}{\Delta t} = \vec{F}$$

$$\frac{m\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \vec{F} - \frac{\Delta m\Delta\vec{u}}{\Delta t}$$

$$\frac{m\Delta v}{\Delta t} = \vec{F} - \vec{F}_r$$

$\vec{F}_r$ – atılan gazların reaktif kuvveti
$\vec{a}$ – roket ivmesi

$$m\vec{a} = \vec{F} - \vec{F}_r$$



▲ Şekil 17. Uçuş halindeki bir roketin kuvvet diyagramı

Son denklemde $\vec{F}$, roketin hareketini etkileyen tüm dış kuvvetlerin bileşkesi olan kuvvettir. Gerçekte bunlar, Dünya'nın ağırlık kuvveti $\vec{P}$ ile hava direnci kuvveti $\vec{F}_{ot}$.'tur. Bu kuvvetler denkleme yerleştirildiğinde şu ifade elde edilir :

Roket dikey olarak yukarı hareket ettiğinden, izdüşüm ekseni olarak y eksenini seçmek en uygunudur. $\vec{F}_{ot}$ ve P için olan ifadeler yerine konur.

$$m\vec{a} = \vec{F}_{ot} + \vec{P} - \vec{F}_r$$

$$y : ma = -F_{ot} - P - (-F_r)$$

$$y : ma = -k\rho v^2 - mg + F_r$$

k – direnç katsayısı
ρ – hava yoğunluğu
v – roketin anlık hızı



▲ Şekil 18. Jet uçağı



▲ Şekil 19. Su skuteri

Dünya'nın yerçekimi kuvveti roketi sürekli olarak aşağı doğru çeker ve ivmesini azaltır. Hızın karesiyle orantılı olarak artan hava direnci kuvveti de aynı şekilde. Direnç kuvveti, hava yoğunluğunun daha fazla olduğu alt atmosfer katmanlarında en belirgindir. Bu kuvvetler hesaba katılmazsa, hız, irtifa ve yakıt ihtiyacı hesaplamaları hatalı ve gerçekçi olmayacaktır.

Tepkisel hareket teorisi ile açıklanan pek çok örnek vardır.

Jet motorlu uçaklar (Resim 18) yakıt kullanır; yanma sırasında yüksek sıcaklıkta ve yüksek basınçta gazlar oluşur. Bu gazlar büyük bir hızla geriye doğru atılır, bu da öne doğru bir itki oluşturarak uçağı hareket ettirir.

Su skuteri (Resim 19), önden suyu emen ve arkadan yüksek hızla fırlatan bir pompa kullanır. Suyun geriye doğru atılmasını sağlayan kuvvet, öne doğru bir tepki kuvveti (itki) oluşturur ve skuterin ileri hareket etmesini sağlar.

Ahtapot (Resim 20), tepkisel hareket prensibine göre hareket eden bir hayvandır. Uzuvlarıyla (dokunaçlarıyla) su emer, ardından dışarı atarak ileriye doğru hareket etmesini sağlar.



▲ Şekil 20. Ahtapot

Daha Fazla Bilgi İçin:

- Konstantin Tsiolkovski, Rus fizikçi ve roket tekniğinin öncüsüdür. Roketleri kullanarak uzay yolculuğu olasılığını ilk kez teorik olarak açıklamıştır. 1903 yılında, roketlerde hız, kütle ve itki kuvveti arasındaki ilişkileri tanımlayan ünlü **Tsiolkovski denklemini** yayımlamıştır. Hiçbir zaman gerçek bir roket inşa etmemiş olsa da, onun fikirleri modern uzay teknolojisinin temellerini atmıştır.
- Roket kütlesinin en büyük kısmını, daha doğrusu toplam kütlenin %90'ını yakıt kütlesi oluşturur. Roket, $28000\frac{km}{h}$ kadar hıza ulaşabilir.
- Günümüzde kullanılan roketlerin bir kısmı tekrar kullanılabilir niteliktedir. Örneğin SpaceX Falcon 9 roketi her zaman iniş ayakları adı verilen ayaklarla geri dönüyor ve iniyor, bu da görev maliyetlerini düşürüyor.

Birinci Kozmik Hız

Kendi deneyimlerimizden hepimiz Dünya'nın yerçekimi kuvvetini yenmenin ne kadar zor olduğunu biliriz. En iyi yüksek atlayıcılar bile ancak 2 metreden biraz fazla sıçramayı başarabilirler.

Daris ve Sara, sirk gösterisindeki akrobatik sahneleri izlerken şu sonuca varırlar: Bir cismin Dünya yüzeyinden uzaklaşabilmesi için, ona dikey yönde yukarıya doğru bir başlangıç hızı verilmelidir. Bu hız ne kadar büyükse, cisim o kadar çok uzaklaşır.

Daris düşüncesini biraz daha ileri götürerek kendine şunu sorar: Eğer okunu yatay doğrultuda fırlatan bir okçu, aynı şeyi Dünya atmosferinin dışında, bir astronot gibi yapsaydı ne olurdu? Bu soruya cevap verebilmek için verilen şekli inceleyelim (Şekil 21).



▲ Şekil 21. Farklı başlangıç hızlarında Dünya'nın yerçekimi alanında fırlatılan bir okun yörüngeleri

Şekilde, üç farklı başlangıç hızında okun üç olası yörüngesi gösterilmiştir. Yeşil ve mavi yörüngeler daha küçük başlangıç hızlarında elde edilmiştir. Her iki durumda da ok Dünya'ya düşer. Yeterince büyük bir başlangıç hızında ise ok Dünya'ya düşmez;

bunun yerine onun etrafında dolanmaya devam eder (kırmızı yörünge). Bu durumda, okun Dünya'nın bir uydusu hâline geldiğini söyleriz.

Çözülmüş örnek :

Yer'den $h = 400$ km, yükseğe çıkarılmış okun Dünya'nın uydusu olabilmesi için fırlatılması gereken en küçük hızı hesaplayalım. Dünya'nın yarıçapı ve kütlesi olarak $R = 6400$ km ve $M_z = 5{,}97 \cdot 10^{27}$ kg olarak alınsın. Bu koşullar altında atmosferin direnci ihmal edilebilir.

Çözüm:

$h = 400\,\text{km} = 40 \cdot 10^5\,\text{m}$

$M_z = 5{,}97 \cdot 10^{27}\,\text{kg}$

$R = 6400\,\text{km} = 64 \cdot 10^5\,\text{m}$

$\gamma = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\,\frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$

$v = ?$

Cismin (okun) çekimsel etkileşim nedeniyle dairesel bir yörüngede hareket ettiğini varsayalım.

Kütleçekim kuvveti F_g gerçekte merkezcil kuvvet F_{cp} rolünü oynar.

$$F_g = F_{cp}$$

$$\gamma \frac{M_z m}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

$$v^2 = \gamma \frac{M_z}{r}$$

Denklemin sol ve sağ taraflarından okun kütlesi m'yi ve ok ile Dünya arasındaki mesafe r'yi çıkarın. Mesafe r aşağıdaki ile değiştir:

$r = R + h$

$$v = \sqrt{\gamma \frac{M_z}{r}} \qquad v = \sqrt{\gamma \frac{M_z}{R+h}}$$

Verilen miktarların değerlerini yerine koyun

$$v = \sqrt{6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{5{,}97 \cdot 10^{24}}{64 \cdot 10^5 + 4 \cdot 10^5}}$$

$$v = 7{,}7 \cdot 10^3\,\frac{\text{m}}{\text{s}} = 7{,}7\,\frac{\text{km}}{\text{s}}$$

$h = 400$ km yükseklikten fırlatılan bir füzenin minimum fırlatma hızını hesaplıyoruz . Peki, oku Dünya'nın yarıçapından çok daha küçük bir

yükseklikten atıyorsak ne olacak? O hâlde aralarındaki uzaklık rrr, Dünya'nın yarıçapına yaklaşık eşit kabul edilebilir.

$$v = \sqrt{\gamma \frac{M_z}{R+h}} \qquad v = \sqrt{\gamma \frac{M_z}{R}}$$

Önceki örnekteki γ, M_z, R değerleri yerine konularak hız için aşağıdakini elde ederiz

$$v = \sqrt{\gamma \frac{M_z}{R}} = \sqrt{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{5,97 \cdot 10^{24}}{64 \cdot 10^{5}}}$$

$$v = 7890 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 7,890 \frac{\text{km}}{\text{s}} \approx 7,9 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

Bu şekilde, okun Dünya yörüngesine girebilmesi için fırlatılması gereken minimum hızın denklemini elde ettik. Denklemin dikkat çekici yanı, hızın yalnızca Dünya'nın kütlesine bağlı olması ve yörüngedeki cismin kütlesine bağlı olmamasıdır. Bu, minimum hız için bu ifadeyi, Dünya'nın yörünge alanına fırlatmak istediğimiz herhangi bir cisme uygulayabileceğimiz anlamına gelir. Bu bize, bir cismin Dünya yörüngesine girebilmesi için sahip olması gereken Birinci Kozmik Hız değerini verir.

Birinci kozmik hız bir cismin Dünya yörüngesinde dönmeye başlaması için sahip olması gereken minimum yatay hızdır.

Dünya yörüngesine fırlatılan insan yapımı cisimlere yapay uydu denir.

Daha Fazla Bilgi İçin:

Uzaya gönderilen ilk yapay uydu, Sovyetler Birliği tarafından 1957 yılında fırlatılan „Sputnik 1" oldu ve böylece Dünya'da uzay çağı başlamış oldu.

Dünya yörüngesinde 10.000'den fazla aktif ve pasif uydu bulunmaktadır. Bunlar navigasyon, iletişim, meteoroloji gözlemleri, bilimsel araştırmalar ve askeri amaçlar için kullanılmaktadır.

Uydular, isimlerine göre farklı yüksekliklerde yörüngede bulunurlar ve bu nedenle onları şu şekilde sınıflandırabiliriz:

- Alçak Dünya Yörüngesi (LEO) uyduları (2.000 km'ye kadar) – Dünya gözlemi ve Uluslararası Uzay İstasyonu için kullanılır
- Orta Yörünge (MEO) uyduları (yaklaşık 20.000 km) – GPS uyduları için kullanılır
- Jeostatik uydular (GEO) (35786 km) - Dünya ile aynı açısal hızla hareket ettikleri için hareketsiz oldukları söylenir.

Uyduların sürekli hareket motoru yoktur. Gerekli hızda yörüngeye girdikten sonra, yalnızca yerçekiminin etkisi altında hareket ederler.

Dünya giderek uzay çöpleriyle karşı karşıya kalmaktadır. Eski uydular ile uyduların parçalanmış bileşenleri sürekli olarak Dünya'nın etrafında dolanır ve etkin durumdaki nesneler için bir tehdit oluşturur.

İkinci kozmik hız bir cismin Güneş'in yapay uydusu olabilmesi için ulaşması gereken minimum hızdır. Aslında, cismin hızı ve dolayısıyla kinetik enerjisi, Dünya ile cisim arasındaki çekim kuvvetini aşabilmesini sağlamalıdır. Değeri şuna eşittir: kuru $v = 11,2 \frac{\text{km}}{\text{s}}$. Hız denklemini nasıl elde edeceğimizi kısaca göstereceğiz.

Fırlatma anında cisim hem kinetik hem de potansiyel enerjiye sahiptir. Cisim, Dünya'nın yerçekimi kuvvetinin artık hissedilmeyeceği kadar uzaklaştığında ve cismin hızı sıfıra indiğinde, kinetik ve potansiyel enerjinin toplamı sıfır olacaktır. Enerjinin korunumu yasasından, kütleçekim etkileşiminin kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamının her iki anda da aynı kaldığı sonucu çıkar.

Potansiyel enerjinin işareti eksidir çünkü cisim çekici bir kütleçekim kuvvetinin etkisi altındadır.

$$E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2}$$

$$\frac{mv^2}{2} - \gamma \frac{Mm}{r} = 0$$

$$\frac{v^2}{2} = \gamma \frac{M_z}{r}$$

$$v^2 = \gamma \frac{2M_z}{r}$$

$$v = \sqrt{\gamma \frac{2M_z}{r}} \qquad r \approx R_z$$

$$v = \sqrt{\gamma \frac{2M_z}{R_z}} = 11,2 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

M_z – Dünya'nın Kütlesi

m – Cismin kütlesi

r – fırlatma anında, Dünya'nın merkezî ile cismin arasındaki uzaklık

R_z – Dünya'nın yarıçapı

Üçüncü kozmik hız, bir cismin Güneş Sistemi'nden tamamen çıkıp yıldızlararası uzaya girmek için ulaşması gereken minimum hızdır. Bunu başarmak için, cismin yalnızca Dünya'nın yer çekimini değil, aynı zamanda Güneş'in yer çekimini de aşması gerekir. Değeri, oran cinsinden ölçülür. Güneş'e göre ölçülen değeri yaklaşık $v = 41,3 \frac{\text{km}}{\text{s}}$.

NASA tarafından 5 Eylül 1977'de fırlatılan Voyager 1 uzay aracı, Güneş Sistemi'nden ayrılan ilk araçtı.

Sorular ve Ödevler

1. Serbest düşüş ile dikey atış arasındaki benzerlikleri ve farklılıkları açıklayın?
2. Bir cisim $h = 20\text{m}$ yükseklikten serbest düşüşe bırakılıyor. Cisim ne kadar süre sonra Dünya'ya düşecek ve düşüş sırasındaki hızı ne olacak?
3. Bir top, $v_0 = 19,62 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. başlangıç hızıyla dikey olarak yukarı doğru atılıyor. Topun ulaşabileceği maksimum yükseklik nedir ve ne kadar sürede ulaşır?
4. Bir cisim, $v_0 = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ başlangıç hızıyla dikey olarak yukarı doğru atılıyor. Aynı anda, başka bir cisim $h = 80$ m yükseklikten serbest düşüşe bırakılıyor.
   a) Cisimler ne kadar süre sonra buluşacak?
   b) Cisimler buluşana kadar ne kadar yol kat etmiş olacak?
   c) Birinci cismin ulaşabileceği maksimum yükseklik nedir?
5. Su yüzeyinden $h = 10\,\text{m}$ yüksekliğe yerleştirilmiş bir platformdan $v_0 = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ hızında yatay olarak bir taş atılıyor.
   a) Taşın suya düşmesi ne kadar sürer?
   b) Taş suya hangi hızla düşer?
6. Bir cisim çok yüksekten düştüğünde hava direnç kuvvetinin yerçekimi kuvvetinden daha büyük olması mümkün müdür? Açıklayınız?
7. Hız hesaplamalarından (örnek 1 ve örnek 2), hokkabazın topu fırlattığı ilk hızın, topun hokkabazın eline geri döndüğü hız ile eşit olduğunu anlayabilirsiniz. Nedenini açıklayınız.
8. Bir asansörün tavanına elastik bir yay asılmıştır. Yayın ucunda kütlesi $m = 200\,\text{g}$. olan metal bir top bulunmaktadır. Asansör, $a = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. ivmesiyle dikey olarak yukarı doğru hareket eder. Zemine etki eden metal topun ağırlığını hesaplayınız.
9. Başlangıç kütlesi $m_0 = 4500$ kg yakıt olan bir roket. $t = 15$ s, saniye içinde $\Delta m = 1500\,\text{kg}$ yakıt yakıyor ve bu yakıt rokete göre $\Delta u = 1600 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ hızla dışarı atılıyor.

a) Roketin yanma sırasında oluşturduğu ortalama tepkisel kuvveti hesaplayın.

b) Roket başlangıçta hareketsizse, $t = 15$ saniye sonra hızını hesaplayın

10. Güneş Sistemi'ndeki ikinci gezegen, kütlesi $M = 6,42 \cdot 10^{23}$ kg ve ortalama yarıçapı $R = 3390$ km olan Mars'tır.

a) Mars gezegeni yüzeyinin hemen üzerinde dolanacak bir cisim için birinci kozmik hızı hesaplayın.

b) Mars'ın kütleçekim alanında jeostasyoner bir uydu dolanıyorsa, onun doğrusal hızını hesaplayın. Mars gezegeninin kendi ekseni etrafındaki dönme periyodu $T = 24$ h ve 40 min.

Özet:

- Yerçekimi kuvvetinin yönü, büyüklüğü ve şiddeti, fırlatılan cismin ilk hızı ve Dünya'nın yerçekimi alanında üzerine etki eden ek kuvvetler, onun hareket yörüngesini şekillendirir.
- Dünya'nın yerçekimi alanında serbest bırakılan cisimler, Dünya'nın kütleçekimi ivmesine eşit bir ivmeyle düzgün ivmeli hareket ederler. Bu harekete serbest düşme denir.

$$h = \frac{g t^2}{2} \; ; \; v = gt$$

- Dünya'nın yerçekimi alanında dikey olarak yukarı doğru fırlatılan cisimler, Dünya'nın ivmesine eşit bir ivmeyle, düzgün bir şekilde yavaşlayarak hareket ederler. Bu tür bir harekete dikey atış denir.

$$h = v_0 t - \frac{g t^2}{2} \; ; \; v = v_0 - gt$$

- Belirli bir yüksekliğe kaldırılan ve Dünya'nın yerçekimi alanında yatay bir başlangıç hızıyla fırlatılan bir cisim, eğrisel bir hareket yapar. Bu harekete yatay atış denir.

$$D = v_0 t \qquad h \quad \frac{g t^2}{2}$$

- Tepkisel hareket, momentumun korunumu yasasının bir sonucu olarak ortaya çıkar.
- Roketin hareketi şu denklemle tanımlanır:

$$m\vec{a} = \vec{F} - \vec{F}_r$$

$\vec{a}$ – roket ivmesi

$\vec{F}$ – tüm dış kuvvetlerin bileşke (net) kuvveti

$\vec{F}_r$ – atılan gazların tepkisel kuvveti

- Serbestçe düşen bir cisim ağırlıksız durumdadır.

  $G = 0$

- Birinci kozmik hız, bir cismin Dünya yörüngesinde dönmeye başlaması için ulaşması gereken en düşük yatay hızdır.

  $$v = \sqrt{\gamma \frac{M_z}{R}} \approx 7{,}9 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

- Dünya yörüngesine fırlatılan insan yapımı nesnelere yapay uydu denir.

2.11 Kuvvetin Döndürme Etkisi

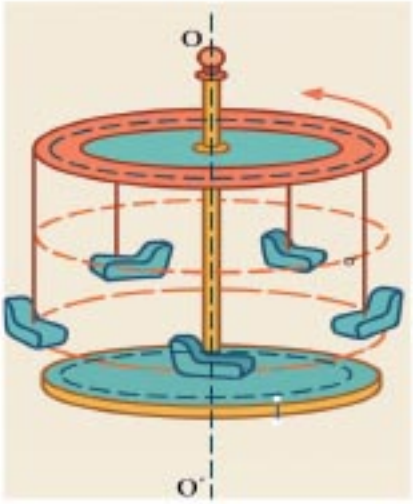
Günlük hayatta, dönen bir bisiklet tekerleği, açılan bir kapı, dönen bir vida gibi dönen cisimlerle sık sık karşılaşırız. Doğrusal hareketin aksine, bu olaylar **dönme hareketinin, yani cismin sabit bir eksen** etrafında döndüğü hareketin örnekleridir . Bu tür hareketi anlamak için, cisimlerin nasıl ve neden döndüğünü tanımlayan fiziksel büyüklükleri ve adları bilmemiz gerekir.

Mutlak Rijit Cisim

Bir cismin hareketini tanımlamak isteseydik, hareket halindeki cismin şeklinin değişmediğini bilseydik işimiz çok daha kolay olurdu. İster fırlatın, ister döndürün, ister hareket ettirin, çubuk üzerindeki iki nokta arasındaki mesafenin her zaman aynı kaldığı tahta bir çubuk düşünün.

> Bir cismin üzerindeki tüm noktalar arasındaki uzaklık, cismin nasıl hareket ettiğine bakılmaksızın değişmiyorsa, bu cisme mutlak rijit cisim denir.

Mutlak Rijit Bir Cismin Sabit Bir Eksen Etrafındaki Dönme Hareketi



▲ **Şekil 1.** Üzerindeki parçaların dairesel yörüngeleri işaretlenmiş bir atlıkarınca.

> Rijit bir cismin sabit bir eksen etrafındaki dönme hareketi, cismin tüm noktalarının karşılıklı paralel düzlemlerde uzanan dairesel yörüngeler etrafında çizdiği bir harekettir.
>
> Sabit eksen, rijit cisminin her bir noktasının dairesel yörüngelerinin merkezlerinde bulunduğu çizgidir.

Şekil 1, bazı parçalarının çizdiği dairesel yolların açıkça görülebildiği bir atlıkarıncayı göstermektedir. Dairesel yolların merkezleridönme ekseninin üzerinde yer alır OO'

Kuvvet Momenti

Mark ve Sarah, oturma odalarının kapısına deneysel ölçümler yapma fikrini ortaya attılar. Kapının uzunluğu boyunca eşit aralıklarla birkaç kanca yerleştirdiler (Resim 2). Kancalara, kapıyı çekmek için kullandıkları dinamometreyi asarlar.

apıyı farklı uzaklıklardan açabilmek için uygulayabildikleri minimum kuvveti ölçerler; bu kuvvet kapıya dik yöndedir.

d (m)	F (N)	Fd (Nm)
0,2	400	80
0,4	201	80.4
0,6	132	79,2
0,8	100	80

Tablo 1: Ölçüm sonuçları

F - kapıya dik olarak etki eden kuvvet

d - dönme ekseni ile kuvvet силата F nin uygulama noktası arasındaki mesafe



▲ Şekil 2. Sarai Marko, kapıyı açan kuvvetin, kuvvetin etki ettiği mesafeye bağımlılığı üzerine bir deney yürüttüyor .

Ölçüm sonuçlarını bir tabloya (Tablo 1) kaydederler. Girilen uzaklık d ve kuvvet F değerlerinden, kuvvetin dönme eksenine göre en büyük uzaklıkta en küçük, eksene en yakın uzaklıkta ise en büyük olduğu gözlemlenir. Üçüncü sütunda, her bir ölçüm için ayrı ayrı, uygulanan kuvvet F ile karşılık gelen uzaklığın d çarpımının değerleri yazılır. Bu çarpımın neredeyse değişmediği açıktır. Buradan, F kuvveti ile d uzaklığının çarpımını veren yeni bir fiziksel büyüklüğü tanımlama gereği doğar. Bu fiziksel büyüklüğe kuvvet momentine M denir.

$$M = Fd$$

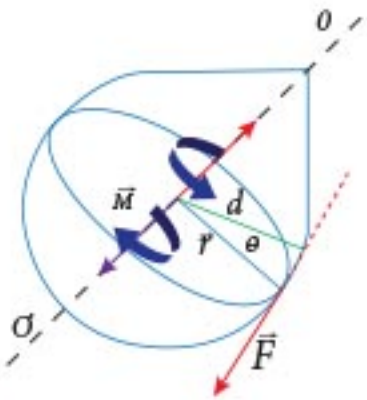
Kuvvet moment, bir vektörel fiziksel büyüklüktür; büyüklüğü, kuvvet F ile kuvvet kolu d'nin çarpımına eşittir. Kuvvet kolu, dönme ekseni ile kuvvetin etki doğrultusu arasındaki en kısa uzaklık olarak tanımlanır.

Dikkat:

Dönme hareketinden bahsederken, bilinen bazı fiziksel büyüklüklerin önüne genellikle „moment..." ifadesini kullanırız. Bunu yaptığımızda aynı büyüklüklüğü kastetmiyoruz; bunun yerine dönme ile ilgili yeni bir fiziksel büyüklük tanımlamış oluruz.

Örneğin, kuvvet momenti kuvvetle aynı şey değildir; bir kuvvetin eksen etrafında ne ölçüde döndürme etkisi oluşturduğunu gösteren bir büyüklüktür.

Benzer biçimde adları yakın gelse de bu "moment ..." büyüklüklerinin her birinin kendi anlamı vardır ve yalnızca dönel (rotasyonel) hareketin söz konusu olduğu durumlarda geçerlidir.



▲ Şekil 3. Bir cisim hayali bir dönme ekseni OO' etrafında dönüyor

Gövde üzerinde olası iki dönüş yönü ve tork vektörünün karşılık gelen yönü işaretlenmiştir.

Tork vektörü $\vec{M}$ iki yönlü olabilir. Gövde saat yönünün tersine dönerse, tork vektörü dönüş düzlemine dik olarak dikey olarak yukarı doğru yönlendirilir (Şekil 3). Gövde saat yönünde dönerse, tork vektörü dönüş düzlemine dik olarak dikey olarak aşağı doğru yönlendirilir.

Deneyde ve tork $\vec{M}$, tanımında, kuvvet F'nin dönüş ekseninden hücum noktasına uzanan d parçasına dik açıda olduğu bir durumu ele aldık. Genel durumda, kuvvet keyfi bir yönde etki eder. Açıyı hesaba katmak için d uzunluğunu $d = r\sin\theta$, olarak yazarız; burada r, dönüş ekseninden hücum noktasına olan mesafedir. Bu, d'nin dönüş ekseni ile kuvvet F'nin etki ettiği yön arasındaki en kısa mesafe olduğu anlamına gelir (Şekil 3).

Kuvvet momenti şu şekilde yazılır:

$$M = Fr\sin\theta$$

Son denklem, kuvvet momenti M'nin θ açısına bağlı olduğunu göstermektedir. Bu açı, kuvvet vektörü ile yarıçapı vektörü $\vec{r}$. $\vec{r}$ vektörü, dönme eksenini kuvvetin uygulama noktasına bağlayan vektördür.

Çözümlü Örnek 1:

Vektörler arasındaki açı r uzunluğundaki bir anahtara etki eden F kuvvetinin momenti ne olur (Şekil 4):

1. $\theta = 0$

2. $\theta = 90^0$

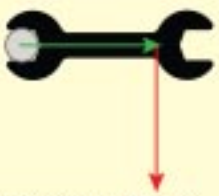
Çözüm:

Şart 1:



$M = Fr\sin 0 = 0$

Şart 2:



$M = Fr\sin 90 = Fr$

▲ Şekil 4. Bir anahtarın kuvvet etkisi altında bir eksen etrafında, farklı etki açılarında dönmesi.

Cismin bir kuvvetin etkisi altında dönmeye başlaması için, dönmeye neden olan kuvvetin etki ettiği açı da önemlidir. Örneğin, cismi mekanik olarak döndürmek istiyorsanız, 90^0 açıyla bir kuvvet uygulamanız gerekir. Bu durumda kuvvet momenti maksimumdur. Vektörün yarıçapının yönüyle aynı yönde bir kuvvet uygularsanız, o zaman kuvvet momenti M eşittir sıfır. Bu, dönüşün olmayacağı anlamına gelir.

Kuvvet Çifti Momenti

Marko ve Saran'nın kapıyı hareket ettirmeleri için çok fazla kuvvete ihtiyaçları yoktu (Şekil 2). Şimdi hayal edin: Marko ve Sara aynı anda bir mekanik atlıkarıncayı döndürmek üzere kuvvet uyguluyorlar (Şekil 5). Onu döndürmeyi çeşitli yollarla denerler. Kısa sürede her ikisi de şu sonuca varır: Atlıkarıncayı en kolay, paralel doğrultularda ve zıt yönlerde, üstelik birbirlerine mümkün olduğunca büyük uzaklıkta etki ederek döndürebilirler.



▲ Şekil 5. Koldaki kuvvet çifti

Eşit yoğunlukta ve zıt yönde, birbirinden belirli bir mesafede etki eden iki paralel kuvvetten oluşan sisteme **kuvvet çifti** denir.

Bir **kuvvet çiftinin momenti**, çifteki kuvvetlerden birinin yoğunluğu ile kuvvetlerin uygulama noktaları arasındaki mesafenin çarpımına eşittir.



▲ Şekil 6. Direksiyondaki kuvvet çifti

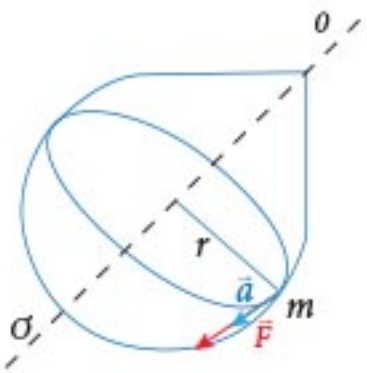
$$M_s = Fd; F_1 = F_2 = F$$

Kuvvet bağlantısı ve kuvvet momenti bağlantısı terimleriyle açıklanan birkaç örneği sıralayalım:

- Arabayı direksiyonunu yönlendirmek (Şekil 6). Sürücü direksiyonu çevirirken, direksiyonun zıt taraflarına yerleştirilmiş iki eli, eşit büyüklükte ve zıt yönde iki kuvvet uygulayarak dönme hareketi oluştuturur.
- Kavanoz kapağını açıp kapatmak. Kapağı açmak için avucunuzun iki ucunu zıt yönlerde kullanmanız gerekir. İki temas noktası, biri diğerinin zıt yönüne dönerek kapağı açıp kapatan bir kuvvet çifti oluşturur.
- Bisiklet pedalları (Şekil 7): Bisikletçi pedallara ayaklarıyla bastığında, tahrik milini döndüren bir kuvvet çifti oluşur.



▲ Şekil 7. Bir bisiklet üzerindeki kuvvet çifti



▲ Şekil 8. Mutlak rijit bir cisim kendi ekseni etrafında dönmektedir.

Dönme Hareketinin Dinamiğinin Temel Yasası

Herhangi bir katı cisim, birbirlerine göre konumlarını değiştirmeyen çok sayıda maddesel noktadan oluşan bir sistem olarak temsil edilebilir.

Cismin m kütleli bir parçasını (Şekil 8), yani bir maddesel noktayı ele alalım. Böyle bir nokta, dönme eksenine dik bir düzlemde uzanan dairesel bir yörünge çizer. Yörünge teğetsel olarak yerleştirilmiş bir F kuvveti tarafından etkilenir. Bu kuvvetin etkisi altında cisim teğetsel ivme kazanır.

$$F = ma$$

Denklemin sol ve sağ taraflarını dairesel yörüngenin yarıçapıyla çarpıyoruz

$$F = ma \mid \cdot r$$

$$Fr = mar$$

$M = Fr$ ve $a = \alpha r$ cdenklemlerinin yerini değiştirdiğimizde aşağıdaki ifadeyi elde ederiz:

$$M = mr^2\alpha$$

mr^2 çarpımı, verilen dönme eksenine göre bir maddesel nokta için yeni bir skaler fiziksel büyüklük olarak tanımlanır ve **eylemsizlik momenti** I olarak tanımlanır.

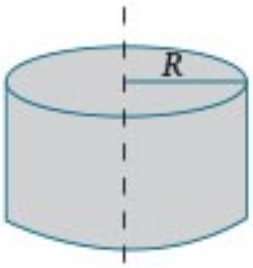
$$I = mr^2$$

Denklemin sağ tarafındaki niceliklerin temel birimlerini yerine koyduğumuzda, eylemsizlik momentinin birimi olarak $\mathbf{kg \cdot m^2}$ elde ederiz.

Bir cismin toplam eylemsizlik momentini hesaplamak için, onu oluşturan tüm maddesel noktaların eylemsizlik momentlerini toplamamız gerekir .

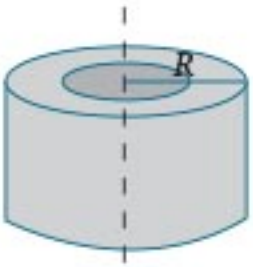
$$I = m_1r_1^2 + m_2r_2^2 + m_3r_3^2 + \ldots\ldots + m_nr_n^2 = \sum_{i=1}^{n} m_ir_i^2$$

Eylemsizlik momentinin değeri, cismin kütlesinin uzayda nasıl dağıldığına bağlıdır. Bu nedenle, düzgün geometrik şekle sahip cisimlerin eylemsizlik momenti, Şekil 9'daki formüllere göre daha kolay hesaplanır.



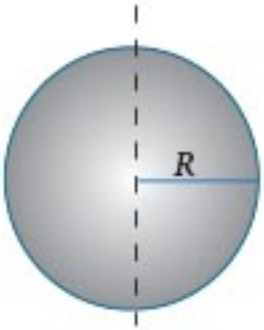
$$I = \frac{mR^2}{2}$$

Dolu silindir veya disk



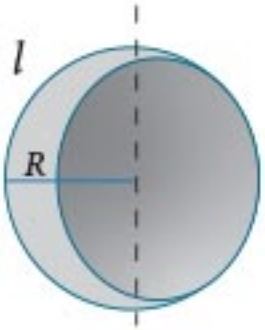
$$I = mR^2$$

İçi boş silindir



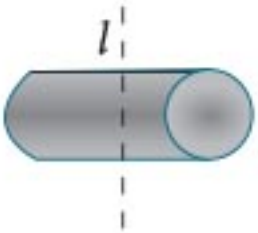
$$I = \frac{2mR^2}{5}$$

Homojen top



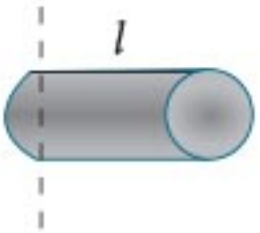
$$I = \frac{2mR^2}{3}$$

İçi boş top



$$I = \frac{ml^2}{12}$$

Merkezden geçen bir dönme eksenine sahip ince bir çubuk



$$I = \frac{ml^2}{3}$$

Bir ucunda dönme ekseni bulunan ince bir çubuk

▲ Şekil 9. Düzgün geometrik şekle sahip bir cismin eylemsizlik momenti

Fiziksel büyüklük eylemsizlik momenti ile cisim üzerine etki eden kuvvet momentinin birleşimi şunu verir:

$$M = I\alpha$$

Denklemin vektörel olarak yazımı şu şekildedir:

$$\vec{M} = I\vec{\alpha}$$

dönme hareketinin dinamiğinin temel yasasını temsil eder.

Kuvvet momenti, cismin yaşadığı eylemsizlik momenti ile açısal ivmenin çarpımıdır.

iki veya daha fazla kuvvet veya iki veya daha fazla kuvvet momenti etki ediyorsa dinamik yasası şu şekilde yazılır:

$$\vec{M}_1 + \vec{M}_2 + ...\vec{M}_n = I\vec{\alpha}$$

Çözülmüş örnek 2:

Şekil 10'da gösterildiği gibi, düzensiz bir şekle sahip bir cisim üzerine iki kuvvet etki etmektedir: $F_1 = 10$ N ve $F_1 = 12$ N. Kol uzunlukları $d_1 = 80$ cm ve $d_2 = 60$ cm. Cismin $\alpha = 10$ rad/s açısal ivme kazanması durumunda eylemsizlik momentini hesaplayınız .

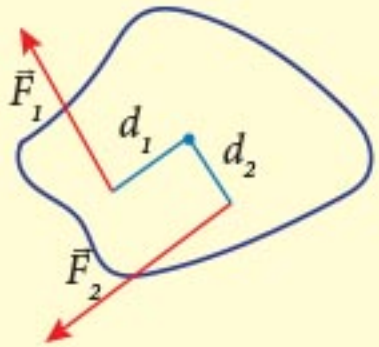
Verilen:

$F_1 = 10$ N; $F_1 = 12$ N

$d_1 = 80$ cm $= 0{,}8$ m

$d_2 = 100$ cm $= 1$ m

$\alpha = 10 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$



▲ Şekil 10. Rijit bir cismin dönmesine neden olan kuvvetlerin diyagramı

İstenilen:

$I = ?$

Çözüm:

$\vec{M}_1 + \vec{M}_2 = I\vec{\alpha}$

Dönme hareketinin dinamiğinin temel yasası yazılmıştır.

$-M_1 - M_2 = -I^{\alpha}$

Skaler denklemi yazılmıştır. Kuvvet momentleri, saat yönünde dönmeye neden oldukları için eksi işaretlidir. Açısal ivmenin işareti de aynıdır.

$M_1 + M_2 = I^{\alpha}$

$F_1 d_1 + F_2 d_2 = I^{\alpha}$

Sol ve sağ taraflar -1 ile çarpılır ve kuvvetlerin momentleri, kuvvetler ve kollar ile değiştirilir.

$$I = \frac{F_1 d_1 + F_2 d_2}{\alpha}$$

$$I = \frac{10\,\text{N} \cdot 0{,}8\,\text{m} + 12\,\text{N} \cdot 1\text{m}}{10\,\frac{\text{rad}}{\text{s}^2}} = 2\,\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$$

Denklemin sol tarafında eylemsizlik momenti yalnız bırakılır ve problemin koşullarında verilen büyüklüklerin değerleri yerine konur.

Çözülmüş örnek 2:

Kütlesi $m = 0{,}2$ kg olan bir ağırlık, yarıçapı $R = 0{,}2$ m ve eylemsizlik momenti $I = 0{,}4\ \text{kg}\cdot\text{m}^2$ olan bir makaradan geçen bir ipe asılmıştır. Durgun halden serbest bırakılan ağırlık, dikey olarak aşağı doğru hareket etmeye başlar. İpin kütlesi ihmal edilsin

a) Makaranın açısal ivmesini hesaplayınız .
b) $s = 2$ m'lik yolu kat etmesi ne kadar zaman alır ?

Verilen:

$m = 0{,}2$ kg; $R = 0{,}2$ m; $I = 0{,}4\ \text{kg} \cdot \text{m}^2$; $s = 2$ m; $g = 9{,}81\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$

İstenilen :

a) $\alpha = ?$ b) $t = ?$

Çözüm:

a) Makara-ağırlık sistemi iki şekilde hareket gerçekleştirir: Makaranın belirli bir eksen etrafında dönme hareketi ve ağırlığın doğrusal öteleme (translasyon) hareketi.

$$\vec{P} + \vec{F}_z = m\vec{a}$$
$$\vec{M} = I\vec{\alpha}$$

Ağırlığın ve makaralı sistemin hareketini tanımlayan öteleme ve dönme hareketinin dinamiğine ait temel denklemleri yazıyoruz.

$$y : P - F_z = ma$$
$$mg - F_z = ma$$

Dikey olarak yukarıyı doğru giden dikey bir y ekseni seçilir ve ağırlığın hareketini tanımlayan denklemin bir izdüşümü yapılır.

$$M = I\alpha$$
$$F_z R = I\alpha$$

Makaraya etki eden kuvvetin momenti ve makarada oluşan açısal ivme, makara saat yönüne zıt yönden döndüğünden dolayı pozitif yöne sahiptir ki bu yönü pozitif yön olarak tanımlarız.

$mg - F_z = m\alpha R$

Doğrusal ivme a, $a = \alpha R$ denklemiyle açısal ivme α aracılığıyla ifade edilir ve $mg - F_z = ma$ denklemi ile yer değiştirir.

$F_z = m\alpha R + mg$

$(mg - m\alpha R)R = I\alpha$

$mgR - m\alpha R^2 = I\alpha$

Son denklemden F_z ifadesi, $F_z R = I\alpha$ ifadesi il eyer değiştirir

$-m\alpha R^2 - I\alpha = -mgR/(-1)$

$m\alpha R^2 + I\alpha = mgR$

Açısal ivmeyi içeren terimler denklemin sol tarafına, geri kalan terimler ise denklemin sağ tarafına yazılır.

$\alpha(mR^2 + I) = mgR$

$$\alpha = \frac{mgR}{mR^2 + I}$$

$$\alpha = \frac{0{,}2\ \text{kg} \cdot 9{,}81\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\ 0{,}4\ \text{m}}{0{,}2\ \text{kg} \cdot (0{,}4\ \text{m})^2 + 0{,}4\ \text{kg m}^2} = 1{,}82\ \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

b) Kütlesi m olan ağırlık düzgün hızlanan doğrusal hareket yapmaktadır. Hareket süresini hesaplamak için, düzgün hızlanan hareket için yol denklemini kullanacağız.

$$s = \frac{at^2}{2} \quad at^2 = 2s \quad t^2 = \frac{2s}{a} \quad t = \sqrt{\frac{2s}{a}}$$

$$t = \sqrt{\frac{2s}{\alpha R}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0{,}2\ \text{m}}{1{,}82\ \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \cdot 0{,}4\ \text{m}}} = 0{,}74\ \text{s}$$

Doğrusal ivme için $a = \alpha R$ ifadesi değiştirilir

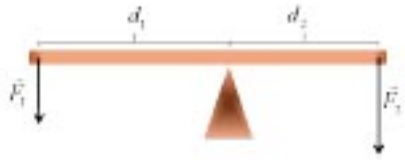
Günlük hayattaki birçok durumda, dönme kuvveti istenmeyen bir durumdur. Çatının devrilmesini, kapının rüzgarda kendiliğinden açılmasını, direğin elektrik kablolarının ağırlığı altında çökmesini veya bir çocuğun aniden zıplaması durumunda çocuk salıncağının devrilmesini istemeyiz.

Böyle durumlarda vücudun dengede kalması, sadece yerinde kalması değil, aynı zamanda dönmemesi de önemlidir.

Belirli bir eksen etrafında dönebilen bir cisim birden fazla kuvvetin etkisi altındaysa ve cisim hareketsiz kalıyorsa, üzerine etki eden kuvvetlerin momentlerinin toplamı sıfıra eşittir. Böyle bir cismin **statik dengede olduğu söylenir.**

$$\vec{M}_1 + \vec{M}_2 + \vec{M}_3 + ... + \vec{M}_n = 0$$

etrafında dönebilen ve aynı doğru üzerinde bulunan iki paralel kuvvetin etkisi altında olan rijit bir cismi (Şekil 11) ele alalım.



▲ Şekil 11. Kaldıraç

Sabit bir destek noktası etrafında dönebilen rijit cisimlere kaldıraç denir.

Şekil 11'deki cisim hareketsizdir, yani kuvvetlerin momentlerinin toplamı sıfıra eşittir.

$$\vec{M}_1 + \vec{M}_2 = 0$$

Kuvvet momentlerinden birini denklemin sol tarafına kaydırarak, aşağıdakini elde ederiz:

$$\vec{M}_1 = -\vec{M}_2$$

$\vec{M}_2$ kuvvet momentinin önündeki eksi işareti, cismin hareketsiz olabilmesi için iki kuvvet momentinin zıt yönlerde etki etmesi gerektiğini anlatır.

Kuvvet momentleri için tanımlayıcı ifadeleri değiştirerek aşağıdaki denklemi elde ederiz:

$$F_1 d_1 = F_2 d_2$$

Denklemi şu şekilde yazarsak

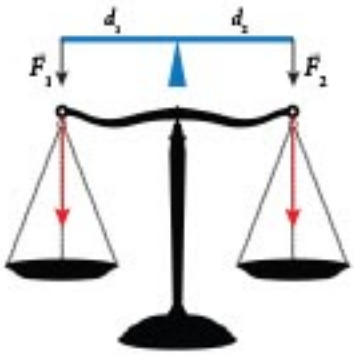
$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{d_2}{d_1}$$

açıkça görülür ki kuvvetlerin oranı, karşılık gelen kuvvet kollarının oranıyla ters orantılıdır. Bu da şunu ifade eder: Eğer kuvvetlerden biri diğerinden büyükse, onun kolu diğer kuvvetin kolundan daha küçük olacaktır; yani

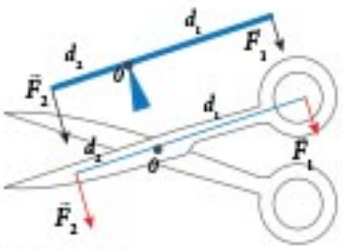
$$F_2 > F_1 \quad d_2 < d_1$$

Bu bağımlılık, dayanak noktasından daha uzak bir mesafe kat ettiğimiz sürece, daha küçük bir kuvvetle çok daha büyük bir kuvveti yenmemizi sağlar. Bu da kaldıraçların geniş ölçüde kullanılmasını sağlamıştır. Kaldıraç, insan yapımı pek çok karmaşık aygıt ve mekanizmanın

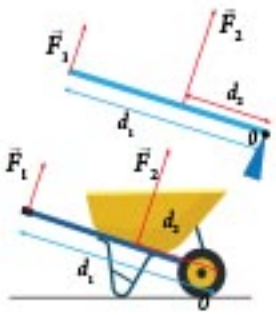
temelini oluşturur ve canlılar aleminde de bulunur; örneğin hayvanlarda hareket (lokomotor) sisteminin düzgün çalışmasını sağlar.



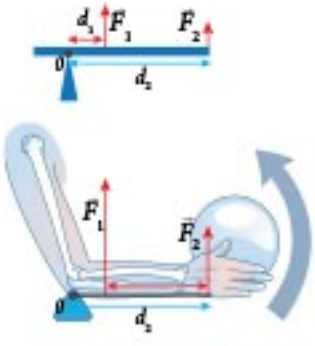
▲ Şekil 12. Terazi



▲ Şekil 13. Makas



▲ Şekil 14. Tek tekerlekli el arabası



▲ Şekil 15. Yükün elle kaldırılması

Daha fazla bilmek istersen

Kaldıraçlar, destek noktasının ve etki kuvvetlerinin (etki kuvveti ve üstesinden gelinen kuvvet, yani yükün ağırlığı) karşılıklı konumuna göre iki ayaklı ve tek ayaklı kaldıraçlar olarak ikiye ayrılır.

Çift kollu kaldıraçlarda, dayanak noktası iki kuvvetin arasındadır. Terazi bunun bir örneğidir (Şekil 12). Dayanak noktası, iki kefenin tam ortasında bulunur.

Makas da aynı zamanda çift çubuklu bir kaldıraç işlevi görür. Dayanak noktası, makasın iki parçasını birbirine bağlayan vidadır (Şekil 13). Etki kuvveti, esasen kolun kollardan birine uyguladığı kuvvettir ve yükün üstesinden gelme kuvveti, kesilen malzemenin bastırıldığı kuvvettir.

Tek kollu kaldıraçlarda, yüke etki eden kuvvet, dayanak noktasının aynı tarafındadır. Tek kollu kaldıraca örnek olarak tekerlekli bir el arabası verilebilir (Şekil 14). Dayanak noktası ise el arabasının tekerleğidir. Kollara etki eden kuvvet $\vec{F}_1$ ve yükün kuvveti $\vec{F}_2$, kaldıracın aynı tarafındadır.

Kaldıraçlar, kullanım alanlarına ve işlevlerine göre kuvvet kaldıraçları ve hız kaldıraçları olarak ikiye ayrılır.

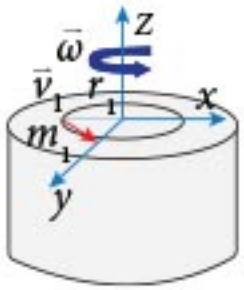
Kuvvet kaldıraçlarında, etki kuvvetinin kolu, yük kuvvetinin kolundan büyüktür. Bu, daha büyük bir yükün daha az kuvvetle kontrol edileceği anlamına gelir. Örneğin, tekerlekli bir el arabası (Şekil 14).

Hız kaldıraçlarında, etki kuvveti kolu yük kuvveti kolundan daha küçüktür. Bu durumda, daha küçük bir yük kuvvetini aşmak için daha büyük bir kuvvet uygulanmalıdır. Bu tür kaldıraçlarda, yük kuvvetinin uygulama noktası, etki kuvvetinin uygulama noktasından daha hızlı hareket eder. Bu, vücudun belirli bir bölümünün daha hassas ve hızlı hareket etmesini sağlar. İnsan kolu, tek kollu bir hız kaldıracının tipik bir örneğidir (Şekil 15).

Etki kuvveti, kolun biseps kasının kuvvetidir. Dayanak noktası dirsek eklemindedir ve yükün kuvvetinin etki noktası avuç içindedir. Bu tür kaldıraçlar, karmaşık ve koordineli hareketler için önemli olan kolun daha hızlı ve daha hassas hareket etmesini sağlar.

Açısal Momentum

Sara ve Marko artistik buz patini yarışmasını izliyor. Gösterinin en ilgi çekici noktalarından biri, artistik patencilerin yaptığı piruettir. İkisi de, patencinin kol ve bacaklarının düzenini değiştirdiğinde, dönmenin açısal hızının da değiştiğini fark eder. Kolların ve bacakların farklı yerleşimi, patencinin eylemsizlik momentinin de farklı olması demektir. Dönmekte olan cisimlerde eylemsizlik momenti ile açısal hız arasındaki ilişki açık ve net. Dolayısıyla, bu iki niceliği birbirine bağlayacak yeni bir nicelik ortaya koyma ihtiyacı doğuyor.



▲ Şekil 16. Saat ibresinin hareket yönüne zıt yönden dönen rijit bir cisim

Rijit bir cisim m_1 kütleli maddesel bir noktasını (Şekil 16) ele alalım. Bu nokta belirli bir doğrusal hız v_1, ile dairesel bir yörünge çizer ve dolayısıyla belirli bir momentum p_1 sahiptir.

Denklemin sol ve sağ taraflarını noktasal parçanın kütlesiyle çarpalım:

$$v_1 = r_1\omega \;/\cdot m$$

$$m_1 v_1 = m_1 r_1 \omega$$

Kütle ve hızın çarpımı parçacığın momentumunu temsil eder ve şu şekilde yazılır:

$$p_1 = m r_1 \omega$$

Denklemin her iki tarafı, nokta kısmı ile dönme merkezi arasındaki mesafe ile çarpılır.

$$p_1 = m_1 r_1 \omega \;/\cdot r_1$$

$$p_1 r_1 = m_1 r_1^2 \omega$$

p_1 ile mesafe r_1 çarpımı yeni bir fiziksel büyüklüktür - maddi noktanın dönme ekseni etrafındaki **açısal momentum** L.

$$L_1 = p_1 r_1$$

Denklemin sağ tarafındaki ifadede, $m_1 r_1^2$ çarpımı aslında cismin nokta kısmının eylemsizlik momentidir – I ::

$$L_1 = I_1 \omega$$

Dönen bir cismin toplam açısal momentumunu hesaplamak için, cismi oluşturan katı parçaların açısal momentumlarını toplamamız gerekir:

$$L = \sum_{i=1}^{n} L_i = \sum_{i=1}^{n} I_i \omega$$

$$L = I\omega$$

vektörel formda yazıldığında:

$$\vec{L} = I\vec{\omega}$$

Rijit bir cismin belirli bir dönme ekseni etrafındaki açısal momentumu vektörel bir niceliktir ve cismin eylemsizlik momenti ile açısal hızının çarpımına eşittir..

SI'da temel birim $\mathbf{kg\frac{m^2}{s}}$

Çözülmüş örnek 3:

Atomun gezegensel modeline göre, kütlesi $m = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg olan bir elektron yarıçapı $r = 5{,}29 \cdot 10^{-11}$ m olan bir hidrojen atomunun yörüngesinde dönmektedir. Elektronun hızı $v_1 = 2{,}19 \cdot 10^6$ m/s'dir. Model, Güneş etrefında gezegenlerin yörüngesel hareketine benzetildiği için gezegensel olarak adlandırılmıştır. .Örneğin Dünya, Güneş etrafında ortalama v_2=29,8 km/s, $r_2 = 1{,}5 \cdot 10^{11}$ mortalama mesafeyle döner. Dünya'nın kütlesi yaklaşık $m_2 = 5{,}97 \cdot 10^{24}$ kg olarak alınsın. Elektronun ve Dünya gezegeninin yörüngesel açısal momentlerini hesaplayınız ve karşılaştırınız.

Verilen:

$m_1 = 9{,}81 \cdot 10^{-31}$ kg; $r_1 = 5{,}29 \cdot 10^{-11}$ m; $v_1 = 2{,}19 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$;

$v_2 = 29{,}8 \frac{\text{km}}{\text{s}} = 29{,}8 \cdot 10^3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$; $r_2 = 1{,}5 \cdot 10^{11}$ m; $m_2 = 5{,}97 \cdot 10^{24}$ kg

İstenilen:

$\frac{L_1}{L_2} = ?$

Çözüm:

Elektronun ve Dünya'nın açısal momentumlarına ait denklemler yazılır ve verilen niceliklerin değerleri yer değişilir:

$$L_1 = m_1 r_1 v_1 = 9{,}1 \cdot 10^{-31}\ \text{kg} \cdot 2{,}19 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 5{,}29 \cdot 10^{-11}\ \text{m} = 105{,}42 \cdot 10^{-36}\ \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}}$$

$$L_2 = m_2 r_2 v_2 = 5{,}97 \cdot 10^{24}\,\text{kg} \cdot 29{,}8 \cdot 10^{6}\,\frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1{,}5 \cdot 10^{-11}\,\text{m} = 266{,}86 \cdot 10^{41}\,\frac{\text{kg m}^2}{\text{s}}$$

İki açısal momentumun bölünmesiyle aşağıdaki elde edilir:

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{105{,}42 \cdot 10^{41}}{266{,}86 \cdot 10^{-36}} = 0{,}40 \cdot 10^{-77}$$

Hem elektron hem de Dünya dairesel bir yörüngede hareket etse de, Dünya'nın yörüngesel açısal momentumu elektronunkinden muazzam derecede daha büyüktür; tam 10^{77} kat! Bu, 1 ile başlayan ve ardından 77 sıfır gelen bir sayıdır . Bu hareket benzer görünse de, mikro dünya ile makro dünya arasında ne kadar büyük bir fark olduğunu gösterir.

Açısal Momentumun Korunumu Yasası

Piruet yapan artistik buz patencinin örneğini (Şekil 17) bir kez daha ele alalım. Dikey ekseni etrafında döner, kollarını açtığında yavaşlar, aniden birleştirdiğinde ise hızlanır. Bu, gözle görülür herhangi bir dış etki olmadan gerçekleşir. Bir cismi dönme hareketini etkileyen herhangi bir dış kuvvet olmadığında, toplam kuvvet momenti sıfıra eşittir. Dolayısıyla, Newton'un dönme eksenine göre İkinci Dönme Hareketi Yasası'nı ifade eden denklemini göz önünde bulundurarak şu şekilde yazabiliriz:

$$M = \frac{\Delta L}{\Delta t} = 0$$

Kuvvet momentinin sıfır olduğu koşullarda, birim zamandaki açısal momentum değişimi de sıfıra eşittir. Zamanla açısal momentumda bir değişim olmadığından, açısal momentumun zaman boyunca sabit kaldığı sonucu doğal olarak çıkar.

$$\Delta L = 0 \Rightarrow L = const.$$

Son denklem aslında açısal momentumun korunumu yasasını ifade eder.

Bir cisme dış kuvvet momentleri etki etmiyorsa, ya da dış kuvvetlerin bileşke momenti sıfırsa, onun toplam açısal momentumu da sabit kalır.



▲ Şekil 17: Artistik patinajcı bir piruet yapıyor.

Açısal momentum denklemini $L = I\omega$ ile değiştirerek şu şekilde yazabiliriz:

$$I\omega = const.$$

Bu, patencinin kollarını açtığı zamanki momentum anının, kollarını birleştirdiği zamanki momentumuna eşit olduğu anlamına gelir.

$$I_1\omega_1 = I_2\omega_2$$

Denklem şu şekilde de yazılabilir:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1}$$

buradan, açısal momentumların ilgili açısal hızlarla ters orantılı olduğu açıkça görülür.

Patencinin kolları ve bir bacağı vücudundan, yani dönme ekseninden daha uzakta olduğunda, eylemsizlik momenti, kolları katlanmış haldeyken sahip olduğu eylemsizlik momentinden daha büyüktür. Patencinin toplam momentum momentini koruyabilmesi için, eylemsizlik momentini azalttığında, açısal dönme hızı artacaktır. Böylece, artistik patinajdaki en muhteşem hareketlerden birini gerçekleştirmiş olur.

Çözülmüş örnek 4:

50 kg kütleli bir patenci kollarını açarak piruet yapıyor. Bu anda eylemsizlik momenti $I_1 = 3\ \text{kg} \cdot \text{m}^2$ ve açısal $\omega_1 = 2\ \text{rad/s}$. Daha sonra kollarını tekrar vücuduna doğru indiriyor ve eylemsizlik momenti $I_2 = 1\ \text{kg} \cdot \text{m}^2$'ye düşüyor. Ellerini bir araya getirdikten sonra ω_2 açısal hızı nedir? (Kuvvet anları ihmal edilebilir düzeydedir.)

Verilen:

$I_1 = 3\ \text{kg} \cdot \text{m}^2$; $\omega_1 = 2\ \text{rad/s}$; $I_2 = 1\ \text{kg} \cdot \text{m}^2$

İstenilen:

$\omega_2 = ?$

Çözüm:

Patenci için açısal momentumun korunumu yasası yazılır.

$L_1 = L_2$

$$I_1 \omega_1 = I_2 \omega_2$$

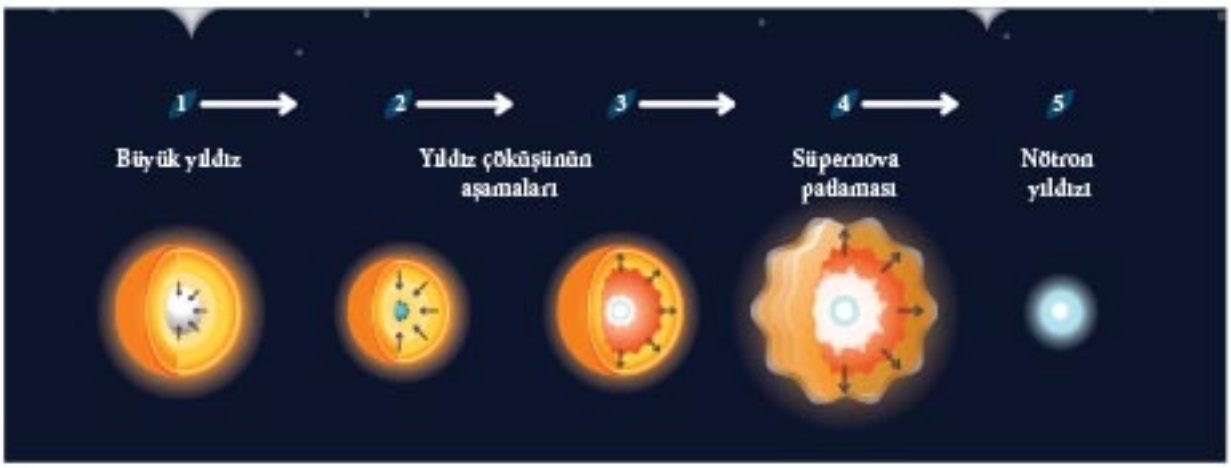
Açısal hız ω için aşağıdakini elde ederiz:

$$\omega_2 = \frac{I_1 \omega_1}{I_2} = \frac{3\ \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot 1 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{2\ \text{kg m}^2} = 1{,}5\ \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Açısal momentumun korunumu yasası, Dünya'da ve Evrende meydana gelen birçok doğal olgunun açıklanmasında uygulama alanı bulmaktadır.

Çözülmüş örnek 5.

Evrende, büyük kütleli yıldızlar evrimlerini tamamladığında (Şekil 18), çekirdekleri çöker ve bir süpernova patlamasıyla dışa püskürür ve geride çok yoğun, küçük ve hızla dönen bir nötron yıldızı bırakır. Yıldız, patlamadan önce nispeten düşük bir açısal hız ve büyük bir eylemsizlik momentiyle döner. Patlamadan sonra yıldızın yarıçapı önemli ölçüde azalır - milyonlarca kilometreden yalnızca birkaç on kilometreye. Sonuç olarak, eylemsizlik momenti önemli ölçüde azalır ve açısal hız ise ani biçimde artar.



▲ Şekil 18. Çöken büyük bir kütleli nötron yıldızı

Açısal momentumun korunumu yasasını kullanarak, yeni oluşan nötron yıldızının dönme açısal hızının, yıldız daha hâlâ kütleli bir yıldızken (çökmeye uğramadan önce) sahip olduğu açısal hıza bağlılığını ifade edebiliriz.

Dıştan bir kuvvet momenti bulunmadığından, şu geçerlidir:

$$L_1 = L_2$$

$$I_1 \omega_1 = I_2 \omega_2$$

Her iki fazda (çökmeden önce ve sonra) yıldız yaklaşık olarak homojen bir küre olarak kabul edilebilir, bu nedenle (Şekil 9'a göre):

$$I_1 = \frac{2}{5} R_1^2 \pi \qquad I_2 = \frac{2}{5} R_2^2 \pi$$

Eylemsizlik momenti ifadelerini denkleme yerleştirerek:

$$\frac{2}{5} R_1^2 \pi \omega_1 = \frac{2}{5} R_2^2 \pi \omega_2$$

Basit şekli:

$$R_1^2 \omega_1 = R_2^2 \omega_2$$

Sonuç olarak:

$$\omega_2 = \omega_1 \frac{R_1^2}{R_2^2} = \omega_1 \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^2$$

Bu denklem, dönüş açısal hızının yarıçapı oranının karesiyle arttığını göstermektedir. Örneğin, bir yıldızın yarıçapı 1 milyon kilometreden yalnızca 10 kilometreye düşerse (ki bu, bir nötron yıldızının oluşumu sırasında gerçek bir durumdur), yarıçapların oranı şu şekildedir olur

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{10^6 \text{ km}}{10 \text{ km}} = 10^5$$

Daha sonra açısal hız artacaktır

$$\omega_2 = 10^{10} \omega_1$$

Böyle bir sonuç, pulsar olarak da bilinen nötron yıldızlarının aşırı hızlı dönüşünü açıklıyor.

Daha Fazla Bilmek İstersen

Steiner Teorisi - Gerçek dünyadaki birçok durumda, rijit bir cisim kendi ekseni (kütle merkezinden geçen eksen) etrafında değil, ona paralel, keyfi bir eksen etrafında döner (örneğin: menteşe etrafında dönen kapı, asılı olduğu nokta etrafından sallanan bir sarkaç, vb.).

Bu gibi durumlarda eylemsizlik momentinin doğrudan ölçülmesi veya hesaplanması zordur. Steiner teoremi, bilinen

atalet momentinin cismin kütle merkezinden herhangi bir paralel eksene kolayca aktarılmasını sağlar. Kütle merkezinden geçmeyen belirli bir eksen etrafından dönen bir cismin toplam atalet momenti şu denklemle bulunur:

$$I = I_0 + md^2$$

Dünya kendi ekseni etrafında döner ve Dünya ile Ay arasındaki çekim etkileşimi gelgitlere neden olur.

Gelgit kuvvetleri nedeniyle Ay, Dünya'nın açısal momentumunun küçük bir kısmını alır ve yılda yaklaşık 3,8 cm hızla Dünya'dan uzaklaşır. Bu, Dünya-Ay sisteminin açısal momentumunun (Şekil 19) korunduğu, yani Dünya'nın daha yavaş döndüğü, yani açısal momentumunun azaldığı ve Ay'ın uzaklaştığı, yani yörüngesel açısal momentumunun arttığı anlamına gelir.



▲ Şekil 19. Fiziksel sistem Yer – Ay

Doğrusal (translasyon) ve dönel (rotasyon) harekette büyüklükler ve yasalar arasındaki benzerlik (analoji)

Mutlak rijit bir cismin sabit bir eksen etrafındaki dönme hareketini tanımlayan denklemleri türetebilmek için, çoğunlukla bir maddesel noktanın doğrusal (translasyon) hareketine ait temel denklemlere başvururuz. Aslında bu sırada, doğrusal hareket denklemleri ile dönme hareketi denklemleri arasında bir analoji kurarız; yani her iki hareket türünde benzer işlev ve matematiksel biçime sahip fiziksel büyüklükler ve yasaları birbirine bağlarız.

Tablo 2'de, doğrusal hareketi ve dönme hareketini tanımlayan fiziksel büyüklükler ve denklemler arasındaki analoji gösterilmiştir. Bu analoji, söz konusu büyüklüklerin fiziksel rollerine ve matematiksel benzerliklerine dayanılarak yapılmıştır.

Maddesel noktanın öteleme hareketi	Mutlak rijit cismin dönme hareketi
Katedilen yol - s	Dönme açısı - θ
Doğrusal hız-v	Açısal hız-ω
Doğrusal ivme - a	Açısal ivme -α
Kütle -m	Atalet momenti -I
Kuvvet - F	Kuvvet momenti - M
Düzgün doğrusal hareket $s = vt \qquad v = const.$	Düzgün dönme hareketi $\theta = \omega t \qquad \omega = const.$
Sabit ivmeli doğrusal hareket $a = const. \qquad s = v_0 t + \frac{at^2}{2}$	Sabit ivmeli dönme hareketi $\alpha = const. \qquad \theta = \omega_0 t + \frac{\alpha t^2}{2}$
Momentum $p \qquad p = mv$	Açısal momentum $L \qquad L = I\omega$
Newton'un translasyonel hareket için dinamik yasası $F = ma = m\frac{\Delta v}{\Delta t}$	Newton'un rijit cismin dönme hareketi için dinamik yasası $M = I\alpha = I\frac{\Delta \omega}{\Delta t}$
Translasyonel harekette kinetik enerji $E_k = \frac{mv^2}{2}$	Dönme (rotasyonel) hareketinde kinetik enerji $E_k = \frac{I\omega^2}{2}$
İş $\qquad A = Fs$	İş $\qquad A = M\theta$

▲ Tablo 2. Öteleme ve dönme (rotasyonel) hareketindeki nicelikler ve yasalar arasındaki analoji.

Sorular ve Görevler:

1. Kapı kolu neden her zaman menteşelerden uzakta konulur?
2. Küçük bir anahtarla bir vidayı gevşetemiyorsan, uzatma olarak bir boru kullanabilirsiniz . Bunun neden işe yaradığını açıklayın!
3. Bir astronot uzaydayken, vidayı bir yöne doğru fırlatırsa vida kendi kendine dönmeye başlar mı? Açıklayınız.
4. Uzunluğu $l = 10\,\text{ml}$ olan ve ortasından geçen bir eksen etrafında dönen bir kirişin uçlarına, büyüklükleri eşit fakat yönleri zıt iki kuvvet etki etmektedir. Toplam kuvvet momentini hesaplayınız.
5. $R = 0{,}2$ m ve eylemsizlik momenti $I = 0{,}4\ \text{kg} \cdot \text{m}^2$ olan bir makaraya sarılı bir ipin ucuna kütlesi $m = 0{,}2$ kg. olan bir ağırlık asılmıştır. Cisim serbest bırakıldığında ipi çekerek düşmeye başlar ve makarayı döndürür. (İpin kütlesini ve sürtünmeyi ele alma.)

   a) Eğer cisim $t = 2{,}4$ s sürede $s = 2$ m yol alıyorsa, makaranın α açısal ivmesini hesaplayınız.

   b) Ağırlığın kazandığı doğrusal ivme a'yı ve gerilmiş ipin kuvveti F_g i belirleyiniz.
6. Bir artistik patenci kollarını vücuduna bitişik tutarak piruet yapmaktadır. Bir anda kollarını dışarı açtığında açısal hızı dört kat azalır ve eylemsizlik momenti $\Delta I = 12\ \text{kg} \cdot \text{m}^2$ kadar artar. Başlangıç eylemsizlik momenti I_1'i hesaplayınız.
7. Physics: Rotational Inertia Lab Rotational Inertia Lab (https://phet.colorado.edu/en/simulations/torque) simülasyonunu kullanarak, Silindirik Kabuk (Cylindrical Shell) için kuvvetin kol uzunluğunun tersine bağlılık grafiğini çiz: $F = F\left(\frac{1}{r}\right)$. Grafiği oluşturmak için, beş farklı kol uzunluğu için en az beş uygulanan kuvvet değeri kullan. Dikkat et, her ölçümde açısal ivme aynı olmalıdır. Elde edilen doğrunun eğim katsayısını belirle ve bunun gerçekte neyi temsil ettiğini açıkla.



Özet:

- Nasıl hareket ederse etsin, tüm noktaları arasındaki mesafe değişmeyen cisim mutlak rijit cisim olarak adlandırılır.
- **Kuvvet momenti,** vektörel bir fiziksel büyüklüktür; büyüklüğü, kuvvet F ile kuvvet kolu d'nin çarpımına eşittir. Kuvvet kolu, dönme ekseni ile kuvvetin etki doğrultusu arasındaki en kısa uzaklık olarak tanımlanır.

  $M = Fd$

- Birbirini belirli bir uzaklıkta etki eden, eşit şiddette ve zıt yönlü iki paralel kuvvetten oluşan sisteme kuvvet çifti denir.
- Kuvvet çiftinin momenti, çifti oluşturan kuvvetlerden birinin büyüklüğü ile bu kuvvetlerin etki noktaları arasındaki uzaklığın çarpımına eşittir.

$$M_s = Fd \;\; ; \;\; F_1 = F_2 = F$$

- Belirli bir dönme eksenine göre bir maddesel noktanın eylemsizlik momenti I, aşağıdaki denklemle verilir:

$$I = mr^2$$

- Kuvvet momenti, cismin yaşadığı eylemsizlik momenti ile açısal ivmenin çarpımıdır

$$\vec{M} = I\vec{\alpha}$$

Sabit bir destek noktası etrafında dönebilen rijit cisimlere kaldıraç denir.

- Bir cismin, verilen bir dönme eksenine göre tanımlanan açısal momentumu vektörel bir büyüklüktür ve cismin eylemsizlik momenti ile açısal hızının çarpımına eşittir.

$$\vec{L} = I\vec{\omega}$$

- Bir cisme dış kuvvet momentleri etki etmiyorsa ya da dış kuvvetlerin bileşke momenti sıfırsa, cismin toplam açısal momentumu sabit kalır.

$$\Delta L = 0 \Rightarrow L = const.$$

Konu 2 NE KADAR ÖĞRENDİĞİNİ KONTROL ET

1. Aşağıdaki durumlardan biri imkansızdır. Hangisi?
   a) a) Hız vektörü batıya, ivme vektörü doğuya doğru yönelir.
   b) Hız vektörü ve ivme vektörü batıya doğru yönelmiştir.
   c) Cismin hızı değişken, ivmesi ise sabittir.
   ç) Cismin sabit bir hızı ve değişken bir ivmesi vardır.

2. İvme, cismin hareket yönüne zıt yönde olduğunda, cismin hızı:
   a) değişmez b) artar
   c) azalır ç) verilen verilerden çıkarılamaz

3. Mark'ın ivmesi 0 m/s^2 olduğundan şunu söyleyebiliriz :
   a) hareket etmez b) yer değiştirmesi 0'dır
   c) hızını değiştirmez ç) yukarıdakilerden hiçbiri

4. İvme vektörünün yönü şu şekildedir:
   a) hız vektörü
   b) değişken hızın vektörü
   c) yer değiştirme vektörü
   ç) zıt hız vektörü

5. Doğru ifadeyi daire içine alınız:
   a) 1 kg'lık telozom, 1 N'luk bir kuvvetin etkisi altında, 9,81 m/s^2'lik bir ivme kazanır
   b) 1 kg kütleli bir cisim, 1 N'luk bir kuvvetin etkisi altında, 1 m/s^2'lik bir ivme kazanır.
   c) 1 g kütleli bir cisim, 1 N'luk bir kuvvetin etkisi altında, 9,81 m/s^2'lik bir ivme kazanır.
   ç) 1 g kütleli bir cisim, 1 N'luk bir kuvvetin etkisi altında, 1 m/s^2'lik bir ivme kazanır .

6. Düzgün ivmeli hareketin özelliği şudur:
   a) ivme yönü veya büyüklüğü değişmez
   b) hız büyüklük olarak değişmez
   c) cisim her saniye daha büyük mesafeler kat eder
   ç) cismin hızı zamanla artar

7. Bir araba sabit bir ivmeyle hareket ediyor. Arabanın hızının zamana bağlı değişimini gösteren herhangi bir grafikten şunları belirleyebiliriz:
   a) arabanın ivmesi
   b) harcanan zaman
   c) arabanın hızı
   ç) kat edilen mesafe, aracın hızı ve ivmesi

8. Darin ve Sara, bir dinamometreyi (zıt taraflardan) 100 N'luk bir kuvvetle gererler. Dinamometre hangi değeri gösterir?
   a) 100 N b) 200 N c) 0 N ç) 50 N

9. Topun vakumda zamana bağlı olarak kazandığı ivme:
   a) değişmez b) azalır,
   c) artar ç) yukarıdakilerden hiçbiri

10. Serbest düşüşte topun kazandığı hız:

a) kütlesine bağlıdır
b) düşme zamanına bağlıdır
c) değişmez
ç) zamanla azalır

11. Serbest düşmeyle ilgili aşağıdaki ifadelerden hangisi doğrudur? Bir top serbest bırakıldığında serbest düşüş gerçekleşir:

a) 9,81 m/s^3 sabit hızla düşer
b) 9,81 m/s^2 sabit ivmeyle düşer
c) topun her saniye kat ettiği mesafe eşittir
ç) topun yaşadığı ivme topun kütlesine bağlıdır

12. Doğru olanı daire içine alın! Dünya'nın yerçekimi:

a) büyük kütleli cisimler üzerinde etki eder
b) dikey olarak yukarı doğru hareket eden cisimlere etki etmez
c) masanın üzerinde bırakılan bir kitaba etki eder
ç) cisim kütlelerinden bağımısızdır

13. Doğru olanı daire içine alın! Bir arabaya etki eden kuvvetler dengedeyse, araba:

a) hareket etmeyecektir
b) sabit bir hızla hareket edecektir
c) ivme kazanmayacaktır (hızlanmayacaktır)
ç) yukarıdakilerden hiçbiri

14. "Bağlı (göreli) durgunluk" kavramının ne anlama geldiğini bir örnekle açıklayınız.

15. Sara'nın yer değiştirmesi sıfır ve kat ettiği mesafe 1 km olabilir mi? Açıklayınız.

16. Ohri ve Struga şehirleri arasındaki mesafeyi bilmek, Ohri şehrinin Struga şehrine göre konumunu belirlemek için yeterli midir? Cevabınızı açıklayınız .

17. Bir cisim düzgün doğrusal hareket ederken hız vektörünün yönünü değiştirip büyüklüğünü değiştirmemesi mümkün müdür? Açıklayınız.

18. Bir topun anlık hızı sıfırdır. Bu, ivmesinin de sıfır olması gerektiği anlamına mı gelir? Açıklayın.

19. Ana ve İva, Mavrovo Gölü çevresinde bisiklet sürüyorlar. Bir noktada Ana, İva'dan daha hızlı hareket ediyor. Bu, Ana'nın daha fazla ivmeye sahip olduğu anlamına mı geliyor? Cevabınızı açıklayın.

20. Bir futbolcu topu dikey olarak yukarıya doğru şut atar. Topun hızına ve ivmesine, şut anından çime düşmesine kadar geçen tüm hareket boyunca ne olduğunu açıkla. Aşağıdakilerin grafiklerini çizin:

a) Topun hızının zaman içindeki değişimi.
b) Topun ivmesinin zaman içindeki değişimi.
c) topun konumunun, şut noktasına göre, zaman içndeki değişimi.
ç) topun zaman içinde kat ettiği yol

21. Paraşütçü paraşütü açtığı anda hızı ve ivmesi ne olur açıklayınız?

22. Düzgün doğrusal hareket eden bir cismin hızı iki katına çıkarsa, aynı yolu kat etmek için gereken süre 10 s azalır. Cismin hareket sürelerini her iki durumda da hesaplayın.

23. Arabanın zamanla bıraktığı yağ damlacıklarına dayanarak, hangi durumlarda arabanın sıfır olmayan bir bileşke kuvvete etki ettiğini belirleyiniz? Açıklayınız.



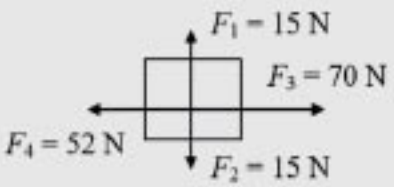
24. Aşağıdaki durumlarda etki ve tepki kuvvetlerini belirleyiniz :

a) top yere düşer
b) Bir adam duvara yumruk atıyor.
c) Futbolcu topu şutluyor
ç) çocuk trambolinde zıplıyor
d) Roket fırlatma rampasından havalanıyor.

25. Bisikletin ön ve arka freni var. Ön freni kullanmak neden önerilmez?

26. Bir insan tökezlediğinde hareket yönüne doğru düşerken, buzda kaydığında hareket yönünün tam tersine düşmesinin nedenini açıklayınız?

27. Şekilde bir cisim üzerindeki kuvvetlerin diyagramı gösterilmektedir. Bileşke kuvvetinin büyüklüğünü, doğrultusunu ve yönünü belirleyin.



28. Keskin viraja giren bir Ferrari aracının sürekli hızını değişmektedir. Sürtünme kuvvetinin virajın hangi kısmında en fazla olacağını açıklayın.

29. Hızla hareket eden bir top, normal hareketsiz bir duvara çarpıyor. Çarpışmadan sonra topun hızının doğrultusunu, yönünü ve büyüklüğünü nasıl belirlersin? Çarpışmanın ideal elastik olduğunu Kabul et.

30. Bir cismin kütlesi diğer bir cismin kütlesinin üç katıdır. Cisimlerin momentumlarının aynı kalması için hızlarının oranı nasıl olmalıdır?

31. Üç cisim izole bir sistem oluşturur. Üç cisim için momentumun korunumu yasasını nasıl tanımlarsınız?

32. Serbest düşen bir cismin ağırlığıyla ve kütlesiyle ne olur?

33. Bir astronotun uzay aracında neden süzüldüğünü açıkla ve bu koşullarda ağırlığı nedir.

34. Venüs ve Dünya gezegenlerinin Güneş ile aralarındaki kütleçekim kuvvetlerini karşılaştır. Bunu hangi parametrelere göre ve nasıl belirleyebilirsin?

35. Dünya'nın yarıçapının Mars gezegeninin yarıçapından 2 kat büyük, Mars'ın kütlesinin ise Dünya'nın kütlesinden 10 kat küçük olduğunu göz önünde bulundurarak, Dünya'nın bir cisme uyguladığı kütleçekim kuvvetinin, Mars ile aynı cisim arasındaki kütleçekim kuvvetinden kaç kat daha büyük ya da daha küçük olduğunu hesapla.

36. Ekvator üzerindeki cisimlerin ağırlığının olmaması için Dünya'daki gündüz ve gecenin ne kadar sürmesi gerekir?

37. Aşağıdaki durumlardan hangisinde dönme ekseni üzerindeki kuvvet momenti en fazla artar?

a) Bir tamirci, bir vidayı sökmeye çalışırken anahtarı vidaya çok yakın yerde tutar.
b) Bir kaleci, kolları uzatılmış şekilde topu tam karşısında yakalar.
c) Bir öğrenci, bir sandalyeyi kenarından belirli bir açıyla iterek döndürmeye çalışır.
ç) Bir çocuk, atlıkarıncayı dönme ekseninden en uzak noktadan, ona dik yönde iter.

38. Aşağıdaki örneklerden hangisi açısal momentumun korunumu yasasını en iyi şekilde açıklar?

a) Uzay istasyonundaki bir astronot anahtarı bir yöne doğru fırlattığında anahtar zıt yöne dönmeye başlar.
b) Kamyon aniden fren yapar ve yavaşlar.
c) Bir çocuk bir futbol topuna vurur ve top kendi ekseni etrafında dönmeye başlar .
ç) Roket yakıtı bitene kadar düz bir çizgide hareket eder

39. Uzayda dönen bir astronot, hiçbir dış kuvvet olmamasına rağmen neden yalnızca kollarını ya da bacaklarını gövdesine doğru çekip açarak açısal hızını değiştirebilir?

40. Kütlesi 2 kg ve yarıçapı 0,3 m olan bir tekerlek kendi ekseni etrafında dönmektedir. Tekerleğin eylemsizlik momenti aşağıdaki formülle bulunur.

41. Tekerlek açısal hızla dönüyorsa, hesaplayın

a) tekerleğin eylemsizlik momenti
b) tekerleğin açısal momentumu
c) açısal hız iki katına çıkarsa açısal momentum nasıl değişir?

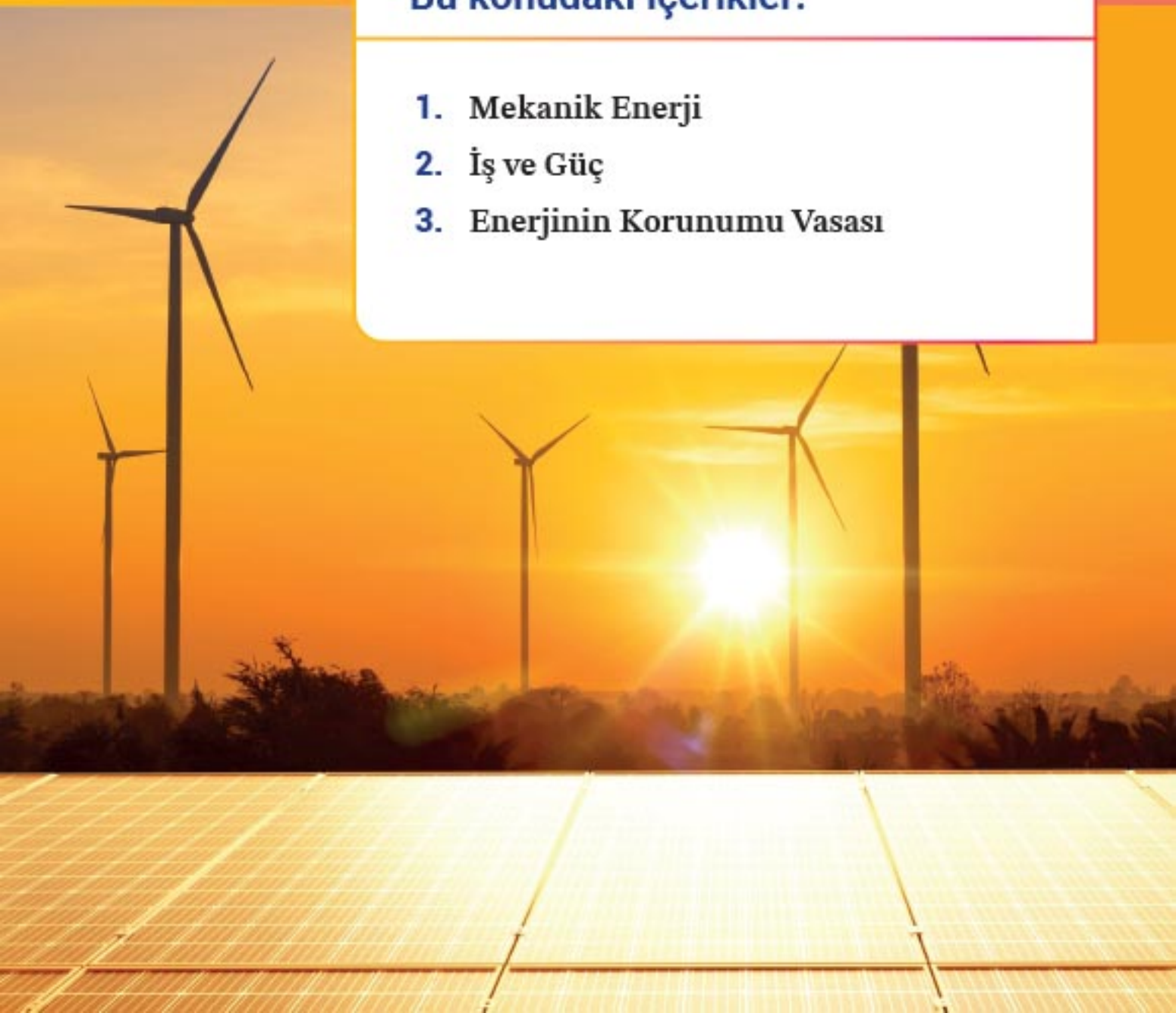
42. Dönebilen bir sandalyede oturan bir öğrenci, elinde ağırlıklar tutarak bir açısal hızla dönmektedir. Kollarını açtığında, öğrencinin eylemsizlik momenti 2 katına çıkmakta ve açısal hızı 6 rad/s azalmaktadır. Öğrencinin başlangıçtaki açısal hızını hesaplayınız.

Konu 3

ENERJİ

Bu konudaki içerikler:

1. Mekanik Enerji
2. İş ve Güç
3. Enerjinin Korunumu Vasası



Önceki konumuzda, cisimlerin hareketini ve bu hareketin nedenlerini, her gün karşılaştığınız durumlara kolayca uygulanabilecek yasalarla açıklamıştık. Ancak bazı fiziksel problemler o kadar basit değildir ve Newton yasalarıyla çözülmesi daha zordur. Buna bir örnek, cisimlerin karmaşık bir yörüngede hareket etmesidir. Bu durumda, enerjinin korunumu yasasını kullanmak daha kolaydır.

Bu bölümde, fiziksel büyüklük olan enerjinin yanı sıra enerjinin korunumu yasasını da öğreneceksiniz. Enerjinin korunumu yasası evrensel bir yasadır: hem nükleer fiziğin incelediği olgulara hem de evrendeki hareketlere uygulanır.

Amaç:

- Cismin sahip olduğu enerjiyi tanımlamak.
- Enerjinin bir formdan diğerine nasıl dönüştüğünü ve iş yaparken bir cisimden diğerine nasıl aktarıldığını açıklamak.
- Enerjinin korunumu yasasını gerçek dünya durumlarına göre uygulamak.
- Günlük yaşamda enerjinin verimli kullanılmasının önemi konusunda farkındalık oluşturmak.



3.1 Mekanik Enerji



▲ Şekil 1. Rüzgar türbinleri ve güneş panelleri

Günlük yaşamda hareketle sıkça karşılaşırız: biz insanlar hareket ederiz, şut vurduktan sonra futbol topu hareket eder, arabalar hareket eder vb.

Tüm bu etkinlikler için enerji gereklidir. İnsan bu enerjiyi, kimyasal enerji depolanmış olan besinlerden elde eder. Futbolcu, şut sırasında enerjisinin bir bölümünü futbol topuna aktarır. İçten yanmalı motorlarda kullanılan yakıt da depolanmış kimyasal enerjiye sahiptir. Yakıt yandığında, bu kimyasal enerji ısı enerjisine, o da sonunda mekanik enerjiye dönüşür. Rüzgâr ve güneş enerjisi, rüzgâr türbinleri ve güneş panelleri (Şekil 1) aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülür; bu enerjiyi daha sonra evlerimizde kullanabiliriz. Bu örneklerden, enerjinin bir biçimden başka bir biçime kolayca geçebildiği sonucuna varabiliriz.

Enerjinin birimi joule'dür (J).

Bu konuda yalnızca mekanik enerji üzerinde duracağız .

Hareket, konum ve deformasyonun sonucu olarak cisimlerin sahip olduğu enerjiye **mekanik enerji** denir.

İki çeşit mekanik enerji var: **kinetik** ve **potansiyel enerji** olmak üzere iki türü vardır. Bunlar birbirine kolayca dönüşür.

Kinetik Enerji

Bir futbolcu topa vurduğunda enerjisinin bir kısmını topa aktarır ve bu da topun enerji kazanıp hareket etmesini sağlar.

Mareket eden bir cismin sahip olduğu enerjiye **kinetik enerji** denir.

Cisimlerin sahip olduğu kinetik enerji, kütlelerine ve hareket ettikleri hızın karesine bağlıdır ve şu formülle hesaplanır:

$$E_k = \frac{mv^2}{2},$$

yukarıdaki formülde m cismin kütlesi, v ise hızıdır.

Çözülmüş örnek 1:

İki kamyondan biri diğerinin yarısı kadar kütleye sahip olmasına rağmen iki kat daha hızlı hareket ediyor. Hangi kamyonun kinetik enerjisi daha fazla ve bu enerji diğer kamyonun enerjisinden kaç kat daha fazladır?

Verilen:

$m_2 = \frac{m_1}{2}$; $v_2 \quad 2v_1$

İstenilen:

$\frac{E_{k1}}{E_{k2}} = ?$

Çözüm:

$$\frac{E_{k1}}{E_{k2}} = \frac{\frac{m_1 v_1^2}{2}}{\frac{m_2 v_2^2}{2}} = \frac{m_1 v_1^2}{\frac{m_1}{2}(2v_1)^2} = \frac{2m_1 v_1^2}{4m_1 v_1^2} = \frac{1}{2} \qquad E_{k2} = 2E_{k1}$$

Bundan, kütlesi ve hızı iki kat fazla olan bir kamyonun kinetik enerjisinin de iki kat fazla olduğu sonucu çıkar.

Potansiyel Enerji

Eğer futbol topunu elimize alıp belli bir yüksekliğe kaldırırsak, ona enerjimizin bir kısmını aktarmış oluruz. Hareket hâlindeki toptan farklı olarak, belirli bir yükseklikte duran top kinetik enerjiye sahip değildir. Ancak bu topun harekete başlama potansiyeli vardır. Topu bırakırsak hareket etmeye başlar. Bu, belirli bir yükseklikte bulunduğunda **potansiyel enerji** adı verilen, depolanmış bir enerjiye sahip olduğu anlamına gelir.

Deforme olmuş bir yay da hareket etme potansiyeline sahiptir. Örneğin yayı sıkıştırırsak, sıkıştırma sırasında ona enerjimizin bir kısmını aktarırız. Yayı serbest bıraktığımızda hareket etmeye, yani salınım yapmaya başlar. Demek ki deforme olmuş yay da potansiyel enerjiye sahiptir. Önceki iki örnek, potansiyel enerjinin sistemdeki cisimlerin konumuyla ilişkili olduğunu göstermektedir.

Potansiyel enerji, bir cismin kütle çekimi alanındaki konumundan veya deforme olmuş halinden dolayı sahip olduğu enerjidir.

Yerçekimi potansiyel enerjisi

Dünya'ya göre belirli bir yüksekliğe kaldırıldığında hareket etme potansiyeline sahip olan bir cismin sahip olduğu enerjiye **kütle çekim potansiyel enerjisi** denir.

Kütle çekim potansiyel enerjisi, cismin Dünya'nın yerçekimi alanındaki konumuna bağlıdır ve aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$E_p = mgh$$

öyle ki m cismin kütlesi, h cismin Dünya yüzeyine göre kat ettiği yükseklik ve g yerçekimi ivmesidir.

Potansiyel enerji, cismin kütlesine, yerçekimi ivmesine ve kat ettiği yüksekliğe doğru orantılı olarak değişir.

Çözülmüş örnek 2:

Kütlesi 800 g olan bir avize, binanın birinci katındaki bir odanın tavanına asılmıştır. Odanın tabanından tavana olan uzaklık 3 m'dir ve odanın tabanı, yer yüzeyine göre 4 m yüksekliktedir.

Avizenin potansiyel enerjisini belirleyin:
a) Odanın tabanına göre.
b) Yeryüzü yüzeyine göre.

Verilen:

$m = 800\ \text{g} = 0{,}8\ \text{kg}$; $h_1 = 3\ \text{m}$; $h_2 = h_1 + 4\ \text{m} = 7\ \text{m}$

İstenilen:

$E_{p1} = ?$; $E_{p2} = ?$

Çözüm:

a) Avizenin, odanın tabanına göre potansiyel enerjisi nedir?

$$E_{p1} = mgh_1 = 0{,}8\text{kg} \cdot 9{,}81\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 3\text{m} = 23{,}5\,\text{J}$$

b) Avizenin, yeryüzü yüzeyine göre potansiyel enerjisi nedir?

$$E_{p2} = mgh_2 = 0,8\text{kg} \cdot 9,81\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 7\,\text{m} = 54,9\,\text{J}$$

Önceki örnekten, potansiyel enerjinin referans yüzeyinin seçimine bağlı olduğu sonucu çıkarılabilir. Formülde yükseklik görelidir ve duruma göre "sıfır noktası"nı kendimiz seçebiliriz.

Örneğin, bir şelalede potansiyel enerjinin "sıfır" kabul edildiği yer, şelalenin tabanı olabilir (Resim 2).



▲ **Şekil 2.** Şelale. Suyun döküldüğü taban, potansiyel enerjinin sıfır olduğu yerdir; tepe ise maksimum değere sahiptir.

Elastik potansiyel enerji

Bir yay deforme olduğunda, cismi oluşturan moleküller arasındaki mesafe değişir. Normal (deforme olmamış) durumda, moleküller, aralarındaki kuvvetlerin dengelendiği bir denge konumundadır. Bir yay deforme olduğunda ortaya çıkan elastik potansiyel enerji, yayı denge konumuna döndürmeye çalışan yaydaki moleküller arasındaki etkileşimlerin bir sonucu olarak ortaya çıkar (Şekil 3).



▲ **Şekil 3.** Orijinal konumuna geri dönme potansiyeline sahip, harici bir kuvvetin etkisi altındaki bir yay

Deforme olmuş bir yayın sahip olduğu enerjiye esneklik potansiyel enerjisi denir.

Esneklik potansiyel enerjisi aşağıdaki formülle hesaplanır:

$E_p = \frac{k\Delta l^2}{2}$, burada Δl deformasyon strestir ve k-yay elastiklik katsayısı .

Elastik potansiyel enerjisi, elastik bir cismin deformasyonunun karesiyle orantılıdır.

Çözülmüş örnek 3:

Esnek bir yayın uzaması iki katına çıkarılırsa potansiyel enerjisi ne olur?

Verilen:

$$\Delta l_2 = 2\Delta l_1$$

İstenilen:

$$\frac{E_{p2}}{E_{p1}} = ?$$

Çözüm:

$$\frac{E_{p2}}{E_{p1}} = \frac{\frac{k\Delta l_2^2}{2}}{\frac{k\Delta l_1^2}{2}} = \frac{\Delta l_2^2}{\Delta l_1^2} = \frac{(2\Delta l_1)^2}{\Delta l_1^2} = 4$$

çıkan sonuç $E_{p2} = 4E_{p1}$

Çözülmüş örnek 4:

Okçuluk sporunda yay ve ok kullanıldığında enerjinin nasıl dönüştürüldüğünü açıklayın. Nişan alma ve atış sırasında ortaya çıkan ve üretilen enerji türlerini açıklayın.

Cevap:

Kişi, besinlerden aldığı kimyasal enerjiyi, yayı germek için kolunu konumlandırırken mekanik enerjiye dönüştürür. Bu enerjinin bir bölümü, deformasyona uğrayarak elastik potansiyel enerji depolayan yaya aktarılır. Yayın tetiği (kiriş) serbest bırakıldığında, elastik potansiyel enerji okun kinetik enerjisine dönüşür ve ok hareket etmeye başlar.

Daha Fazla Bilmek İstersen:

- Emilie di Chatelet

XVIII. yüzyılda fizik, bugün bildiğimiz anlamda henüz tam olarak gelişmemişti. Enerji, iş ve güç gibi bugün kanıksadığımız birçok kavram henüz tam olarak tanımlanmamıştı. O dönemde, vis viva („canlı kuvvet“) olarak adlandırılan, bir cismin itici kuvvetinin hıza (v) mı yoksa hızın karesine (v^2) mi orantılı olduğu konusunda yoğun bir tartışma vardı. Fransa'daki bilim insanlarının çoğu, Newton'un görüşünü destekledi: momentum (mv), tek önemli fiziksel nicelikti.

Ancak Fransız matematikçi, fizikçi ve filozof Emilie Chatelet, „yaşam kuvvetinin“ mv^2 ile orantılı olduğunu iddia eden Alman fizikçi Gottfried Leibniz'in görüşünü destekledi. Günümüzde bu kuvvet kinetik enerji olarak bilinmektedir. Chatelet, bu iddiayı resmileştirdi ve deneysel sonuçlarla açıklyan ve bunu gösterem ilk bilim insanı oldu

- örneğin, iki kat daha büyük bir hızla düşen bir cismin iki kat değil, dört kat daha fazla darbe aldığını (hızın karesi nedeniyle) anlattı.

1740'larda Emilie de Chatelet, Newton'un "Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica" (Doğa Felsefesinin Matematiksel İlkeleri) adlı eserini Fransızcaya çevirdi; bu temel metnin ilk (ve bugüne kadarki en etkili) çevirisiydi. Ancak sadece bu da değil: yorum ve analizlerinde Newton mekaniğini açıklığa kavuşturdu ve bir cisme etki eden ve onu hareket ettiren kuvvetin cismin enerjisinde nasıl bir artışa veya azalmaya yol açtığını açıkladı.

Sorular ve Görevler:

1. Bir cismin kinetik enerjisi nasıl tanımlanır?
2. Aynı kütleye sahip iki cisimden hangisinin kinetik enerjisi daha büyüktür?
3. Bir yük treninin lokomotifi, üç boş ve üzeri açık yük vagonunlarını çekmektedir. Aniden şiddetli bir yağmur yağmaya başlar. Bu durumda, trenin hızı değişmeden kalırsa kinetik enerjisinin değişip değişmeyeceğini açıklayınız.
4. Bir cismin hızı üç katına çıkarsa kinetik enerjisi ne olur?
5. Bir cismi üç kat yukarı kaldırırsak potansiyel enerjisi nasıl değişir?
6. Aynı cismin Dünya ve Ay üzerinde aynı yüksekliğe yerleştirilmesi durumunda neden aynı kütle çekim potansiyel enerjisine sahip olamayacağını açıklayınız?
7. Bir oksijen molekülünün ortalama hızı $v = 2 \cdot 10^3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$'dir. Kütlesi $m = 51,2 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}$'dır. Ortalama kinetik enerjisini hesaplayınız.
8. Halley Kuyrukluyıldızı'nın hızı $v = 500 \frac{\text{km}}{\text{s}}$, iken, onun enberi noktasındaki kinetik enerjisi $E_k = 275 \cdot 10^{23}\ \text{J}$'dur. Kütlesi nekadar olacak? (Enberi, bir cismin Güneş Sistemi'nde Güneş'e en yakın olduğu konumdur).
9. Everest Dağı'nın zirvesindeki bir tırmanıcının potansiyel enerjisi, deniz seviyesine göre $E_p = 6032,56\ \text{kJ}$'dir. Bu yükseklikteki yerçekimi ivmesi $g = 9,74 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$'dir. Tırmanıcının kütlesi $m = 70\ \text{kg}$ ise, zirvenin yüksekliğini hesaplayın.
10. Esnek bir yay 30 N'luk bir kuvvetin etkisi altında 30 cm sıkıştırılıyor. Sıkıştırılan yayın potansiyel enerjisi nedir?

3.2 İş ve Güç



▲ Şekil 1. Suyun iş yapmasıyla dönen bir değirmen.

Günlük konuşmada iş, bir kişinin yaptığı herhangi bir faaliyeti ifade eder; okumak, yazmak, programlamak, yemek pişirmek, yürümek, kazmak vb.

Mekanik İş

Ancak fizikte **iş teriminin** kesin bir anlamı vardır. Bir kuvvetin bir cismi hareket ettirmesi, iş anlamına gelir.

Örnek

Nehirlerdeki su, değirmenin kanatlarını hareket ettirdiğinde iş yapar (Resim 1).

Hareket halindeki bir top, hareket halindeki başka bir topla çarpıştığında, top üzerinde bir kuvvet oluşur. Bu kuvvetin etkisiyle ikinci top hareket etmeye başladığında iş yapar.

Bu örneklerde, su ve hareket eden top, diğer cisimlerin hareket etmesine neden oldukları için iş yapmaktadır. İş yapabilen cisimlerin enerjiye sahip olması gerekir. Dolayısıyla :

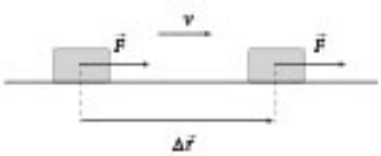
Dikkat:

İş ve enerjinin ölçü birimleri aynıdır! Ancak bunlar yine de iki farklı fiziksel niceliktir.

Cisimlerin enerjisi iş yapabilme yeteneğidir.

Topların çarpışması sırasında, ilk top ikinci top üzerinde F kuvvetiyle etki eder. Bu kuvvet daha sonra topu yerinden hareket ettirir. Dolayısıyla kuvvetin iş yaptığı anlamına gelir.

Bir kuvvetin etkisi altında bir cismin yer değiştirmesi ile bu kuvvetin etkisiyle yapılan işe mekanik iş denir.



▲ Şekil 2. Bir kuvvetin etkisi altında bir cismin yer değiştirmesi

Mekanik iş aşağıdaki formüle göre hesaplanır:

$A = \vec{F}\Delta\vec{r}$, burada $\Delta\vec{r}$ cismin yer değiştirmesidir (Şekil 2).

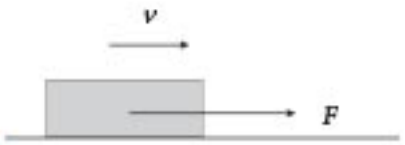
Mekanik işin birimi joule'dur (J). Bir cisim 1 N'luk bir kuvvetin etkisi altında 1 m yol aldığında iş 1 J'dur.

Kuvvetin yaptığı işi birkaç farklı durumda belirleyelim:

A) Bir cismi yüzey boyunca sürüklediğimiz kuvvet ile cismin yer değiştirmesi aynı yönde olduğunda (Şekil 3)

Bu durumda yapılan çalışmaların kayıt altına alınması mümkün olur.

$A = Fs$, burada s kuvvetin etkisi altında kat edilen mesafedir.

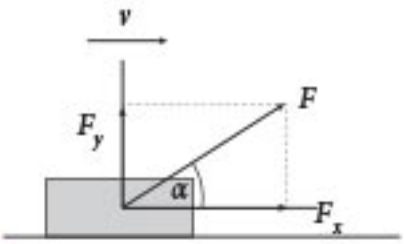


Şekil 3. Cisme yönlendirilmiş bir hareketle etki eden kuvvet .

B) Cismin üzerine etki eden kuvvet, cismin hareket ettiği yüzeyle etkileşime girdiğinde. (Şekil 4)

Bu durumda iş sadece kuvvetin cismin yer değiştirmesine doğru yönelmiş bileşeni (F_x), tarafından yapılır, yani iş

$$A = F_x s = Fs\cos\alpha$$



Şekil 4. Kuvvet, cismin hareket ettiği yüzeyle α açısı yapmaktadır.

Örnek

Kuvvetin harekete göre nasıl yönlendirildiğine bağlı olarak:

i) kuvvetin yaptığı iş eğer pozitif ise

$$0 \le \alpha < 90^0$$

Bir kutuyu zemin üzerinde ittiğimizde, uyguladığımız kuvvet hareketle aynı yöndedir: iş pozitiftir.

ii) kuvvetin yaptığı iş sıfırsa

$\alpha = 90^0$ veya $F = 0$ N

Ay'ı dairesel bir yörüngede tutan kütleçekim kuvveti Dünya'ya doğrudur, yer değiştirme vektörü ise çemberin teğeti boyunca yönelmiştir: iş sıfırdır, çünkü kuvvet ile yer değiştirme arasındaki açı 90°'dir.

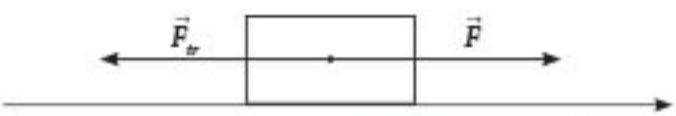
iii) kuvvetin yaptığı iş negatiftir, eğer

$$90^0 < \alpha \le 180^0$$

Kayma sırasındaki sürtünme kuvveti harekete karşı koyar; yapılan iş negatiftir.

Çözülmüş örnek 1:

Yatay bir yüzeye yerleştirilmiş $m = 70$ kg kütleli bir cisim, yüzeye paralel $F = 2000$ N sabit bir kuvvetinin etkisi altındadır. Yüzey boyunca hareket eden cisim, $s = 500$ m yol kat etmektedir. Yüzey ile cisim arasındaki sürtünme katsayısı $\mu = 0{,}1$'dir. Cisim üzerinde etki yapan çekme kuvveti, sürtünme kuvveti ve bileşke kuvvetin yaptığı işi hesaplayınız. Yapılan her iş için pozitif bir değer olup olmadığını belirleyiniz?



Şekil 5. Kuvvet diyagramı

Verilen:

$m = 70\ \text{kg};\quad F = 2000\ \text{N};\quad s = 500\ \text{m};\quad \mu = 0{,}1$

İstenilen:

$A_1 = ?;\quad A_2 = ?;\quad A = ?$

Çözüm:

Çekiş kuvveti F'nin işi aşağıdaki denkleme göre hesaplanır

$$A_1 = Fs\cos\alpha$$

$\cos 0^0 = 1$ dolayısıyla

$$A_1 = Fs\cos 0^0 = F \cdot s = 2000\ \text{N} \cdot 500\ \text{m} = 1000000\ \text{J} = 10^6\ \text{J}$$

Sütünme kuvveti F_{tr}'nin işi için aşağıdakini elde ederiz

$$A_2 = F_{tr} \cdot s \cdot \cos\alpha = F_{tr} \cdot s \cdot \cos\left(180^0\right) = \mu mgs(-1) =$$

$$-0{,}1 \cdot 70\ \text{kg} \cdot 9{,}81\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 500\ \text{m} = -34335\ \text{J}$$

Bir cisme etki eden bileşke kuvvetinin toplam işi, ayrı ayrı kuvvetlerin yaptığı işlerin toplanmasıyla elde edilir.

$$A = A_1 + A_2 = 1000000\ \text{J} - 34335\ \text{J} = 965665\ \text{J}$$



▲ Şekil 6. Bir bowling topu lobutlara çarptığında topun ve lobutların kinetik enerjisinde bir değişiklik olur .

İş ve kinetik enerji

Bowling oynarken top, pinlere çarpar ve bu da hem topun hem de pinlerin hızını değiştirir (Şekil 6). Bu, topun enerjisinin bir kısmını pinlere aktardığı, yani topun kinetik enerjisinin bir kısmının top ile pinler arasındaki etkileşim kuvveti nedeniyle işe gittiği, bir kısmının da pinlerin kinetik enerjisine dönüştüğü anlamına gelir.

Topun m kütleli pine etki ettiği andaki yaptığı işi hesaplayalım.

Topun etkisi altında, m kütleli pin a ivmesi kazanır, yani Newton'un ikinci yasası geçerlidir:

$$F = ma = m\frac{\Delta v}{\Delta t} = m\frac{v_2 - v_1}{\Delta t}$$

Cismin hızı düzgün bir şekilde değişir. Dolayısıyla, kuvvetin etkisi altında cismin kat ettiği mesafe, cismin tüm yol boyunca kat ettiği ortalama hız ile hareket süresinin çarpımı olarak yazılabilir:

$$s = v_{ort}\Delta t = \frac{v_2 + v_1}{2}\Delta t$$

Topun yaptığı iş:

$$A = Fs = mas = m\frac{\Delta v}{\Delta t}s = m\frac{v_2 - v_1}{\Delta t}\frac{v_1 + v_2}{2}\Delta t$$

Böylece, topun yaptığı işten aşağıdaki formülü elde etmiş oluruz:

$$A = \frac{m}{2}(v_2 - v_1)(v_2 + v_1) = \frac{m}{2}(v_2^2 - v_1^2) \text{ veya}$$

$$A = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}$$

Öncesinden de bildiğimiz üzere $\frac{mv_2^2}{2}$ ifadesinin cismin topun etkisinden sonrakinetik enerjisine dönüşüyor, ve $\frac{mv_1^2}{2}$ ifadesinin cismin topun etkisinden önce kinetik enerjisine dönüşüyor. Böylece, topun yaptığı işten de aşağıdaki formülü elde ederiz:

$$A = E_{k2} - E_{k1} = \Delta E_k$$

Yani, topun yaptığı iş, teknein kinetik enerjisindeki değişime eşittir. Ya da topun tekne üzerinde yaptığı iş sonucunda teknenin kinetik enerjisi artar.

Bir cisim üzerine etki eden tüm kuvvetlerin toplam işi, bu kuvvetlerin etkisi altındaki cismin kinetik enerjisindeki değişime eşittir. $A = E_{k2} - E_{k1}$

Çözülmüş örnek 2:

Belirli bir hızda hareket eden araba ve arabanın içinde bulunan sürücü belirli bir kuvvetle frene basıyor, bu yüzden araba belirli bir yerde durmuş oluyor s1. Şimdi, arabanın iki kat daha hızlı hareket ettiğini ve sürücünün frene aynı kuvvetle tekrar bastığını düşünün. Durma mesafesi kaç kat daha uzak olur? Açıklayın!

Cevap:

Bu durumda, iş yapan sürtünme kuvvetidir. Tanım gereği, araç v_1 hızıyla hareket ederken sürtünme kuvvetinin yaptığı iş::

$$A_1 = \Delta E_{k1}$$

$$-F_s s_1 = 0 - \frac{mv_1^2}{2}$$

Araba iki katı hızla hareket ettiğinde, yani $v_2 = 2v_1$, olduğunda, kuvvetin yaptığı iş

$$A_2 = \Delta E_{k2}$$

$$-F_{tr}s_2 = 0 - \frac{mv_2^2}{2} = -\frac{m(2v_1)^2}{2} = 4A_1$$

Sürücünün frene bastığı kuvvet aynı ise, bundan şu sonuç çıkar

$$\frac{s_2}{s_1} = 4 \text{ yani } s_2 = 4s_1$$

Bir aracın başlangıç hızı arttığında, kinetik enerjisi 4 kat artacak ve dolayısıyla aracın tamamen durmadan önce kat edeceği mesafe, öncekinden 4 kat fazla olacaktır. Bu, izin verilen hız sınırının üzerindeki araç hızındaki küçük bir artışın bile hem araç sürücüsü hem de yayalar için feci sonuçlara yol açabilmesinin nedenlerinden biridir.

Çözülmüş örnek 3:

Buzla kaplı bir yol bölümünde, lastikler ile yüzey arasındaki sürtünme katsayısı yarı yarıya azalır. Durma mesafesinin kuru yoldakiyle aynı kalması için aracın hızı kaç kez azaltılmalıdır? Sürücü frene aynı kuvvetle basar.

Cevap:

Bu durumda da işi yapan kuvvet sürtünme kuvvetidir. Sürtünme katsayısı μ için bu iş şu formülle belirlenir:

$$A_1 = \Delta E_{k1}$$

$$-F_{tr1}s = 0 - \frac{mv_1^2}{2}$$

$$-\mu mgs = -\frac{mv_1^2}{2}$$

Arabanın buzlu yolda hareketi sırasında sürtünme katsayısı yarıya düştüğünde $\frac{\mu}{2}$ sürtünme kuvvetinin yaptığı iş de aynı oranda azalır

$$A_2 = \Delta E_{k2}$$

$$-F_{tr2}s = 0 - \frac{mv_2^2}{2}$$

$$-\frac{\mu}{2}mgs = -\frac{mv_2^2}{2}$$

$$\frac{\frac{\mu}{2}mgs}{\mu mgs} = \frac{\frac{mv_2^2}{2}}{\frac{mv_1^2}{2}}$$

Buzlu bir yolda hareket eden bir arabanın hızı şu şekilde verilir:

$$v_2 = \frac{v_1}{\sqrt{2}}$$

Bu nedenle ıslak yol ve buzlu yol koşullarında (Şekil 7), yol boyunca daha yüksek sürüş hızlarına izin veren trafik işaretlerine bakılmaksızın, hızın yol koşullarına göre ayarlanması önerilir.



▲ Şekil 7. Buzlu yolda hareket eden araba

Çözülmüş örnek 4:

Kütlesi $m = 1$ t olan bir otomobil, durgunluktan başlayarak $t = 20$ s sürede $s = 900$ m yol alır. Yolun sonunda otomobilin yaptığı iş ne kadar ve o andaki kinetik enerjisi kaçtır?

Verilen:

$m = 1$ t; $t = 20$ s; $s = 900$ m

İstenilen:

$A = ?$; $E_1 = ?$

Çözüm:

İş denklemi ile düzgün ivmeli doğrusal hareket denklemlerinden yola çıkarak şu elde edilir:

$$A = Fs \qquad F = ma \qquad s = \frac{at^2}{2} \qquad a = \frac{2s}{t^2}$$

$$A = mas = m\frac{2s}{t^2}s = \frac{2ms^2}{t^2} = \frac{2 \cdot 1000\ \text{kg} \cdot (900\ \text{m})^2}{(20\ \text{s})^2} =$$

$$= 4050000\ \text{J}$$

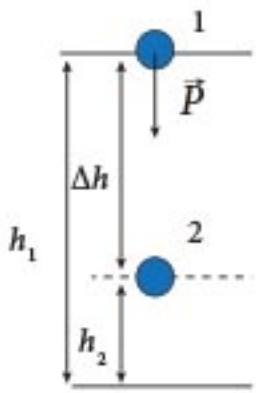
Kinetik enerji ifadesini kullanarak $E_k = \frac{mv^2}{2}$, ve yolun sonundaki hızın ifadesi

$v = at = \frac{2s}{t^2}t = \frac{2s}{t}$ elde edilir.

$$E_k = \frac{m\left(\frac{2s}{t}\right)^2}{2} = \frac{4s^2m}{2t^2} = \frac{2s^2m}{t^2} = \frac{2\cdot(900\,\text{m})^2\cdot 1000\,\text{kg}}{(20\,\text{s})^2}$$

$= 4050000\,\text{J}$

Elde edilen sonuçlardan, aracın yaptığı tüm işin kinetik enerjinin artmasına katkıda bulunduğu görülmektedir.



▲ Şekil 8. Bir cisim Dünya'nın yerçekiminin etkisi ile yere düşüyor.

İş ve Potansiyel Enerji

A) Dünya'nın yerçekiminin yaptığı iş

Kütlesi m olan bir cisme, Dünya'nın yüzeyine yakınken (Şekil 8), Dünya'nın ağırlığı (yerçekimi kuvveti) etki eder. Eğer cisim sabitlenmemişse, serbest düşmeye başlar. Cismin hareketini sağlayan iş, bu durumda yerçekimi kuvveti tarafından yapılır.

Dünya üzerinde yapılan iş şuna eşit olacaktır:

$$A = P\Delta h = mg\Delta h = mg(h_1 - h_2)$$

Dolayısıyla:

$$A = -mg(h_2 - h_1) = -(mgh_2 - mgh_1)$$

Önceden biliyoruz ki cismin kütlesi, yerçekimi ivmesi ve cismin bulunduğu yüksekliğin çarpımı onun potansiyel enerjisini verir; yani $mgh = E_p$.

Dolayısıyla Dünya'nın yer çekiminin yaptığı iş şu şekilde yazılabilir:

$$A = -(E_{p2} - E_{p1})$$

Bu denklem, Dünya'nın yer çekimi kuvvetinin yaptığı işin etkisiyle cismin potansiyel enerjisinde azalma meydana geldiğini ifade eder.

Çözülmüş örnek 5:

Kütlesi $m = 200\,\text{g}$, olan bir bilye, bir eğik düzlemin tabanına yerleştirilmiştir; başlangıç hızı kazanır ve düzlem boyunca yukarı doğru hareket ederek $s = 4\,\text{m}$ yol alır. Eğik düzlemin açısı $\alpha = 30°$ ise, bilyenin potansiyel enerjisindeki değişimi hesaplayınız. ($g = 9{,}81\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$)

Verilen:

$m = 200\,\text{g} = 0{,}2\,\text{kg}$; $s = 4\,\text{m}$; $\alpha = 30°$

İstenilen:

$\Delta E_p = ?$

Çözüm:

Topun potansiyel enerjisindeki değişimi şu şekilde yazılır:

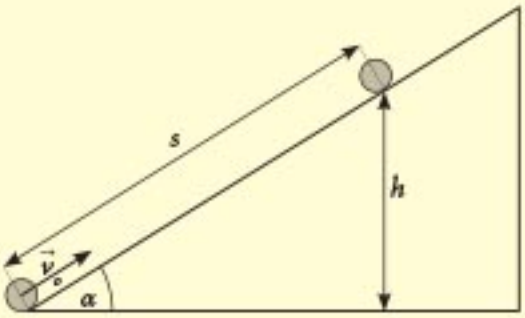
$$\Delta E_p = mg\Delta h = mgh$$

Topun ulaştığı h yüksekliği ile s yolu arasındaki trigonometrik ilişkiyi kullanarak

$$h = s \cdot \sin\alpha$$

ve h'nin önceki denklemde yerine komnasıyla elde edeceğimiz

$$\Delta E_p = mgh = mgs\sin 30^0 = 0,2\,\text{kg} \cdot 9,81\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 4\,\text{m} \cdot 0,5 = 3,924\,\text{J}$$



▲ Şekil 9. Top belirli bir düzlemde hareket ediyor

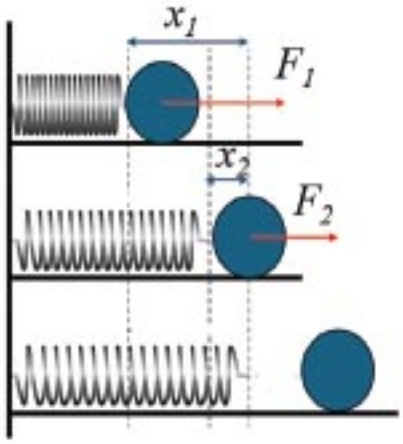
B) Deforme olmuş bir yayda elastik kuvvetin yaptığı iş

Sıkıştırılmış bir yayın önüne bir top yerleştirirsek (Şekil 9), yayın serbest bırakılmasından sonra yay top üzerinde bir kuvvetle etki eder ve onu harekete geçirir. Bu süreçte, yayılan deformasyon nedeniyle ortaya çıkan elastik kuvvet iş yapar. Bu kuvvet, yay ilk "normal" uzunluğuna dönene kadar etki eder. Elastik kuvvetin sabit olmadığını, yay deforme olurken değiştiğini belirtmek önemlidir.

Bu nedenle, elastik kuvvetin yaptığı iş, ortalama kuvvet üzerinden hesaplanır ve şu formülle ifade edilir: $A = F_{sr}\Delta x$

Ortalama kuvvet, son (F_2) ve başlangıç kuvveti üzerinden hesaplanır (F_1), $F_{sr} = \dfrac{F_1 + F_2}{2}$

Bu durumda elastik kuvvetin yaptığı iş şu şekilde verilir:



▲ Şekil 10. Elastik potansiyel Gerilmenin enerjisi topun kinetik enerjisine dönüşür.

$$A = \frac{1}{2}(F_1 + F_2)(x_1 - x_2)$$

$$A = \frac{1}{2}(kx_1 + kx_2)(x_1 - x_2) \text{ veya}$$

$$A = \frac{kx_1^2}{2} - \frac{kx_2^2}{2} = E_{p1} - E_{p2}$$

Son denklemi biraz farklı yazarsak şunu elde ederiz:

$$A = -(E_{p2} - E_{p1}) = -\Delta E_p$$

Esneklik kuvvetinin yaptığı iş, deforme olan yayın potansiyel enerjisindeki azalmaya eşittir.

Sizce yay sıkıştırılmak yerine gerilseydi elastik kuvvetin yaptığı işte bir fark olur muydu?

Güç

Hayat tecrübesinden biliyorsun ki bir iş farklı sürelerde yapılabilir. Örneğin, bir binada 10. kata yaya çıkmak için birkaç dakikaya ihtiyacın olacaktır, oysa asansör bunu yarım dakikadan daha az sürede yapar. Aynı iş daha kısa sürede tamamlanır.

Zaman biriminde ne kadar iş yapıldığını belirleyen fiziksel niceliğe güç denir.

Güç, yapılan işin, işi yapmak için gereken zamana bölünmesiyle elde edilir. Güç, şu formülle hesaplanır:

$$P = \frac{A}{t}$$

Gücün birimi watt'tır (W). 1 saniyede 1 J iş yapıldığında güç 1W'a eşit olur.

Makinelerin verimlilik katsayısı

Motor, araca etki eden direnç kuvvetlerini yenerek çalışır ve bunu yaparken yaktığı yakıttan enerji alır. Rüzgâr enerjisi, yel değirmenlerinin kanatları tarafından elektriğe dönüştürülür.

Enerjinin bir türden başka bir türe dönüştürülmesinde farklı makineler kullanılır. Ancak, gerçek dünyada her zaman bazı enerji kayıpları vardır. Bu, enerjinin işe dönüştürülmesi sırasında, makinenin yaptığı işin her zaman harcanan enerjiden daha az olduğu anlamına gelir.

Faydalı etki katsayısı, makinenin giriş enerjisinin ne kadarını faydalı işe dönüştürdüğünü gösterir

Daha kesin bir ifadeyle, bir makinenin verimliliği, makinenin yaptığı işin (faydalı iş A_k) ve çalıştırılması sırasında harcanan işin (veya enerjinin) (toplam iş A_t) birbirine bölümlüdür.

Verimlilik yüzde olarak ifade edilir, yani

$$\eta = \frac{A_k}{A_t} \cdot 100\%$$

Kazandıran katsayısı için aynı denklem güç üzerinden de ifade edilebilir

$$\eta = \frac{P_k}{P_v} \cdot 100\%$$

Verim katsayısı bireye yakın olan makineler, ekonomik ve yüksek verimli kabul edilir.

Faydalı iş katsayısı neden hiçbir zaman %100 olamaz düşün ve yanıtla? Cevabını somut örneklerle destekle.

Çözülmüş örnek 6:

$m = 1{,}2$ t'lik bir yükü $t = 0{,}5$ min dakika sürede, $h = 6$ m yüksekliğe kaldırabilir. Faydalı iş katsayısı $\eta = 0{,}99$'dur. Vincin gücünü P_v hesapla. ($g = 9{,}81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$)

Verilen:

$m = 1{,}2$ t

$t = 0{,}5$ min

$\eta = 0{,}9$

$h = 6$ m

İstenilen:

$P_v = ?$

Çözüm:

Faydalı iş katsayısı denkleminden başlayarak $\eta = \frac{P_k}{P_v}$ toplam güç için elde ettiğimiz formül $P_v = \frac{P_k}{\eta}$. Yararlı güç ifadesini değiştirirsek $P_k = \frac{A}{t} = \frac{mgh}{t}$ elde ederiz.

$$P_v = \frac{P_k}{\eta} = \frac{\frac{mgh}{t}}{\eta} = \frac{mgh}{\eta t} = \frac{1200\,\text{kg} \cdot 9{,}81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 6\,\text{m}}{0{,}9 \cdot 30\,\text{s}} = 2616\,\text{W}$$

Daha Fazla Bilmek İstersen:

➤ Kilowatt–saat ne demektir?

Kilowatt-saat (kWh), evlerimizde, ofislerimizde ve endüstrilerimizde tüketilen elektrik enerjisini ölçmek için kullanılan bir enerji birimidir. Bir kilowatt saat, 1000 watt'lık (1 kW) bir cihazın bir saat çalışmasıyla tüketilen enerjidir.

Elektrik faturaları, ne kadar enerji kullandığımızı göstermek ve elektrik fiyatını iletmek için bu birimi kullanır.

Örneğin 2000 W'lık bir ısıtıcı 3 saat çalışırsa 2 kW tüketir · 3h=6 kWh.

Bir buzdolabı günde yaklaşık 1-2 kWh tüketir.

Elektrikli bir otomobil 100 km'de yaklaşık 15-20 kWh enerji tüketiyor.

1 kWh'tı, joule'e dönüştürmek için şu tanımı kullanırız:

1 kWh=1000 W · 3600 s = 3600000 J = 3,6 MJ

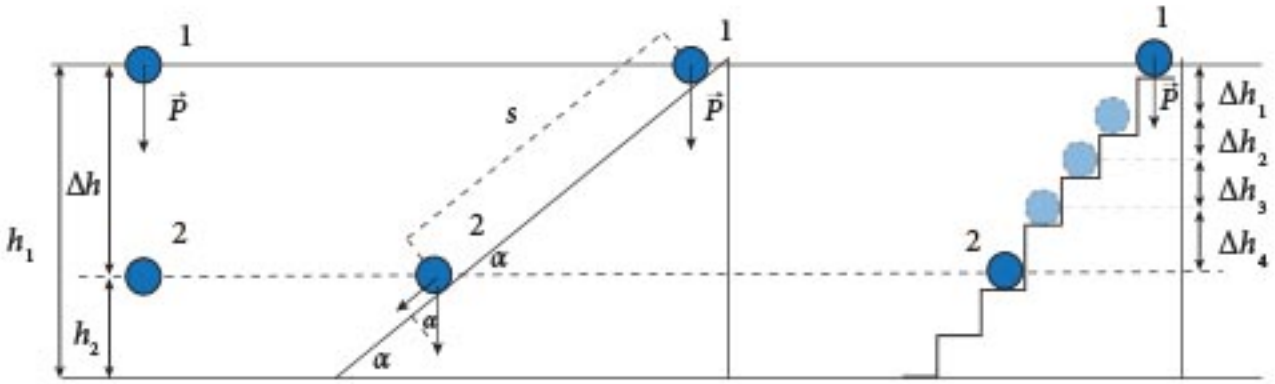
Sorular ve Görevler:

1. Bir cisim belirli bir mesafe kat ediyor. Cisim tarafından yapılan işi hesaplamak için hangi verilere ihtiyacınız var?
2. Yatay bir yüzeyde bir bavulu sürüklediğinizi düşünün. Minimum iş yapmak için çekme kuvveti yataya göre hangi açıda olmalıdır? Açıklayın.
3. Yapılan 1 J işi tanımla?
4. Bir kuvvet ne zaman negatif iş yapar?
5. Bir cismin gücünün fiziksel büyüklükler olan iş ve zamana bağımlılığını açıklayınız.
6. Bir cismin potansiyel enerjisi dört katına çıkıyorsa, bu cismin yüksekliğini $\Delta h = 60$ m. arttırdığı anlamına gelir. Her iki durumda da cismin bulunduğu yüksekliği hesaplayınız.
7. Motorun çekiş kuvveti $F = 2$ kNkN'nin etkisi altında araç $v = 72 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ hıza ulaşıyor. Faydalı etki katsayısı yüzde olarak %88 olduğuna göre motorun gücünü hesaplayınız..
8. Bir vincin motoru $m = 60$ t'lik bir yükü $t = 10$ s'lik bir sürede $h = 6$ myüksekliğe kaldırabilmektedir. Bir yolcu uçağının motoru $F = 90$ kN'lik bir itme kuvvetiyle $v = 260 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. hıza ulaşmaktadır. İki motorun güçlerinin oranını hesaplayın.

3.3 Enerjinin Korunumu Yasası

Konservatif Kuvvetler Ve Konservatif Kuvvetlerin Yaptığı Iş

Örnek: Dünya'nın yakınından düşen bir topun hareketini, eğimli bir düzlemde sürtünmesiz kaymasını ve bir merdivenden sekmeden inişini ele alalım (Şekil 1). Her üç durumda da, Dünya'nın yerçekimi top üzerinde etki uygular. Farklı yollardan bağımsız olarak, her durumda top aynı kuvvetin, yani Dünya'nın yerçekiminin etkisi altında aşağı doğru hareket eder.



▲ Şekil 1. Top, h yüksekliğinden düşer; top, h yüksekliğinden bir eğik düzlem boyunca iner; ve top, h yüksekliğinden merdivenlerden aşağı iner.

Birinci durumda ağırlık kuvvetinin yapacağı iş: $A = P\Delta h = mg\Delta h$.

İkinci durumda ağırlık kuvvetinin yaptığı işin neye eşit olduğuna bakalım.

İkinci durumda yalnızca P_x bileşeni iş yapar.

Bu nedenle $A = P_x s$

Benzer üçgenler kuralına göre:

$\frac{P_x}{P} = \frac{\Delta h}{s}$ dolayısıyla $P_x s = P\Delta h$; burada $P = mg$ yerine konulduğunda, $P_x s = mg\Delta h$, yani ağırlık kuvvetinin yaptığı iş için $A = mg\Delta h$ elde edilir.

Üçüncü durumda, top merdivenlerden inerken, ağırlık kuvvetinin yaptığı iş:

$A = mg\,\Delta h_1 + mg\,\Delta h_2 + mg\,\Delta h_3 + mg\,\Delta h_4 = mg(\Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 + \Delta h_4)$.

Şekil 1'deki çizimden $\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 + \Delta h_4$ olduğu görülür ve ağırlık kuvvetinin yaptığı iş için $A = mg\,\Delta h$ elde edilir.

Her üç durumda da Dünya'nın yerçekiminin yaptığı işin aynı olduğu görülebilir.

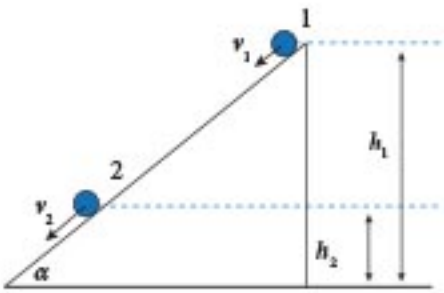
Cismin h yüksekliğinden düşmesi, belirtilen sürtünmesiz düzlem boyunca inmesi veya başka bir şekildeki bir yol boyunca inmesi fark etmeksizin, Dünya'nın yerçekiminin yaptığı iş aynıdır.

Doğada, cismin konumunu değiştirirken kuvvetlerin yaptığı iş, cismin hareket ettiği yola değil, yalnızca cismin ilk ve son konumlarına bağlı olan kuvvetler vardır. Bu kuvvetlere **konservatif kuvvetler**, korunumlu kuvvetlerin etki ettiği sistemlere ise korunumlu sistemler denir. Geriye, korunumlu kuvvetlerin yaptığı işin, cismin kaldırıldığı referans yüzeyin seçimine bağlı olup olmadığını belirlemek kalır.

Mekanik Enerjinin Korunumu Yasası

Bir sistemin potansiyel ve kinetik enerjisinin toplamına sistemin **toplam mekanik enerjisi** denir ve E ile işaretlenir.

$$E = E_p + E_k$$



▲ Şekil 2. Bir top sürtünmesiz bir düzlemde bırakılıyor.

Şekil 2'de sürtünmesiz kayan bir cisim gösterilmiştir. Başlangıç noktası 1'de cismin başlangıç hızı v_1'dir, nokta 2'de ise hızı v_2'dir.

Yerçekimi kuvvetinin yaptığı toplam iş, cismin kinetik enerjisindeki değişime eşittir.

$$A = \Delta E_k = E_{k2} - E_{k1}$$

Diğer yandan Dünya'nın yer çekiminin yaptığı işin aşağıda verilmiştir:

$$A = -\Delta E_p = -(E_{p2} - E_{p1})$$

Bundan şu sonuç çıkar ki

$$E_{k2} - E_{k1} = -(E_{p2} - E_{p1}) \text{ veya } E_{k2} + E_{p2} = E_{k1} + E_{p2}$$

$$E_2 = E_1$$

Konservatif sistemlerde toplam mekanik enerji değişmez.

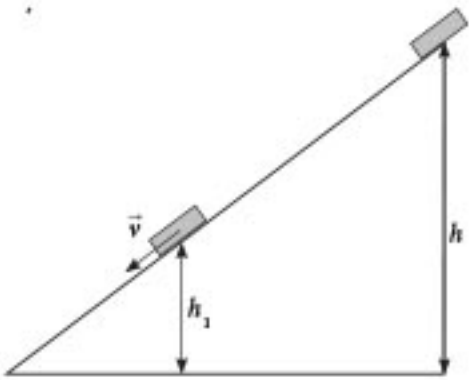
Bu yasaya mekanik enerjinin korunumu yasası denir. Mekanik enerjinin korunumu yasası, konservatif sistemlerde, yani konservatif kuvvetlerin hakim olduğu sistemlerde geçerlidir.

Çözülmüş örnek 1:

Belirli bir düzlemin tepesinde, belirli bir yükseklikte $h = 10\ \text{m}$, bir plaka yerleştirilmiştir. Ağırlık kuvvetinin etkisi altında, plaka düzlemden aşağı kaymaya başlar. Tabana göre hangi yükseklikte, plaka $v = 6\frac{\text{m}}{s}$ hıza sahip olacaktır? Fayans ile alt tabaka arasındaki sürtünme kuvvetini ihmal edin ($g = 9{,}81\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$).

İpuçları:

Mekanik alanındaki problemleri çözerken, mekanik enerjinin korunumu yasasından yararlanılarak istenilen sonuca daha kolay ulaşılabileceği her zaman akılda tutulmalıdır.



▲ Şekil 3. Bir levha belirli bir düzlemde hareket ediyor.

Verilen:

$h = 10\ \text{m};\quad v = 6\frac{\text{m}}{\text{s}};\quad g = 9{,}81\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

İstenilen:

$h_1 = ?$

Çözüm:

Mekanik enerjinin korunumu yasasına göre yazılır

$$E_{p1} + E_{k1} = E_{p2} + E_{k2}$$

Plaka kaymaya başlamadan önce kinetik enerjisi $E_{k1} = 0$ olması itibari ile sonuç

$$E_{p1} = E_{p2} + E_{k2}$$

Potansiyel ve kinetik enerji ifadelerini değiştirerek

$mgh = mgh_1 + \frac{mv^2}{2}$ ve m terimini iptal ederek

$$gh = gh_1 + \frac{v^2}{2}$$

h_1 için son denklemden şunu elde ederiz

$$h_1 = \frac{gh - \frac{v^2}{2}}{g} = 10\ \text{m} - \frac{\frac{\left(6\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)^2}{2}}{10\frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 8{,}2\ \text{m}$$

Peki ya çevrede sürtünme kuvveti gibi direnç kuvvetleri de varsa ne olur?

Konservatif Olmayan Kuvvetler

Konservatif kuvvetlerden farklı olarak, konservatif olmayan kuvvetlerin ayırt edici özelliği, yaptıkları işin yalnızca cismin başlangıç ve son konumuna değil, cismin izlediği yola da bağlı olmasıdır.

Örneğin, bir cisim belirli bir h yüksekliğinden farklı yollar boyunca aşağı inerken sürtünme kuvvetleri ihmal edilemezse, sürtünme kuvvetinin yaptığı iş yalnızca cismin başlangıç ve son konumu arasındaki yükseklik farkına değil, izlenen yolun toplam uzunluğuna bağlı olur. Bu nedenle bu kuvvetlere konservatif olmayan kuvvetler denir. Sürtünme kuvveti konservatif olmayan bir kuvvettir.

Enerjinin Korunumu Yasası

Sürtünme kuvveti bir cisim üzerinde iş yaptığında, cismin toplam mekanik enerjisi azalır. Korunumsuz kuvvetlerin varlığında mekanik enerjinin korunmadığı söylenir.



▲ Şekil 4. Meteor

Ancak enerji kaybolmaz. Sürtünmenin neden olduğu mekanik enerji kaybı, termal enerjiye dönüşür ve sürtünmeyle oluşan ısı miktarı, kaybedilen mekanik enerji miktarına eşit olur. Meteor atmosferde hareket ederken, havayla sürtünme nedeniyle mekanik enerjinin bir kısmı termal enerjiye dönüşür (Şekil 4).

Korunumsuz bir kuvvetin yaptığı iş ile mekanik enerjideki değişim arasındaki ilişki şu ifadeyle verilir:

$$A = \Delta E = E_2 - E_1$$

Dolayasıyla,

> Konservatif kuvvetlerin yaptığı iş, mekanik enerjideki değişime eşittir.

Bu denklem şu şekilde yazılabilir:

$$E_2 = E_1 + A$$

Sürtünme kuvveti tarafından iş yapıldığında iş negatiftir, yani son konumdaki mekanik enerji, ilk konumdaki mekanik enerjiden daha azdır ve enerjiler arasındaki fark ısıya (veya başka bir forma) dönüşmüştür.

Çözülmüş örnek 2:

Kütlesi 40 g olan bir futbol topu, futbolcunun vuruşundan sonra 30 m/s hızla hareket eder. Çim üzerinde ilerlerken, topun hızı 40 m yol aldıktan sonra 20 m/s'ye düşer. Top ile çim arasındaki sürtünme katsayısı 0,15'tir. Aşağıdakileri hesaplayın:

a) Topun kinetik enerjisindeki değişimi.
b) Sürtünme kuvvetinin yaptığı iş boyutunu.

Kaybolan mekanik enerjinin tamamı sürtünme kuvvetini yenmeye mi harcanmıştır?

Verilen:

$m = 430\ \text{g} = 0{,}43\ \text{kg}$

$v_1 = 30\ \text{m/s}$

$v_2 = 20\ \text{m/s}$

$s = 40\ \text{m}$

$\mu = 0{,}15$

İstenilen:

a) $\Delta E_k = ?$

Topun kinetik enerjisindeki değişim:

$$\Delta E_k = E_{k2} - E_{k1}$$

$$\Delta E_k = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}$$

$$\Delta E_k = \frac{m}{2}(v_2^2 - v_1^2)$$

$$\Delta E_k = -107{,}5\,\text{J}$$

b) Sürtünme kuvvetinin yaptığı iş:

$$A = -F_s s$$

$$A = -\mu mgs$$

$$A = -\mu mgs$$

$$A = -25{,}3\,\text{J}$$

Elde edilen sonuçlardan, kaybedilen enerjinin tamamının sürtünme kuvvetini yenmek için harcandığı sonucuna varılabilir. Kalan enerjinin nerede „kaybolduğuna" dair bir cevap verebilir misiniz?

Daha fazla bilmek istersen:

- Enerjinin korunumu yasası yeni bir parçacığın keşfine nasıl yol açtı?

  1930'da fizikçi Wolfgang Pauli bir gizemle karşılaştı. Bazı atom çekirdeklerinin bozunması sırasında, parçacıkların bozunma öncesi ve sonrası enerjileri uyuşmuyordu. Enerjinin korunumu yasasına göre bunun olmaması gerekirdi.

  Bir şey eksikti.

  Pauli, enerjinin ve momentumun bir kısmını taşıyan, fakat kolayca fark edilemeyen görünmez bir parçacık olduğunu öne sürdü—çünkü elektrik yükü yoktu ve maddeyle neredeyse hiç çarpışmıyordu. Daha sonra bu parçacığa İtalyanca "küçük nötr" anlamına gelen nötrino adı verildi.

  Yıllarca nötrino yalnızca bir kuram olarak kaldı, ancak 1956'da bilim insanları sonunda onu deneysel olarak saptamayı başardılar. Bu, fizik için bir zaferdi—doğanın enerjiyi gerçekten "koruduğunun" kanıtıydı; biz tüm süreci hemen göremesek bile.

- Kütle-enerji yasası

  Albert Einstein, 1905 yılında ünlü keşfini ortaya attı: $E = mc^2$. Bu denklem, kütle ve enerjinin özünde aynı şeyin iki farklı biçimi olduğunu gösterir. Einstein'a göre kütlenin de enerjisi vardır ve bu enerji yalnızca potansiyel veya kinetik enerji olarak değil, belirli koşullar altında açığa çıkabilen „dahili" enerji olarak da mevcuttur.

  Bu keşif , enerjinin korunumu yasası anlayışını önemli ölçüde değiştirdi. O zamana kadar fizik yasaları, enerjinin yaratılamayacağını veya yok edilemeyeceğini, yalnızca bir formdan başka bir forma dönüştürülebileceğini belirtiyordu. Ancak Einstein, $E = mc^2$ ile kütle ve enerji arasındaki bağlantıyı, yani kütlenin enerjiye, enerjinin de kütleye dönüştürülebileceğini gösterdi.

  Bu durum nükleer reaksiyonlarda gerçekleşir. Yıldızlarda ve nükleer santrallerde, atom çekirdeğinin kütlesinin küçük bir kısmı muazzam miktarda enerjiye dönüşür. Bu, enerjinin korunumundan bahsederken, kütlenin kendisinde saklı olan „gizli" enerjiyi de hesaba katmamız gerektiği anlamına gelir.

Sorular ve Görevler:

1. Bir okçu, $h = 30$ m yüksekliğe dikey olarak yukarı doğru bir ok atıyor. Ok Dünya'ya hangi hızla düşer? Hava direncini ihmal edin.
2. $m = 200$ g kütleli ve h yüksekliğinde bulunan bir cisim serbest bırakıldığında, potansiyel enerjisi üç katına çıktığı andaki kinetik enerjisi 50 J artmaktadır. Verilen yüksekliği hesaplayınız.
3. Bir cisim $h = 1{,}2$ km yükseklikten serbest bırakılıyor . Cismin potansiyel enerjisi, kinetik enerjisinin dört katından az olduğu andaki hızını hesaplayınız
4. 200 g kütleli bir cisim h yüksekliğinden serbest bırakılıyor. Cisim, potansiyel enerjisinin üç katına düştüğü anda kinetik enerjisi 50 J artacaktır. Verilen yüksekliği hesaplayınız
5. Eğer bir el arabası 2,5 R yüksekliğinden aşağıya doğru serbest bırakılırsa, (Şekil 5'teki) "ölü döngüyü" geçebilir mi, eğer:
   a) el arabası başlangıç hızı ve sürtünme olmadan hareket ederse
   b) el arabasın'nın başlangıç hızı var fakat sürtünme kuvveti yoksa
   c) el arabası'nın başlangıç hızı yok, fakat sürtünme kuvveti varsa



Şekil 5. Ölü döngü

Bir Bilim İnsanı Gibi Düşün

Rölerkosterlerin (lunaparklardaki hızlı trenlerin) nasıl çalıştığını biliyor musun? Neden tren hareketine en yüksek tepeden başlar? Neden "ölü döngü"ye (halkaya) girdiğinde oradan dışarı fırlamaz? Ve rölerkosterle yolculuk ne kadar tehlikeli olabilir?

Bilimsel araştırmanın başlığı: Rölekosterin (lunaparktaki hızlı tren) tasarımı ve enerjinin korunumu yasası

Bu etkinlikte, güvenli ve heyecan verici bir hız treni tasarlaması gereken bir mühendis rolünü üstleneceksiniz. Bunun için temel fizik bilgisine ihtiyacınız olacak.

Tasarımınızın fiziksel olarak mümkün, güvenli ve yeterince heyecan verici olup olmadığını kontrol etmek için basit hesaplamalar kullanacaksınız!

Atmanız gereken adımlar:

Adım 1: Bir kağıt parçasına aşağıdaki parçalardan oluşan bir hız treninin taslağını çizin


Şekil 6. "Ölü döngü"nün (halka) en yüksek noktasına sahip hız treni yolculuğu

- bir yüksek başlangıç tepe,
- iki daha alçak tepe,
- ve bir „ölü döngü“ (halka).

Düşün: Bu elementlerin sırasına dikkat etmelimisin?

Adım 2: Aşağıdaki adımlar için kendi değerlerini ekle:
- üç tepenin yüksekliği,
- „ölü döngünün“ yarıçapını,
- başlangıçtan „ölü döngüye“ kadar olan yolun uzunluğu.

Yardımcı olması açısından şu verileri kullanabilirsiniz :
- https://rcdb.com
- https://coasterpedia.net

Adım 3: Çiziminize ve verilen değerlere dayanarak aşağıdakilerini hesaplayın:
- Kütlesi 1000 kg'lık bir trenin (tren + 6 yolcu) başlangıç potansiyel enerjisini.
- Trenin ilk tepenin dibindeki hızı:
  Eğer sürtünme gücü yoksa,
  Eğer sürtünme katsayısı 0,15 ise.

Adım 4: Tren "ölü döngü"ye en alçak noktadaki hızla girer.
- Sürtünme ihmal edilebilir düzeydeyse, ölü döngüüyü geçer mi?
- Peki sürtünme ihmal edilemzse?

Düşün: Rölekosterdeki elementlerin sırasına dikkat etmelimisin?

Adım 5: İnsanlar için güvenli ivmenin 4 g'ye kadar olduğunu bilerek , devamındaki ödevi belirleyin:
- Tasarımınız güvenli mi?

Adım 6: Trenin tüm unsurları geçip geçemeyeceğini kontrol edin:
- sürtünme ihmal edilebilir düzeydeyse ve
- sürtünmenin gerçek bir etkisi varsa.

Görsel yardım için etkileşimli simülasyonu kullanın:

https://phet.colorado.edu/en/simulation/energy-skate-park

Özet:

- Cisimlerin hareket, konum ve şekil değiştirme sonucu sahip oldukları enerjiye mekanik enerji denir.
- Mekanik enerjinin kinetik ve potansiyel enerji olmak üzere iki türden oluşur. Bunlar kolayca bir biçimden diğer biçime dönüşebilir.
- Cisimlerin hareket halindeyken sahip olduğu enerjiye kinetik enerji denir ve $E_k = \frac{mv^2}{2}$ formülüne göre hesaplanır .
- Potansiyel enerji, bir cismin konumundan veya durumundan dolayı sahip olduğu enerjidir.
- Dünya'ya göre belirli bir yüksekliğin üzerinde bulunduğu için hareket etme potansiyeline sahip bir cismin sahip olduğu enerjiye kütle çekim potansiyel enerjisi denir ve şu formülle hesaplanır: $E_p = mgh$
- Deforme olmuş bir yayın sahip olduğu enerjiye elastik potansiyel enerji denir ve devamındaki formülü kullanılarak hesaplanır: $E_p = \frac{k\Delta l^2}{2}$.
- Kuvvetin etkisi altında cismin yer değiştirmesi ile kuvvetin çarpımı mekanik iş olarak adlandırılır ve şu formülle hesaplanır: $A = \vec{F}\Delta\vec{r}$.
- Mekanik işin birimi Joule'dur (J).
- Bir cisim üzerine etki eden tüm kuvvetlerin toplam işi, bu kuvvetlerin etkisi altında cismin kinetik enerjisindeki değişime eşittir. $A = E_{k2} - E_{k1}$.
- Dünya ağırlık kuvvetinin yaptığı iş, cismin potansiyel enerjisindeki azalmaya eşittir, öyle ki: $A = -(E_{p2} - E_{p1})$.
- Elastik kuvvetin yaptığı iş, deforme olmuş yayın, potansiyel enerjisindeki azalmaya eşittir, öyle ki: $A = -(E_{p2} - E_{p1}) = -\Delta E_p$.
- Zaman biriminde ne kadar iş yapıldığını belirleyen fiziksel niceliğe güç denir. Gücün birimi watt'tır (W).
- Makinelerin verim katsayısı, makinenin yaptığı işin (faydalı iş - A_k) aynı işi gerçekleştirmek için harcanan işe (veya enerjiye) (toplam iş - A_t) oranıdır. Verim katsayısı yüzde ile ifade edilir, öyle ki: $\eta = \frac{A_k}{A_t} \cdot 100\%$.
- Eğer cismin konumu değişirken kuvvetlerin yaptığı iş, cismin izlediği yola değil de yalnızca cismin başlangıç ve son konumuna bağlıysa, söz konusu kuvvetler konservatifkuvvetlerdir ve konservatif kuvvetlerin etkili olduğu sistemlere konservatif sistemler denir.
- Konservatif sistemlerde toplam mekanik enerji değişmez.
- Konservatif olmayan kuvvetler, yaptıkları işin cismin sadece başlangıç ve bitiş konumlarına değil, aynı zamanda cismin izlediği yola da bağlı olmasıyla karakterize edilir.
- Dolayısıyla, konservatif olmayan kuvvetlerin yaptığı iş, mekanik enerjideki değişime eşittir: $A = \Delta E = E_2 - E_1$.

Konu 3 NE KADAR ÖĞRENDİĞİNİ KONTROL ET

1. Çocuk kaydıraktan inerken onun:
   a) sürtünmeden dolayı potansiyel enerjisi azalır;
   b) kinetik enerji potansiyel enerjiye dönüşür;
   c) potansiyel enerji kinetik enerjiye dönüşür;
   d) kinetik enerji sabit kalır.

2. Mekanik enerjinin korunumu yasası şu durumlarda geçerlidir:
   a) sürtünme kuvvetleri etkilidir;
   b) cisim bir eksen etrafında döner;
   c) sadece konsrvatif kuvvetler etki eder
   ç) cisim başka bir cisimle çarpışır.

3. Makinerler neden 100% verimliliğe sahip olamaz?
   a) çünkü enerjinin bir kısmı her zaman ısı ve sesbiçiminde kaybolur;
   b) çünkü giriş işi her zaman çıkışa eşittir;
   c) çünkü makinedeki tüm kuvvetler konservatiftir;
   ç) çünkü enerji sürtünme ile artar..

4. Paraşüt ile atladığınızda enerjiye tam olarak ne oluyor?
   a) potansiyel enerji, yüksekliğin azalmasıyla artar;
   b) potansiyel enerji kinetik enerjiye dönüşür ve bu sırada bir kısmı hava direncini yenmeye harcanır;
   c) kinetik enerji tamamen potansiyel enerjiye dönüşür;
   ç) enerji hava direnci nedeniyle kaybolur.

5. **Cisim sürtünmeli bir yüzey üzerinde hareket ettiğinde toplam mekanik enerji ne olur?**
   a) aynı kalır, çünkü sürtünme etkilemez;
   b) artar, çünkü cisim ivmelenir;
   c) azalır, çünkü enerjinin bir kısmı ısıya dönüşür;
   ç) tamamen potansiyel enerjiye dönüşür.

6. Bir cismin enerjisinin neden negatif olamayacağını açıklayın. Bunu kütle, hız ve yükseklik kavramlarıyla ilişkilendirin.

7. Bir çocuğun salıncakta sallandığı bir durumu analiz edin. Hareket sırasında mekanik enerjisi nasıl değişir?

8. Kinetik enerjinin elastik enerjiye ve ardından termal enerjiye dönüştüğü günlük hayattan bir örnek verin. Aşamaları açıklayın.

9. Dağa tırmanırken neden düz yolda yürümeye göre daha fazla enerji harcadığımızı açıkla.

10. Enerji kaybını en aza indirmek için hangi faktörleri göz önünde bulundurmalısınız?

11. Bir arabanın bariyere çarpması sonucu enerjinin nasıl dönüştüğünü açıklayın.

12. Enerjinin korunumu yasasını kullanarak otomobil güvenlik sistemlerinde (örneğin hava yastıkları) iyileştirmeler önerin.

Konu 4

AKIŞKANLAR

Bu konudaki içerikler:

1. Basınç ve Basıncın Akışkanlarda İletilmesi
2. Hidrostatik Basınç
3. Kaldırma Kuvveti. Arşimet Kuvveti
4. Süreklilik Denklemi. Bernuli Denklem



„Akışkanlar" başlığında, sıvılar ve gazlar ile farklı koşullar altındaki davranışlarını öğreneceğiz. Akışkanların hareket ve durağanlığını tanımlayan yasaları öğreneceğiz. Akışkanları inceleyen fizik iki bölüme ayrılır: akışkanların statiği ve dinamiği.

Akışkan statiği, sıvı ve gazların dengesini, yani bir akışkanın durağan ve parçacıkları arasında bağıl hareket halinde olduğu durumu inceler. Bu bölümde, bir akışkandaki basıncın, yani hidrostatik basıncın, akışkana batırılmış bir cisme etki eden Arşimet kaldırma kuvveti ilkesiyle nasıl ilişkili olduğunu açıklayacağız. Bu olgu ve yasalar, doğal ve teknolojik sistemleri anlamak için önemlidir; örneğin, gemilerin neden batmadığı, hidrolik frenlerin nasıl çalıştığı veya bir kişinin Ölü Deniz yüzeyinde neden yüzebildiği gibi.

Akışkanlar dinamiği, akışkan hareketinin yasalarını, bir akışkanın uzay ve zamandaki hız, basınç ve yoğunluk değişimini inceler. Çalışmanın konusu, akışkanların hareketini açıklayan fiziksel ilkeler ve yasalardır ve süreklilik denklemi ile Bernoulli denklemi açıklanacaktır. Bu ilke ve yasaların hidrolik sistemler, aerodinamik ve mühendislikte uygulamaları vardır; örneğin, uçaklar uçarken nasıl itme gücü kazanır, bir kanal dar olduğunda suyun neden daha hızlı aktığı veya bir yayın yerçekimi tarafından çekildiğinde nasıl çalıştığı gibi.

Amaç:

- Akışkanlar fiziğinin yasalarını uygulayarak günlük hayattan örnekleri belirlemek ve açıklamak.
- Akışkanlar mekaniği ile ilgili problemleri çözmek.
- Fizik yasaları aracılığıyla havacılık, denizcilik ve otomotiv sanayilerindeki güvenlik önlemlerinin önemini temellendirmek.



4.1 Basınç ve Basıncın Akışkanlarda İletilmesi



▲ Şekil 1. Parfüm parçacıkları

Akışkanların Temel Özellikleri

Madde, dört halden birinde bulunabilir: katı, sıvı, gaz ve plazma hali. Tüm maddeler **molekül** adı verilen küçük parçacıklardan oluşur. Sürekli hareket halindedirler. Bir maddenin madde hali, moleküllerin birbirinden ne kadar uzakta olduğunu ve birbirleriyle ne kadar güçlü etkileşime girdiklerini gösterir . Örneğin, suda moleküller birbirine yakın ve sıkı sıkıya bağlıdır; buharda ise birbirlerinden çok uzaktadır ve serbestçe hareket ederler.

Moleküllerin etkileşime girdiği kuvvetlere **moleküller arası kuvvetler** denir. Bu kuvvetler zayıf olduğunda moleküller kolayca hareket edebilir, bu durumda maddeye **akışkan** halde denir. Soluduğumuz hava ve içtiğimiz su, bazı benzer ve bazı farklı özelliklere sahip akışkanlardır.

Akışkanlar akabilen maddelerdir. Sıvı ve gaz halindeki maddelere topluca akışkanlar diyoruz.

Örnek 1:

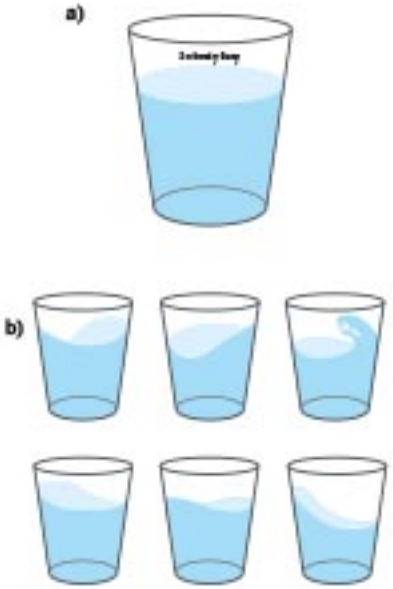
Bir odada bir parfüm kokusu aldığınızda, parfümün molekülleri havadan burnunuza doğru hareket eder. Bu, moleküllerin hareket ettiğinin kanıtıdır. (Şekil 1)

Sıvılar ve gazların bazı ortak özellikleri vardır. Sıvılardaki moleküller arasındaki çekim (**kohezyon**) kuvveti, katılar arasındaki çekim kuvvetinden daha küçüktür. Bu da onları hareket ettirir. Sıvıların hareketi, katı cisimlerin hareketinden önemli ölçüde farklıdır. Katılar hareket sırasında şekil değiştirmezler. Sıvılar ise hareket sırasında şekil değiştirir ve bulundukları kabın şeklini alırlar.

Unutulmamalıdır ki sıvılar belirli bir hacim kaplarken, gazlar sahip oldukları hacmin tamamını kaplar. Sıvılar (**sıkıştırılamaz**) ondan dolayı da daha yüksek yoğunluğa sahip, gazlar sıkıştırılabilir ve daha düşük yoğunluğa sahiptir. Bunun nedeni, gazlardaki moleküller arası mesafenin sıvılara kıyasla daha büyük ve moleküller arası kuvvetlerin daha düşük olmasıdır.

Örnek 2:

Bir bardak çayımız varsa, bardağın nereye kadar dolu olduğunu, odadaki havayla sıvıyı ayıran yüzeye bakarak tam olarak belirleyebiliriz. Bu yüzeye **serbest yüzey** deriz (Şekil 2). Durgun hâldeki bir sıvının serbest yüzeyi her zamanyataydır — Dünya'nın ağırlığına (yerçekimine) diktir. Bardağı eğersek, serbest yüzeyin yine yatay konuma geldiğini görürüz. Eğer bardaktaki sıvıya başka kuvvetler de etki ediyorsa, serbest yüzey, sıvıya etki eden kuvvetlerin bileşkesi olan sonuç kuvvete dik konumlanır. Bu nedenle, çayın içine bal koyup kaşıkla karıştırırsak, serbest yüzeyin eğri olduğunu fark ederiz.



▲ Şekil 2. Serbest yüzey) hareketsiz ve) diğer kuvvetlerin etkisi altında

Yoğunluk, belirli bir hacimde ne kadar kütle olduğunu gösteren bir fiziksel büyüklüktür.

ρ ile gösterilir ve aşağıdaki formülle hesaplanır :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Moleküller arası kuvvetler zayıf olduğundan, gazını ezebilir, yani çok küçük bir hacme **sıkıştırabiliriz**. Gaz moleküllerini daha küçük bir hacme sıkıştırmak (moleküller arası mesafeyi azaltmak), moleküllerin bulundukları kabın duvarlarıyla çarpışma sayısını artırır ve böylece sıvının yoğunluğunu ve basıncını artırırız.

Sıkıştırılmış akışkan, hacminin azalmasıyla yoğunluğunun ve basıncının arttığı akışkandır

Basınç ve Basınç Kuvveti

Basınç

Yeni yağmış karda yürüdüğünüzü hayal edin. Kayaklarınız yoksa ayaklarınız derinlere batar. Ancak, kayaklarınız varsa aniden yüzey üstünde durabilirsiniz (Şekil 3). Peki bunun nedeni nedir? Cevap, ağırlığınızın karda nasıl dağıldığıdır. Bu durum basınçla açıklanır.



▲ Şekil 3. Kayaksız yumuşak karda yürüdüğümüzde, ayaklarımız kayaklardan çok daha fazla basıŋç uygulaдığı için karın içine batarız.

Basınç, bir kuvvetin büyüklüğünün o kuvvetin normal doğrultuda etki ettiği yüzey alanına oranıdır.

$$p = \frac{F}{S}$$

Aynı kuvveti daha küçük bir alana uygularsak, basınç daha fazla olur. İşte bu yüzden çocukların yatağa zıplamasına izin vermiyoruz! Yattıklarında bir sorun yok, ağırlık vücudumuzun tüm yüzeyine dağılıyor. Ancak zıpladıklarında, yüzey alanı küçük olan ayaklarıyla ayakta duruyorlar ve yatağa zarar verebilecek kadar büyük bir basınç uyguluyorlar.

Basınç, kuvvetin aksine skaler bir niceliktir.

Basınç ölçü birimi Pascal'dır ve kısaca (Pa) olarak yazılır. Basınç denklemini ölçü birimleri cinsinden ifade ettiğimizde, basınç ölçü birimini de tanımlayabiliriz. Kuvvet ölçü birimi Newton (N), alan ölçü birimi ise metrekaredir (m^2), yani:

$$1\,\text{Pa} = 1\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Basınç, 1 N'luk bir kuvvet 1 m^2'lik bir yüzeye düzgün olarak etki ederse 1 Pa olur.

Atmosfer Basıncı

Dağ tırmanışı, uçakla uçuş ya da teleferikle yolculuk gibi irtifa değişimlerinde kulaklarımızda bir rahatsızlık hissederiz. Bu duygu neden ortaya çıkar? Atmosfer, üzerimizde yaklaşık 12 km'ye kadar uzanır. Yoğunluğu küçük olmakla birlikte üst katmanlarda daha da azalır; ancak deniz seviyesinde her bir metrekareye yaklaşık 10 tonluk bir hava sütunu basınç uygular. Bu, üzerimizdeki havanın kütlesinin, kum yüklü büyük bir kamyonunkine benzer olduğu anlamına gelir.

Atmosfer kütleye sahip olduğundan, Dünya'ya kendi ağırlığıyla etki eder, yani basınç uygular. Bizi çevreleyen hava kütlesinin sonucu olarak ortaya çıkan bu basınca **atmosfer basıncı** p_0 denir.

Normal atmosfer basıncı sıfır irtifada belirlenir ve $p_0 = 101325$ Pa veya $p_0 = 1$ atm (atmosfer) olarak ifade edilir.

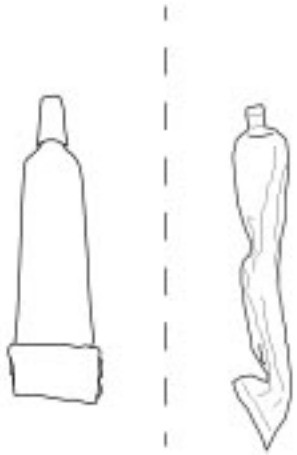
Günlük hayatta kullanılan bir diğer basınç birimi de bardır. Bir bisiklet lastiğinin basıncını ölçmek istersek, ölçü birimi olarak barı kullanırız. Şehir bisikleti lastiğinin ortalama basıncı (3,5–5) bardır. Pascal cinsinden ifade edilen bu birim: 1 bar = 10^5 P_a.

Ölçü birimi (bar), makine, otomotiv, kimya ve gaz endüstrilerinde yaygın olarak kullanılırken, günümüzde ise nadiren de olsa meteorolojide de kullanılmaktadır.

Paskal Yasası

Basınç akışkanlarda tam olarak nasıl dağıtılır?

Diş macununu sıktığımızda genellikle iki yoldan biriyle yaparız: ya tüpün ucunu sıkarız ya da tüpün herhangi bir yerinden sıkarız (Şekil 4). Ancak nereden sıkarsak sıkalım, macun her zaman tüpün açığından çıkar. Neden? Çünkü tüpte bulunan akışkan (macun), basıncı tüm yönlerde eşit olarak iletir.



▲ Şekil 4. Bir tüpten macunu sıkmanın iki yolu.

Genel olarak, bir sıvının basıncı, içinde bulunduğu kabın herhangi bir noktasında artarsa, kabın diğer noktalarındaki basınç da aynı oranda artacaktır. Bu durum, Fransız bilim insanı Blaise Pascal tarafından gözlemlenmiş ve Paskal Yasası olarak adlandırılan bir yasa olarak ortaya konmuştur.

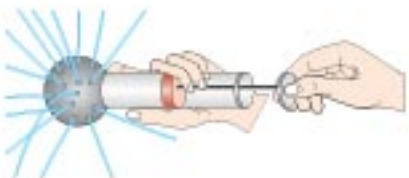
Kapalı bir kaptaki sıvıların basıncı, sıvının her noktasına ve kabın duvarlarına eşit olarak iletilir.

Bu etkiyi aşağıdaki örnekte görebilirsiniz.

Örnek 3:

İçinde birkaç deliği olan plastik bir top alıyoruz. Deliklerden birine bir şırınga yerleştiriyoruz. Topu suyla doldurup şırınganın pistonuna bastırarak topun içindeki suya bir kuvvet uyguluyoruz. Bundan ne çıkarıyoruz?

Cevap: Su tüm deliklerden eşit şekilde akar (Şekil 5). Şırınga nasıl konumlandırılırsa konumlandırılsın ve delikleri hangi yönde açarsanız açın, su tüm deliklerden aynı hızda akacaktır. Bu, şırıngayla oluşturduğumuz basıncın yalnızca basınç yönünde değil, aynı zamanda topun içindeki sıvının her yerine eşit şekilde iletildiği anlamına gelir.



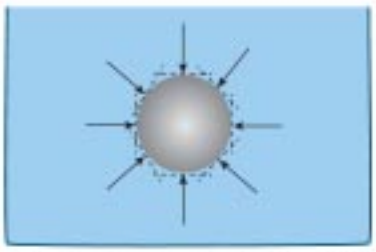
▲ Şekil 5. Çok sayıda deliği olan, suyla dolu ve bir şırıngaya bağlı plastik bir top. Pistona basıldığında, tüm deliklerden aynı hızda su çıkıyor.

Basınç Kuvveti

Atmosfer basıncının, vücudumuzu çevreleyen havanın ağırlığından kaynaklandığını gördük. Ancak atmosfer basıncı yalnızca dokunduğumuz yüzeye etki etmez. Paskal yasasına göre, basınç sıvının her noktasına ve her yönüne eşit olarak iletilir.

Örnek 4:

Bir balonu suya batırdığımızda, su balona bir kuvvet uygular. Bu kuvvet, balonun yüzeyindeki her noktaya dik olarak uygulanır (Şekil 6).



▲ Şekil 6. Suya batırılmış bir balona etki eden kuvvetler

Örnek 5:

Basıncın sıvıları ve içindeki cisimleri nasıl etkilediğine bir örnek olarak okyanus ortamını ele alabiliriz. Okyanus yüzeyindeki basınç yaklaşık bir atmosferdir. Ancak derinlere doğru her inişte basınç her 10 metrede yaklaşık bir atmosfer artar.



▲ Şekil 7. Strafor, içi hava dolu birçok küçük baloncuktan oluşur.

Bir sıvıya batırılan bir cisme ne olur? Sıvı, cisim üzerinde nasıl bir etki oluşturur?

Bir cisim bir sıvı ile çevrili olduğunda, sıvı moleküllerinin cisimle çarpışması sonucu bir kuvvet oluşur. Bu kuvvet, cismin tüm yüzeyine etki eder ve daima cismin yüzeyine dik olarak yönlendirilir ve basınç kuvveti olarak adlandırılır.

Akışkanın, akışkan içine batırılmış bir cismin yüzeyinin birim alanı S'ye dik (normal) yönde etki eden F kuvvetine **basınç kuvveti** denir.

Bilim insanları bunu göstermek için şu eğlenceli gösteriyi kullanıyor: Strafor bardakları (Şekil 7) özel bir file torbaya koyup okyanusun derinliklerine indiriyorlar. Bardaklar derinlere battıkça, su basıncının kuvveti onları sıkıştırıyor ve bardakların içlerindeki hava sıkışarak bardakların büzülmesine ve küçülmesine neden oluyor.

İlginçtir ki, bardaklar bardak şekillerini koruyor. Ancak, daha büyük baloncuklar daha fazla sıkışıyor ve sonunda tüm baloncuklar aynı boyutlara geliyor. Bu yüzden bardaklar biraz çarpık görünüyor.

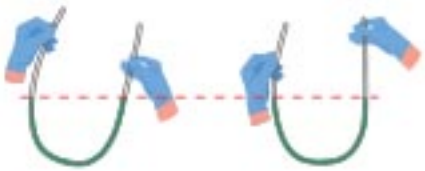


▲ Şekil 8. Bilim insanları, bardakları okyanusun derinliklerine bırakmadan önce boyuyorlar. Millhopper Montessori Okulu'ndaki bu bardaklar artık boyut farkı gösteren orijinal bardağın yanında yer alıyor. Kaynak: NOAA Ocean Exploration, „Exploring Carolina Canyons" seferi

Hidrolik – Paskal Yasası Aksiyonda

Basıncın akışkanlar aracılığıyla nasıl iletildiğini daha iyi anlamak için basit bir deneyi ele alacağız. Bu bilginin hem günlük hayatta hem de teknolojide pratik uygulamaları vardır.

Şeffaf bir plastik hortum alıp renkli suyla dolduruyoruz (Şekil 9). Hortumun her iki ucu da açık. Hortumun sol veya sağ ucunu kaldırsak da, her iki koldaki seviyenin aynı kaldığını göreceğiz. Neden?



▲ Şekil 9. Renkli sıvılar için iki açık ucu olan bir hortum. Resmin solunda, hortumun sol açıklığını, sağda ise sağ açıklığını görebilirsiniz. Her iki durumda ve her iki uçta da su seviyesi aynıdır.

Bunun nedeni, her iki açıklığa da aynı dış basıncın, yani atmosfer basıncının etki etmesidir. Dahası, sıvı sıkıştırılamaz olduğundan, bir kolun hacmindeki herhangi bir artış, diğerinde de aynı oranda bir azalmaya neden olacaktır

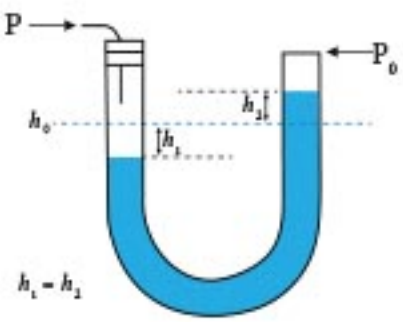
Örneğin, sol uca sertçe üflersek, bir uçtaki basıncı artırırsak ne olur? Hava sıvıya baskı yapacak ve diğer kola doğru çekilecektir. Peki ya basıncı azaltırsak, yani emersek? Sıvı, emdiğimiz kola girecek ve daha yükseğe çıkacaktır.

Örnek 6:

Latin harfi „U" şeklinde bir tüp sıvıyla doludur (Şekil 10). Her iki koldaki sıvı seviyesi başlangıçta h_0 konumundadır. Ardından, sol kola atmosfer basıncından daha büyük bir P basıncı etki eder.

Sonuç olarak, sol koldaki sıvı h_1 yüksekliği kadar alçalır ve sağ koldaki sıvı h_2 yüksekliği kadar yükselir. Sıvı sıkıştırılamaz olduğundan ve tüpün çapı her yerde aynı olduğundan, seviyelerdeki değişimler eşittir: $h_1 = h_2$.

Bu, basınçtaki değişimin sıvı yoluyla iletildiğini ve iki koldaki basınçların oranına bağlı olarak sıvı seviyesinde bir değişime neden olduğunu gösterir.



▲ Şekil 10. Hortum kollarındaki sıvı seviyesinin artırılması ve azaltılması.

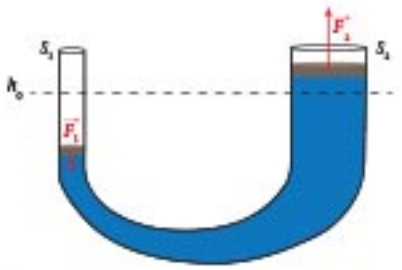
Paskal yasasının günlük hayatta kullandığımız çeşitli cihazlara uygulanmasının temelini oluşturur.

Hidrolikte, sıkıştırılamayan bir akışkanın ilettiği basınç artışına **hidrolik basınç** denir

Bu prensibi kullanan birkaç karmaşık sisteme daha bakalım.

Hidrolik Makineler

Aynı kuvvetin farklı bölgelere etki ettiğinde farklı bir basınç elde edildiğini gördük (Şekil 3). Ancak sıvıların her yerinde basınç aynıdır. Bu, sıvının etki ettiği alanı değiştirerek farklı bir kuvvet elde edilebileceği anlamına gelir. Başka bir örneğe bakalım.



▲ Şekil 11. Sol kolu sağ kolundan daha küçük bir kesite sahip asimetrik bir U-boru. Her iki kolda da sıvı seviyesinin üzerinde, çift kuvvet uygulayabilen bir piston bulunmaktadır.

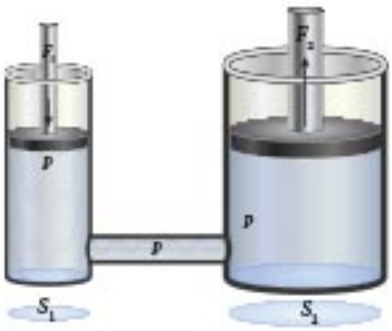
Örnek 7:

Latin harfi „U" şeklinde asimetrik bir tüp sıvıyla doludur (Şekil 11). Her iki koldaki sıvının üzerinde bir piston bulunur. Sol kol, sağ koldan daha küçük bir kesit alanına sahiptir ($S_1 < S_2$). Her iki koldaki sıvı seviyesi başlangıçta h_0 konumundadır. Ardından, sol koldaki pistona S_1 yüzey alanına sahip küçük bir F_1 kuvveti etki eder. Bu, atmosfer basıncından daha büyük, $P = F_1/S_1$, ek basıncı oluşturur.

Paskal yasasına göre, bu ek basınç tüm noktalara eşit olarak iletilecektir. Bu, aynı miktarda basıncın ikinci pistona da etki edeceği anlamına gelir. Peki, kuvvete ne olacaktır? İkinci pistona etki eden F_2 kuvveti daha büyük olacaktır. Aslında, Paskal yasasına göre, basınç sıvı boyunca eşit olarak iletilir, yani:

$$p = \frac{F_1}{S_1} \qquad p = \frac{F_2}{S_2} \qquad \frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$$

Bu örnek, hidrolik sistemlerin çalışma prensibini oluşturan, küçük bir kuvvet olan F_1'in daha küçük bir alana etki etmesi durumunda nasıl daha büyük bir kuvvet olan F_2'yi oluşturabileceğini göstermektedir.



▲ Şekil 12 Hidrolik kriko

Teknolojide bu özellik, Şekil 12'deki çizime benzeyen hidrolik sistemlere uygulanır. Hidrolik sistemlerdeki Pascal yasası, daha küçük piston üzerindeki daha küçük bir kuvvetin, daha büyük piston üzerinde daha büyük bir kuvvet üretmesine izin verir.

Çözülmüş örnek 1:

Hidrolik bir kriko üzerine küçük bir piston bağlanmış ve $F_1 = 50$N'luk bir kuvvet uygulamaktadır. Küçük piston $h_1 = 25$cm alçaltıldığında ve büyük piston $h_2 = 15$ mm yükseltildiğinde büyük pistonun uyguladığı kuvveti hesaplayınız .

Verilen:

$F_1 = 50$ N; $h_1 = 25$ cm $= 25 \cdot 10^{-2}$ m; $h_2 = 15$ mm $= 15 \cdot 10^{-3}$ m

İstenilen:

$F_2 = ?$

Çözüm:

Her iki pistonun basınç denklemleri yazılır:

$$P_1 = \frac{F_1}{S_1} \quad P_2 = \frac{F_2}{S_2}$$

Sıvının hacmi her iki piston için de aynı olduğundan şunu yazabiliriz:

$$S_1 h_1 = S_2 h_2 \qquad \text{veya} \qquad \frac{S_2}{S_1} = \frac{h_1}{h_2}$$

$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$ buradan da şu formülü elde ederiz $F_2 = S_2 \frac{F_1}{S_1} = \frac{S_2}{S_1} F_1 = \frac{h_1}{h_2} F_1$

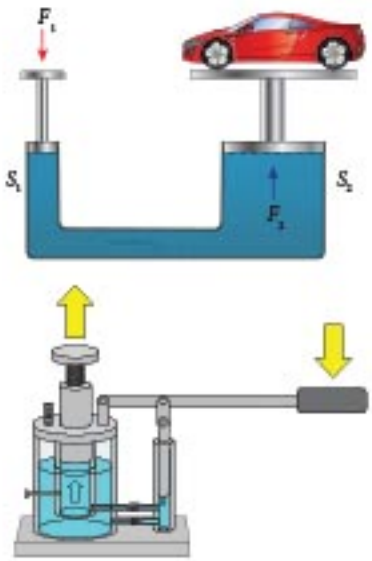
$$F_2 = \frac{25 \cdot 10^{-2}\ \text{m}}{15 \cdot 10^{-3}\ \text{m}} \cdot 50\ \text{N} = 1{,}667 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{3} \cdot 50\ \text{N} = 83{,}35 \cdot 10^{1}\ \text{N} = 833{,}5\ \text{N}$$

Şekil 13'te gösterilen **hidrolik kriko**, Pascal yasasının nasıl kullanıldığına dair bir örnektir. Küçük bir kuvvet F_1, s_1 yüzey alanına sahip küçük bir pistona etki eder ve bu da yağ gibi bir akışkanın basıncında artışa neden olur. Pascal yasasına göre, bu basınç artışı, yağın F_2 kuvveti uyguladığı S_2 yüzey alanına sahip daha büyük bir pistona aktarılır.

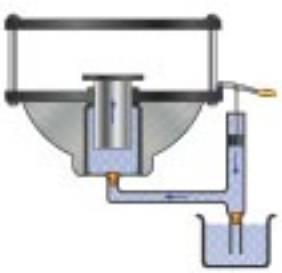
Paskal yasası ve basınç denklemi kullanılarak, akışkanın büyük pistona uyguladığı F_2 kuvveti (Örnek 6 ve 7'de olduğu gibi) şu şekilde bulunur:

$$F_2 = F_1 \frac{S_2}{S_1}$$

Hidrolik pres (Şekil 14) çalışma prensibi de aynı şekilde açıklanmaktadır. Bu pres, nesneleri şekillendirmek, preslemek veya sıkıştırmak için kullanılır. Farklı kesit alanlarına sahip (biri küçük, diğeri büyük) iki silindirden oluşur. Bir boru ile birbirine bağlanır ve sıkıştırılamaz bir sıvıyla (genellikle yağ) doludur. Her silindirin bir küçük, bir büyük pistonu vardır. Temel çalışma prensibi Paskal yasası ve basınç denklemi ile açıklanmaktadır .

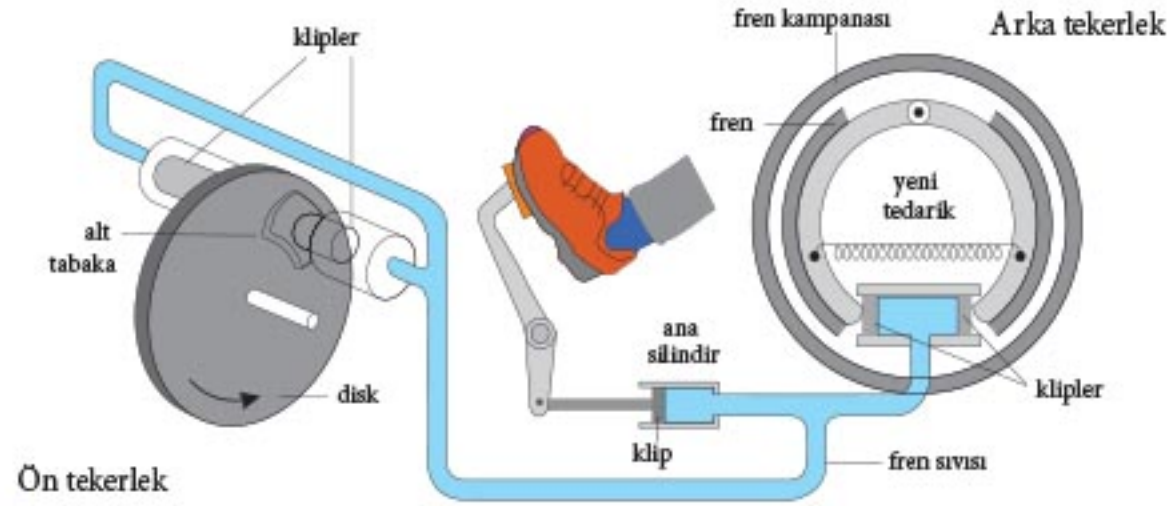


▲ Şekil 13. Hidrolik kriko



▲ Şekil . 14. Hidrolik pres

Hidrolik frenler (Şekil 15), tüm araçların ayrılmaz bir parçasıdır. Sürücü fren pedalına bastığında, silindirdeki fren hidroliğinin basıncını artırır. Bu basınç, aracın tekerleklerine bağlı fren disklerine borular aracılığıyla iletilir. Bu sayede sürücü, az miktarda kuvvet uygulayarak aracı güvenli bir şekilde durdurabilir.



▲ Şekil 15. Hidrolik fren

Daha Fazla Bilmek İstersen:

➤ Su anomalisi

Suyun yoğunluğunda bir anomali vardır: en yoğunu 4 °C'dedir. Bu sıcaklığın altına doğru soğumaya devam ederse, yoğunluğu yeniden azalmaya başlar. Bu, buzun sıvı sudan daha düşük yoğunluğa sahip olduğu anlamına gelir! Su donduğunda, moleküller aralarında daha fazla boşluk bulunan bir yapı oluşturur; böylece buz, sıvı sudan daha düşük yoğunluk kazanır ve bu yüzden yüzer. Yüzme ve batma özelliği hakkında önümüzdeki birkaç derste daha fazla öğreneceksin. Bu özellik, Dünya'daki yaşam için kritik önemdedir. Buz yüzdüğü için göller ve nehirler üstten donar, alt tabakadaki su ise yaklaşık 4 °C sıcaklıkta sıvı halde kalır. Bu da balıkların ve diğer su organizmalarının en soğuk kışlarda bile hayatta kalmasına imkân tanır. Bu anomali olmasa, tatlı su ekosistemlerinde yaşam neredeyse imkânsız olurdu. Bunu evde kendin de deneyebilirsin: Bardağı 0 °C'ye yakın soğuk suyla doldur ve buz küpleri ekle. Sonra suyu karıştır ve termometreyi dikkatlice bardağın dibine indir. Bir süre sonra, bardağın dibindeki suyun sıcaklığının yaklaşık 4 °C olduğunu fark edeceksin. Bunun nedeni, 4 °C'deki suyun en yüksek yoğunluğa sahip olması ve daha soğuk suyun altına batmasıdır.

Blaise Pascal (1623-1662), Fransız bir matematikçi ve fizikçiydi. Matematiğe en büyük katkısı, ünlü bir kumarbazın kendisine sorduğu bir problemi çözmeye çalışırken geliştirdiği olasılık teorisi üzerine çalışmasıydı. Böylece Pascal üçgeni olarak bilinen sayı örüntüsünü yarattı. Ayrıca ilk dijital hesap makinesini de icat etti. Hidrolik basıncın temellerini attı. Ayrıca birkaç felsefi makale yazdı

Clepsydra („su hırsızı") olarak adlandırılan ilk su saati yaklaşık 4.000 yıl önce yapıldı. Antik Yunanlılar, clepsydrayı mahkemelerde yapılan konuşmaların süresini ölçmek için kullanırlardı. Clepsydra, suyun dibindeki küçük bir delikten aktığı bir kaptı. MÖ 3. yüzyılda Ctesibius bu tekniği mükemmelleştirerek hassas su saatleri yarattı. Aynı dönemde, eski Hintliler „gnati" adı verilen basit bir alet kullanıyorlardı. Bu alet, dibinde bir delik bulunan ve 24 dakikada (onlar için bir saat) daha büyük bir su kabına batabilen küçük bir levhaydı.

Zhang Heng, bilinen yıldızların konumlarını gösteren bronz bir küre inşa ederek halkalı küreyi mükemmelleştirdi. Kürenin tam bir yıl süren dönüşü, altına yerleştirilmiş bir su saati tarafından sağlanıyordu.

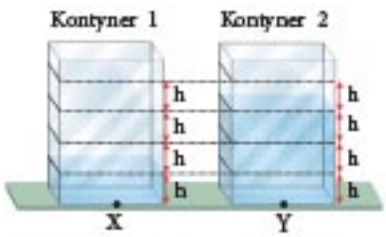
Sorular ve Görevler:

1. Hava ile dolu bir torbayı sıktığınızda ne olur?
2. Basınç ile basınç kuvveti arasındaki ilişki nedir? Aralarındaki farkı açıkla.
3. Sınıf arkadaşlarınla şu konuda bir tartışma yürütün: "Paskal yasasından, gerçek hayatta uygulamaya doğru: modern teknikte hidrolik sistemler".
4. Resimde gösterilen deneyi bağımsız olarak yapın ve açıklayın.

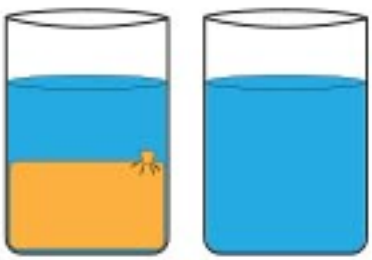


5. Bir araba asansöründe (hidrolik kriko), sıkıştırılmış hava, yarıçapı $R_1 = 9\text{cm}$, küçük pistona bir kuvvetle etki eder. Bu basınç, yarıçapı, $R_2 = 19$ cm olan büyük pistona iletilir.
   a) $G = 1{,}50 \cdot 10^4$ Nağırlığındaki arabayı kaldırmak için büyük pistona etki eden kuvvet nekadardır?
   b) Basıncı hesaplayınız. Pistonların ağırlığına bakmayın.
6. Taban alanı $S = 0{,}5\ \text{m}^2$ olan düşey bir beton kolonun yüksekliği $h = 2{,}5$ m ise kolonun yoğunluğu $\rho = 3000\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Kolonun zemine uyguladığı basıncını hesaplayınız.

4.2 Hidrostatik Basınç



▲ Şekil 1. Katmanların sıvı görünümü



▲ Şekil 2. Üzerine su döktüğümüz bir balon kabı. Sağdaki kapta balon yerine su var.

Sıvının da göz ardı edilemeyecek bir ağırlığı vardır. Bunu özellikle derin sulara dalarken fark ederiz. Derinlere indikçe suyun ağırlığı giderek daha fazla hissedilir. Sıvıyı zihnimizde katmanlara ayırırsak, her katmanın kendi ağırlığıyla altındaki katmanlara baskı yaptığını söyleyebiliriz (Şekil 1).

Örnek: Şişirilmiş bir balonu cam bir kabın içine yerleştirdiğimizi düşünün. Balon kabın dibine yerleştirilir ve belirli bir yüksekliğe kadar tüm alanı kaplar. Ardından kabın içine dikkatlice su dökerek suyun balonun üzerinde toplanmasını sağlarız (Şekil 2). Ne olur?

Suyun ağırlığı olduğundan, balona baskı yapmaya başlar. Bu basıncın etkisiyle balon deforme olur, düzleşir ve aşağı veya yana doğru itilir. Bu, suyun balona baskı uyguladığı anlamına gelir. Şimdi, bir balon yerine, kabın en alt kısmınında su olduğunu düşünün. Bu, suyun üst katmanlarının ağırlıklarıyla alt katmanlara baskı uyguladığı anlamına gelir.

Bir sıvının ağırlığından dolayı oluşan basınca **hidrostatik basınç** denir.

Hidrostatik Basıncın Bağlı Olduğu Niceliklerin Belirlenmesi

Sara, farklı sıvılarla dolu şeffaf tüplerle bir deney yaparken ilginç bir şey fark etti. Her bir tüpün dibinde bir kauçuk zar vardı. İlk tüpü suyla doldurduğunda zar hafifçe esnedi. Ancak aynı yüksekliğe başka bir tüpe bal koyduğunda zar önemli ölçüde daha fazla esnedi. Bu da onu şu soruyu sormaya yöneltti: „Sıvıların yarattığı hidrostatik basınç, sıvının yoğunluğuna bağlı mıdır?“

Bu gözlemden sonra Sara, bilimsel bir araştırma yapmaya karar verdi ve bilimsel problemi, hidrostatik basıncın sıvının yoğunluğuna olan bağımlılığını araştırmak olarak tanımladı. Bunu yaparken, sıvının derinliğini (h) (sıvı sütununun yüksekliği) kontrol değişkeni olarak aldı. Araştırma sırasında Sara, „Bilimsel Araştırma“ dersinde ilk konudan itibaren açıklanan adımları izledi.

Sara, araştırmasının başında şu hipotezi ortaya atar: Bir sıvının yoğunluğu artarsa, basınç da orantılı olarak artar.

Sara, hipotezini test etmek için bir deney planlar: Farklı yoğunluklara sahip üç sıvıda aynı derinlikteki basıncı ölçecektir. Havanın da bir akışkan olduğunu bildiğinden, atmosfer basıncını göz ardı etmeye karar verir.

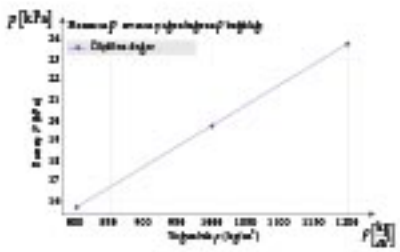
Sara, deneyi gerçekleştirmek için aşağıdaki bağlantıdan tüm öğrencilere sunulan PhET: Under Pressure simülasyonunu kullanır.

▲ Bağlantı simülasyonu

Ölçüme başlamadan önce, ölçüm hatalarını en aza indirmek için simülasyonun sunduğu olanakları kullanır. Ardından derinlik ve yoğunluk değerlerini ayarlar. Aynı derinlikte, üç farklı yoğunluk değeri için üç ölçüm gerçekleştirir. Ölçülen değerleri Tablo 1'e girer ve ardından Grafik 1'i çizer.

Ölçü	ρ (kg/m³)	p (kPa)	p/ρ (Pa/kg/m³)
1	800	15,70	19,63
2	1000	19,65	19,65
3	1200	23,74	19,78
Orta değerde	/	/	19,69

Tablo 1. Aynı derinlikte ölçülen, farklı yoğunluktaki sıvılarda basınç için ölçülen değerler: $h = 2$ m



▲ Grafik 1. Basıncın sıvının yoğunluğuna bağımlılığı

Sara ayrıca basınç ve yoğunluk arasındaki oranı (p/ρ) hesapladı ve tüm ölçümler boyunca yaklaşık olarak sabit kaldığını belirtti. Bu sabit değerini hesapladı ve 1. tabloya yazdı.

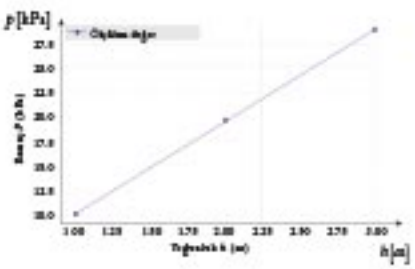
Basıncın yoğunluk ve akışkanlığa bağımlılığı $p = p\,(\rho)$ grafik 1'de gösterilmektedir.

Sara, grafikte elde edilen sonuçları analiz ederek, basıncın sıvının yoğunluğuna olan bağımlılığının doğru orantılı olduğu sonucuna vardı. Bu şekilde, hipotezinin doğruluğunu teyit etmiş oldu .

Miktarların orantılı bağımlılığı şu şekilde yazılır: $p \sim \rho$

Basıncın derinliğe (sıvı sütununun yüksekliğine) bağımlılığını belirlemek için Sara yeni bir hipotez ortaya atıyor: Derinlik artarsa, basınç da orantılı olarak artacaktır.

Bu hipotezin daha fazla deneye tabi tutulması gerekmektedir. Simülasyon. Kontrol değişkeni yoğunluk ρ'dir. Ölçülen değerler Tablo 2'ye girilir ve grafik 2 çizilir:



▲ Grafik 2. Basınç ve derinlik

Yapılan ölçüm sayısı	h (m)	p (kPa)	p/h (kPa/m)
1	1	10,08	10,080
2	2	19,62	9,810
3	3	28,91	9,637
Ortalama değer	/	/	9,842

Tablo 2. Aynı yoğunluktaki $\rho = 1000 kg/m^3$ farklı derinliklerde ölçülen basıncına ait ölçülen değerler.

Elde edilen basıncın derinliğe bağımlılığına ilişkin verileri analiz ederek, grafikte basıncın derinliğe bağımlılığını gösteren noktaların aynı doğru üzerinde olduğunu fark etti. Basınç ile derinlik (p/h) arasındaki ilişkiyi yeniden hesapladı ve tüm ölçümler için yaklaşık olarak sabit bir ilişki elde etti. Değerleri Tablo 2'ye kaydetti.

Bu analiz, niceliklerin bağımlılığının doğru orantılı olduğunu göstermektedir: $p \sim h$

Sara, tablo ve grafiklerde sunulan ölçülen değerlerden hipotezinin doğruluğunu teyit ediyor.

Ancak bu iki araştırmanın sonuçları tek bir sonuca varılabilir. Basınç, sıvının yoğunluğuna ve ölçülen hacmin derinliğine doğrudan bağlı olduğundan, aşağıdaki doğru orantı yazılabilir:

$$p \sim \rho \cdot h$$

Hidrostatik basıncı bir denklemle ifade edebilmek için, Sara önceki araştırmalara dayanarak şu sonuca varıyor: Basınç, yoğunluk, derinlik ve orantı sabiti C nin çarpımına eşittir.

Denklemde temsil edilen niceliklerin orantılılığı

$$p = C \cdot \rho \cdot h$$

Bu amaçla, Tablo 1'deki p/ρ oranının ortalama değeri ölçüm derinliği olan $h = 2$ m'ye bölünür ve sabit için şu sonuç elde edilir:

$$C = \frac{p}{\rho \cdot h}$$

p/h oranını suyun yoğunluğu ile, $\rho = 1000$ kg/m³, bölündüğünde de aynı sonuç elde edilir.

Tablo 1'deki ortalama değerleri değiştirerek :

$$C = \frac{19,69}{2} \frac{\text{Pa kg/m}^3}{\text{m}} = 9,84 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

yada Tablo2'den: $C = \frac{9,842 \cdot 10^3}{1000} \frac{\text{Pa/m}}{\text{kg/m}^3} = 9,84 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Sara, elde edilen değerden ve ölçüm birimlerini kontrol ederek, orantı sabitinin yerçekimi ivmesiyle yaklaşık olarak aynı değere sahip olduğu sonucuna varır ve $C = g$ yazar.

Sonuçlardaki küçük farkı ölçüm hatalarına bağlar.

Göreviniz, p/ρ ve p/h oranlarının her bir ölçümünün mutlak hatasını, iki araştırmanın ortalama mutlak hatasını ve bunların bağıl hatasını belirlemektir. Elde edilen 9,84 m/s² değerinin gerçekten ölçüm hataları dahilinde olup olmadığını ve deneyin tatmin edici bir doğruluğa sahip olup olmadığını tartışın.

Sara, bilimsel araştırmaları sonucunda hidrostatik basınç yasasını şu şekilde tanımlıyor:

Sıvılarda oluşan ve sıvının derinliğine ve yoğunluğuna bağlı olan basınca **hidrostatik basınç** denir.

Hidrostatik basınç aşağıdaki formülle yazılır

$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

Sıvı, içindeki tüm cisimlere ağırlığıyla basınç uygular (Şekil 1). Hidrostatik basınç, basınç denklemi ile de hesaplanabilir: $p = \frac{F}{S}$, burada $F = mg$ e yerçekimi ağırlığıdır. Sıvının kütlesi yoğunluk ve hacim ile ifade edilir: $m = \rho V$, bununla birlikte, hacmin $V = S \cdot h$ olduğu göz önünde bulundurulur. Hidrostatik basınç, basınç denklemi kullanılarak da hesaplanabilir:

$$p = \frac{\rho g S h}{S} \qquad p = \rho \cdot g \cdot h$$

p – hidrostatik basınç; h – derinlik (sıvı sütununun yüksekliği); g – basınç denklemini verir; ρ – akışkan yoğunluğu.

Homojen akışkan, her noktasında aynı bileşime ve aynı fiziksel özelliklere (örneğin yoğunluk, basınç) sahip olan akışkandır.

Denklem, **homojen akışkan** ile dolu bir kaptaki basıncı ifade eder ve sıvının serbest yüzeyinden ölçülen basıncı tanımlar. Atmosfer basıncı (po) hesaba katılmaz. Kullandığımız kap açık olduğundan, sıvının serbest yüzeyine etki eden atmosfer basıncı vardır (Şekil

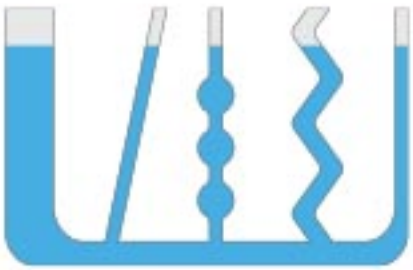
1). Atmosfer basıncının etkisi de hesaba katılırsa, toplam basınç denklemi şu şekilde elde edilir:

$$p = p_0 + \rho \cdot g \cdot h$$

Etkinlik

Sara araştırmasında atmosfer basıncını ihmal etti. Sara'nın yaptığı aynı araştırmayı siz de yapın ancak atmosfer basıncını da dahil edin. Sonuçlarınızı analiz edin ve Sarah'nın sonuçlarıyla karşılaştırın.

Hidrostatik basınç formülünden, bir sıvının oluşturduğu basıncın, içinde bulunduğu kabın şekline değil, yalnızca derinliğine (sıvı sütununun yüksekliğine) ve yoğunluğuna bağlı olduğu anlaşılmaktadır. Bu özellik son derece önemlidir ve birçok doğal ve teknik olgunun temelinde yer alır.



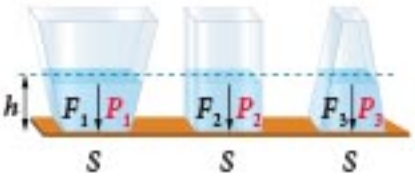
▲ Şekil 3. Bağlantılı gemiler sistemi

Farklı şekillerdeki birkaç kap, sıvının aralarında serbestçe akabileceği şekilde birbirine bağlanırsa, şekilleri ne olursa olsun tüm kaplarda aynı yükseklikte sıvı seviyesi oluşur. Bu sisteme **„bağlı kaplar"** sistemi denir. Şekil 3'te, kaplardaki sıvı seviyesinin aynı olduğu görülebilir. Tüm kolların alt kısımlarına aynı basınç etki eder.

Kamu su şebekelerinde, birbirine bağlı kaplar prensibi kullanılır: su, yüksek yerlere yerleştirilmiş tanklarda depolanır ve yer çekiminin etkisiyle borular aracılığıyla tüketicilere ulaşır. Oluşan basınç, su sütununun yüksekliğine bağlıdır; aşağıdaki noktalarda basınç daha yüksek, yüksek noktalarda ise daha düşüktür. Böylece su, düz alanlarda pompaya ihtiyaç duyulmadan şebeke genelinde eşit olarak dağıtılır.

Hidrostatik Paradoks

Şekil 4'te gösterildiği gibi, aynı taban yüzey alanına (S) sahip, farklı şekillerde üç kap ele alalım. Her kap, aynı yoğunlukta (ρ) bir sıvı içeriyor ve aynı h yüksekliğine kadar dolu. Farklı şekillerden dolayı, her kap farklı hacimde sıvı içeriyor. İki kabın tabanında oluşan basınç kuvvetinin denklemlerini yazalım:



▲ Şekil 4. Farklı şekillerdeki kaplar

$F_1 = p_1 \cdot S$ $\qquad$ $F_2 = p_2 \cdot S$

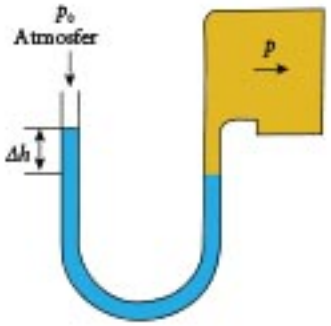
$p_1 = \rho \cdot g \cdot h$ $\qquad$ $p_2 = \rho \cdot g \cdot h$

$F_1 = \rho \cdot g \cdot h \cdot S$ $\qquad$ $F_2 = \rho \cdot g \cdot h \cdot S$

Denklemler, basıncın ve basınç kuvvetlerinin eşit olduğunu göstermektedir. Bu, hidrostatik basıncın, kaptaki sıvının hacmine değil, yoğunluğa, derinliğe ve yerçekimi ivmesine bağlı olmasının bir sonucudur. Bu alışılmadık ve ilk bakışta mantıklı görünen sonuç, hidrostatik paradoks olarak bilinir.

Sara, ölçüm boyunca basıncı ölçmek için bir manometre kullanıyor.

Manometre , bir sıvının basıncını atmosfer basıncına kıyasla ölçen bir cihazdır . Atmosfer basıncı ile ölçtüğü basınç arasındaki farkı belirler. Atmosfer basıncı bir **barometre** ile ölçülürken , daha düşük basınçlar vakum ölçer ile ölçülür. Çalışma prensibine göre manometreler mekanik ve hidrolik olmak üzere ikiye ayrılır. Hidrolik manometre, birbirine **bağlı kaplar** prensibiyle çalışır.



U şeklindeki manometre

▲ Şekil 5. U harfi şeklindeki manometre

Önceki derste, Latin alfabesindeki "U" harfi biçiminde bir hortumdan söz etmiştik ve borunun bir kolundaki basınç değiştiğinde, borudaki sıvı seviyesinin nasıl değiştiğini görmüştük. Bu özellik, bir manometre yapmak için kullanılır: U şeklindeki manometre, U harfi biçiminde bükülmüş cam bir borudur ve bir akışkanla (cıva, alkol, su) doldurulmuştur (Şekil 5). Borunun her iki ucunda da ölçülen basınç değerinin okunabildiği bir ölçek bulunur; sıfır konumu, iki koldaki sıvı seviyelerinin eşit olduğu yer olarak işaretlenmiştir. Borunun bir ucu normal atmosfer basıncına açık, diğer ucu ise basıncını ölçtüğümüz sıvıya bağlıdır.

Manometredeki sıvı, iç basınç kuvveti, tüpteki sıvının oluşturduğu hidrostatik basınç kuvvetine eşit olana kadar hareket eder. Bu durumda, sıvı tüpün her iki ucunda farklı yüksekliklerde olacaktır. Tüpün her iki ucundaki sıvı seviyeleri arasındaki yükseklik farkı, sistemdeki sıvı basıncının değerini verir. Kapalı kaba bağlı koldaki sıvı seviyesi daha düşükse, kapta daha yüksek bir basınç olduğu anlamına gelir. Koldaki sıvı seviyesi daha yüksekse, kaptaki basınç daha düşük demektir.

Örneğin, arabamızın lastiklerindeki basıncı ölçmek istediğimizde bir manometre kullanırız. Cihazın gösterdiği basınç, aslında atmosfer basıncının üzerindeki artan basınçtır. Dolayısıyla, manometre „0" gösteriyorsa, iç ve dış (atmosferik) basınçlar eşit demektir.

Evde manometre yapmak kolaydır: Tek ihtiyacınız olan, renkli suyla dolu U şeklinde sabitlenmiş bir hortum ve bir cetveldir. Cetvel, iki su sütunu arasındaki yükseklik farkını h ölçer ve bu da basınç farkını $p - p_0 = \rho g h = 97.96\ \text{Pa} \cdot h\ (\text{cm})$ olarak verir . (Su dışında bir sıvı kullanırsanız, verilen sabit numara farklı olacaktır).

Çözülmüş örnek 1:

Aynı kesit alanına sahip, at nalı şeklindeki cam bir tüpe cıva dökülür. Tüpün bir ayağına su, diğer ayağına alkol dökülür. Su sütununun yüksekliği $h_v = 30$ cm, alkolün ise $h_a = 10$ cm. ΠSu, cıva ve alkolün yoğunlukları şöyledir: $\rho_v = 1000 \frac{kg}{m^3}$, $\rho_{Hg} = 13600 \frac{kg}{m^3}$ ve $\rho_a = 789 \frac{kg}{m^3}$

Verilen:

$h_v = 30\ cm = 0{,}3\ m$

$h_a = 10\ cm = 0{,}1\ m$

$$\rho_v = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

$$\rho_{Hg} = 13600 \frac{kg}{m^3}$$

$$\rho_a = 789 \frac{kg}{m^3}$$

İstenilen:

$\Delta h_{Hg} = ?$

Çözüm:

Cıva sütununun sol ve sağ kollarındaki serbest yüzeyler arasındaki yüksekik farkını Δh_{Hg} ile gösterelim.

Tüpteki akışkanların hareketsiz olduğunu ve sol ve sağ kollardaki hidrostatik basınçları eşitlediğimizi hesaba katarsak, şunu elde ederiz:

$p_v = p_{Hg} + p_a$, veya $\rho_v h_v g = \rho_{Hg} \Delta h_{Hg} g + \rho_a h_a g$.

g sadeleştirilirse $\rho_v h_v = \rho_{Hg} \Delta h_{Hg} + \rho_a h_a$ elde edilir.

İfadeyi Δh_{Hg} açısından düzenlersek:

$$\rho_{Hg} \Delta h_{Hg} = \rho_v h_v - \rho_a h_a$$

$$\Delta h_{Hg} = \frac{\rho_v h_v - \rho_a h_a}{\rho_{Hg}} = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 0{,}3\ m - 789 \frac{kg}{m^3} \cdot 0{,}1\ m}{13600 \frac{kg}{m^3}} = 0{,}02\ m$$

Etkinlik

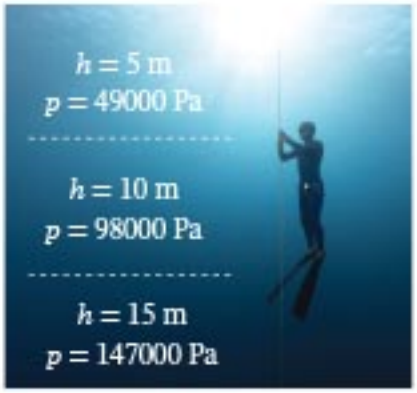
Bir dalgıç, farklı derinliklerdeki deniz basıncını ölçmek istiyordu. Daldığı denizin yoğunluğu $\rho = 1025 \frac{kg}{m^3}$'tür. Bu amaçla araştırmasına dalış ekipmanı ve bir manometre ile başladı.

Sualtı dünyasının güzelliklerini keşfetmek için (Şekil 6), yavaşça suya indi ve bir manometre kullanarak basınçtaki değişimi izledi. $h = 5$ m'lik belirli bir derinlikte, $p = 49000$ Pa'lık bir basınç ölçtü. Bir sonraki ölçümü, basıncın $p = 98000$ Pa olduğu $h = 10$ m'lik bir derinlikte yaptı. Ardından daha da derine indi ve $h = 15$ m'lik bir derinlikte $p = 147000$ Pa'lık bir basınç ölçtü.

Verilen derinlikteki basınç için ölçülen değerleri bir tablo ve grafik olarak sunun.

Yapılan ölçüm sayısı	p (kPa)	h (m)
1		
2		
3		

Tablo 4. Farklı derinliklerde ölçülen basınç değerleri



▲ Şekil 6. Dalış sırasında hidrostatik basıncın derinliğe bağımlılığı

Daha Fazla Bilmek İstersen:

Dalgıç çanları eski çağlardan beri kullanılmaktadır. Dalgıç çanı, suya indirilen ve kişinin su altında çalışmasına ve çanın altında hapsolmuş havayı solumasına olanak tanıyan içi boş, çan şeklindeki bir bölmedir. Gelişmiş versiyonlarında, temiz hava kaynaklarını yenilemek için yüzeyden basınçlı hava pompalanır.

İnsan merakı ve derin sularda bilinmeyeni keşfetme arzusu, insan vücudunu ve teknolojiyi zorlu koşullarda test etmeye yol açar. Hatta bazıları Guinness Rekorlar Kitabı'na bile girmiştir.

En derin serbest dalış, 6 Haziran 2012'de Yunanistan'ın Santorini açıklarında inanılmaz bir derinlik olan 253 metreye (820 fit) inen Avusturyalı Herbert Nitsch tarafından gerçekleştirildi. Bu dalış türüne Limitsiz dalış denir, çünkü dalgıç hızlı iniş için ağırlık, hızlı çıkış için balon kullanır, ancak her şey oksijen tüpleri olmadan yapılır.

Tüplü dalışta (SCUBA), Mısırlı Ahmed Gabr, 18 Eylül 2014'te Kızıldeniz'de Dahab yakınlarında 332,35 metre derinliğe dalarak rekor kırdı. İniş sadece 15 dakika sürmesine rağmen, dikkatli bir dekompresyon gerektirdiğinden yüzeye dönüşü 13 saat 35 dakika sürdü. Dekompresyon, bir dalgıç derinlikten yüzeye dönerken basıncı kademeli olarak azaltma işlemidir.

Bu süreçte, basınç altında solunan havadaki azot vücutta çözünür. Bir dalgıç çok hızlı yüzeye çıkarsa, azot vücuttan aniden kabarcıklar halinde kaçabilir ve bu da dekompresyon hastalığına neden olabilir.

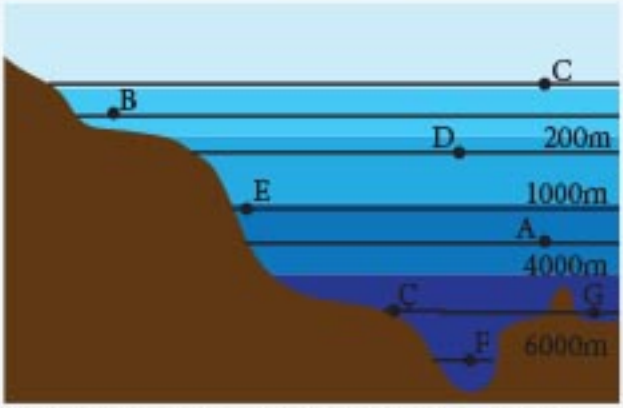
En derin denizaltı dalışı, 2019 yılında Pasifik Okyanusu'nun bilinen en derin noktası olan Mariana Çukuru'nda 10.929 metre derinliğe inen Amerikalı Viktor Vaskovo tarafından gerçekleştirildi. Dünya okyanuslarının bilinen en derin noktası olan Challenger Deep, Vaskovo'nun kullandığı DSV Limiting Factor adlı denizaltıdır ve bu basınca dayanabilen az sayıdaki mürettebatlı araçtan biridir..

Sorular ve Görevler:

1. Hidrostatik basınç bir sıvının yoğunluğuna nasıl bağlıdır?
2. Hidrostatik basıncını bir örnek kullanarak açıklayın.
3. Guinness Dünya Rekorlarını kırarken sudaki basıncı hesaplayın:
   a) Herbert Nitsch ekipmansız dalış yaparken. Deniz suyunun yoğunluğu $\rho = 1024 \frac{kg}{m^3}$ ve yerçekimi ivmesi $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$;
   b) Ahmed Gabr, Kızıldeniz'de tüplü dalış yaparken, yoğunluğu $\rho = 1028 \frac{kg}{m^3}$ ve yerçekimi ivmesi $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$;
   c) Viktor Vaskovo'nun Mariana Çukurundaki denizaltısı, su yoğunluğu $\rho = 1076 \frac{kg}{m^3}$ ve yerçekimi ivmesi $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$.
4. Dünya'nın merkezinden geçerek Dünya'nın bir ucundan diğer ucuna bir tünel kazıyorsunuz ve içini suyla dolduruyorsunuz. Dünya'nın merkezindeki su basıncı ne olur? Dünya'nın kütlesi M ve yarıçapı R olan ideal bir küre olduğunu varsayalım.
5. Titan denizaltı kazasını araştırın. İç patlama terimini tartışın, anlamını ve nedenlerini açıklayın.
6. „Suda seyahat ederken güvenlik" konusunu tartışın.
7. Ohri Gölü'nün en derin noktasındaki hidrostatik basınç $p = 2825,28$ kPa. Ohri Gölü'nün en büyük derinliğinin düzenliliğini hesaplayın. Ohri Gölü'ndeki suyun ortalama yoğunluğu için devamındaki verileri kullanın: $\rho = 1000 \frac{kg}{m^3}$.

   $(g = 9,81 \frac{m}{s^2})$

8. Şekil 7'de işaretlenen noktalara göre, etiketleri azalan sırayla düzenleyiniz; en büyük basınca sahip noktadan başlayıp en küçük basınca sahip noktada bitiriniz.



▲ **Şekil 7.** Hidrostatik basıncın ölçüldüğü noktaların işaretlendiği deniz tabanı.

9. Jüpiter'in uydusu Europa'nın, yüzeydeki buzunun altında sıvı bir okyanusa sahip olduğu düşünülmektedir. Europa'nın yüzeyindeki kütleçekim ivmesi $g = 1{,}315 \frac{m}{s^2}$,dir ve atmosferi yoktur. Bir sondanın, Dünya okyanusunda 99 metre derinlikte maruz kaldığı deneyimleyebilmesi için Europa okyanusunda ne kadar derinliğe indirilmesi gerekir? Deniz suyunun yoğunluğu $= 1025 \frac{kg}{m^3}$,tür ve Europa okyanusunun yoğunluğunun $\rho = 1000 \frac{kg}{m^3}$ olduğunu varsayalım.

10. Şekil 8'de gösterilen örneği kullanarak hidrostatik basıncı açıklayınız:



▲ **Şekil 8.** Farklı derinliklerdeki açıklıkları olan bir bardak

4.3 Kaldırma Kuvveti. Arşimet Kuvveti



▲ Şekil 1. Su altındayken birini taşımak çok daha kolaydır

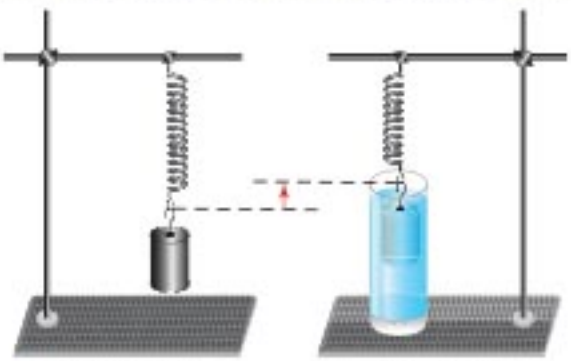
Kaldırma Kuvveti

İnsan, en erken uygarlıklardan itibaren denizleri, okyanusları ve nehirleri seyahat, keşif ve ticaret amacıyla kullanmıştır. Bundan daha 2300 yıl önce, Aristoteles yüzeyde yüzen cisimlerin davranış nedenlerini incelemiştir. O, tuzlu deniz sularında kolayca yüzen yüklü teknelerin, nehir sularına girdiklerinde çoğu zaman batmakta olduklarını fark etmiştir. Bu olgu, sıvıların fiziksel özelliklerindeki farklılıklara, özellikle de yoğunluklarına dikkat çekmiş ve cisimlerin batma–yüzme durumunu doğrudan etkilediğini göstermiştir.

Cisimler sıvıya batırıldığında ağırlıkları azalır. Belki siz de suya girdiğinizde daha hafif olduğunuzu hissetmişsinizdir. Bir arkadaşınızı havuzda kaldırmak karada kaldırmaktan çok daha kolaydır (şekil 1), denizde ise daha da kolaydır. Onun size etki eden ağırlığı daha küçüktür. Suda ağır cisimleri çok daha rahat kaldırabilir, bıraktığınızda ise onların havadakine göre daha yavaş ve daha küçük ivmeyle düştüklerini gözlemleyebilirsiniz.

Şekil 2'de, yayı (dinamometreyi) bağlı metal bir silindir görülmektedir. Dinamometre silindirin ağırlığını hem havada hem de suda ölçmektedir. Silindir suda iken dinamometrede görülen değer daha küçüktür. Buradan, suyun silindire bir kuvvet uyguladığı ve onun ağırlığını azalttığı sonucunu çıkarabiliriz. Silindirin ağırlığının azalabilmesi için bu kuvvetin yönü, yerçekimi kuvvetinin yönüne zıt olmalıdır. Bu kuvvete kaldırma kuvveti denir.

Kaldırma kuvveti, bir sıvının içine batırılan herhangi bir cisme etki eden, dikey olarak yukarı doğru yönelmiş bir kuvvettir. Bu kuvvete Arşimet kuvveti de denir.

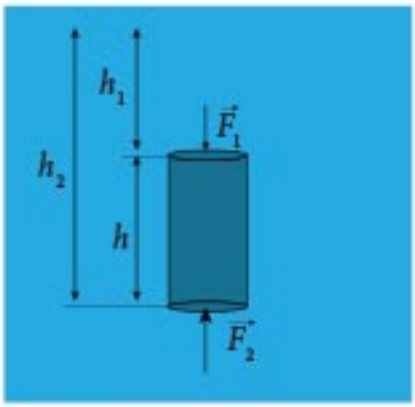


▲ Şekil 2. Suya batırılan bir silindir ağırlığını kaybeder

Arşimet Yasası

Bu kuvvetin ne kadar olduğunu ve nereden geldiğini belirlemek için, su altındaki silindire tekrar bakalım (Şekil 2). Silindirin

üst yüzeyi h_1 derinliğinde, alt yüzeyi ise h_2 derinliğindedir. Sıvı, her taraftan gövdeye bir basınç kuvveti uygular. Her derinlikte, gövdeye iki zıt taraftan etki eden kuvvetler eşit büyüklükte ve zıt yönde olduğundan birbirlerini götürürler. İtme kuvvetine katkıda bulunmazlar.



▲ Şekil 3. Vücut damar yapısı

Düşey yönde etki eden kuvvetler eşit değildir ve birbirlerini götürmezler. Gövdenin alt yüzeyi daha derinde olduğundan, hidrostatik basınç ve basınç kuvveti daha büyüktür. Dolayısıyla, sıvının alt yüzeye (F_2) dikey olarak yukarı doğru etki ettiği kuvvet, üst yüzeye (F_1) dikey olarak aşağı doğru etki eden kuvvetten daha büyüktür.

Alt yüzeydeki hidrostatik basınç şu şekilde olacaktır: $p_2 = \rho \cdot g \cdot h_2$, a tersi $p_1 = \rho \cdot g \cdot h_1$.

Basınç denklemi $p = \frac{F}{S}$, basınç kuvvetinin $F = p \cdot S$ olduğu sonucu çıkar. Her iki yüzeydeki kuvvet için aşağıdakini elde edilir:

$$F_2 = \rho \cdot g \cdot h_2 \cdot S \qquad F_1 = \rho \cdot g \cdot h_1 \cdot S$$

F kuvveti dikey olarak yukarı doğru yönlendirilecek ve bu iki kuvvetin farkına eşit olacaktır. Şu şekilde hesaplanır:

$$F = F_2 - F_1$$

Sonuçta ortaya çıkan F kuvveti dikey olarak yukarı doğru yönlendirilecek ve bu iki kuvvetin farkına eşit olacaktır. Şu şekilde hesaplanır,

$$F = \rho \cdot g \cdot h_2 \cdot S - \rho \cdot g \cdot h_1 \cdot S$$

$$F = \rho \cdot g \cdot S(h_2 - h_1)$$

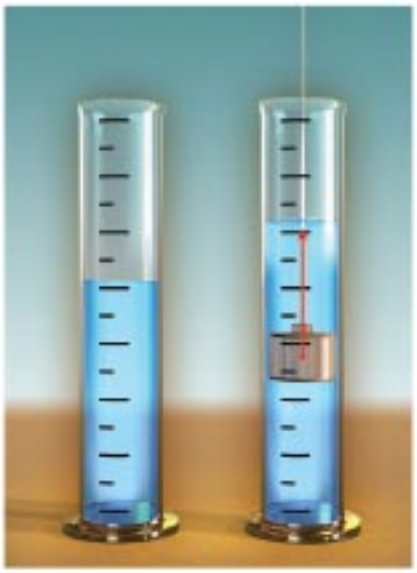
$h = h_2 - h_1$ olduğunu ve ortaya çıkan kuvvetin şu şekilde yazıldığını görebiliriz :

$$F = \rho \cdot g \cdot S \cdot h$$

Silindirin hacmi $V = S \cdot h$, olarak hesaplandığından, itme kuvvetinin denklemi için şunu elde ederiz:

$$F = \rho \cdot g \cdot V$$

Burada ρ suyun yoğunluğu, V silindirin hacmi, g yerçekimi ivmesi.



▲ Şekil 4. Dereceli silindire daldırılmış ağırlık

Bir sıvıya batırılan her cisim, yer değiştiren sıvının ağırlığına eşit büyüklükte bir kaldırma kuvvetine (Arşimet kuvveti) maruz kalır

Bu denklemi nasıl yorumlayabiliriz? Öncelikle, ρ suyun yoğunluğu olduğundan, kaldırma kuvvetinin cismin kendi yoğunluğuna bağlı olmadığını anlıyoruz. Aynı hacme sahip plastik bir top ile demir bir top üzerindeki kaldırma kuvveti aynıdır. Daha sonra fark edebiliriz ki, ρV, çarpımı aslında cismin hacmi kadar olan suyun kütlesini verir. O hâlde $F = mg$, hacmi cismin hacmine eşit olan suyun ağırlığıdır.

Burada vurgulanması gereken önemli nokta, cismin batırıldığında kendi batırılan hacmi kadar sıvıyı yer değiştirmesidir. Bu durum şekil 4'te gösterilen deneyle doğrulanabilir. Bir mezür ile belli bir sıvının hacmi ölçülür. Daha sonra mezüre bir ağırlık batırılır ve sıvının hacmi tekrar okunur. İki ölçüm arasındaki fark, yer değiştiren sıvının hacmini verir ve bu değer, batırılan cismin hacmine eşittir.

Dolayısıyla, kaldırma kuvvetini ifade ederken cismin hacminden değil, yer değiştiren sıvının hacminden bahsediyoruz, çünkü cismin kısmen suya battığı durumları doğru bir şekilde anlamanın tek yolu budur. Bu gibi durumlarda, kaldırma kuvveti yalnızca cismin hacminin suya batmış kısmına bağlı olacaktır.

Bu çıkarımlar aslında Arşimet Yasasıdır:

Yüzme, Batma Ve Yüzeyde Kalma

Suya batırılmış bir cisme etki eden kuvvetler şunlardır: Dikey olarak aşağıya doğru yönelen Dünya'nın yerçekimi kuvveti ve dikey olarak yukarıya doğru yönelen kaldırma kuvveti. Bu iki kuvvetin oranına bağlı olarak, cismin yüzdüğünü, yüzdüğünü veya battığını söyleyebiliriz. Her üç durumu da ele alalım.

Şekil 5, aynı sıvıyla dolu bir kaba yerleştirilmiş farklı yoğunluktaki topları göstermektedir. Şekilde yalnızca dikey yukarı yönlü kaldırma kuvveti $\vec{F}$ ve dikey aşağı yönlü Dünya'nın yerçekimi $\vec{P}$ gösterilmektedir. Bazı durumlarda, şekilde gösterilmeyen ek bir kuvvet olabilir.

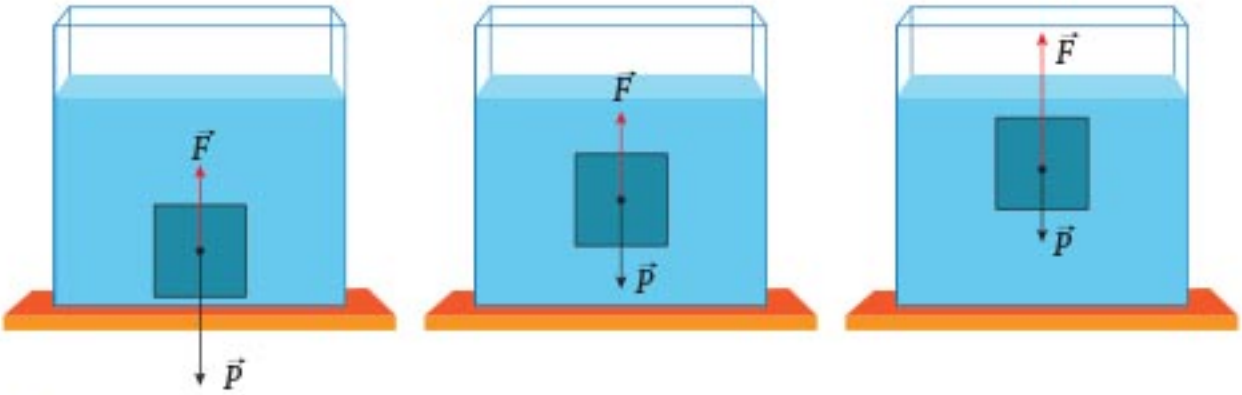
$F = \rho_v \cdot g \cdot V$ olacaktır .

Şekilde gösterilen ilk durumda: Dünya'nın yerçekimi kuvveti P , itme kuvveti F'den daha büyüktür .

$$P > F$$

Sonuçta oluşan kuvvet şu şekilde olacaktır: $F_R = P - F \neq 0$,

bundan şu sonuç çıkar: $P - F > 0$



▲ **Şekil 5.** Farklı yoğunluktaki cisimlerin yerleştirildiği bir sıvı kabı. Çizimde yalnızca Dünya'nın yerçekimi ve kaldırma kuvveti gösterilmiştir; diğer tüm kuvvetler işaretlenmemiştir. Soldaki kaptaki cisim batar, ortadaki kaptaki cisim yüzer (ne batar ne de yüzer), sağdaki kaptaki cisim ise sıvının yüzeyine çıkar.

$P = mg$ yerine kütleyi yoğunluk ve hacim cinsinden ifade edersek yoğunluklar arasındaki ilişkiyi görebiliriz:

$$P = \rho_T \cdot g \cdot V \qquad F = \rho_V \cdot g \cdot V$$

$$\rho_T \cdot g \cdot V > \rho_V \cdot g \cdot V$$

$$\rho_T > \rho_V$$

Tüm nicelikler çıkarıldığında geriye yalnızca yoğunluk kalır. Dünya'nın yerçekimi kuvvetinin, cismin kaldırma kuvvetinden büyük olması koşulu, yalnızca cismin yoğunluğu sıvının yoğunluğundan büyük olduğunda sağlanır.

Bir cismin yoğunluğu, sıvının yoğunluğundan fazla olduğunda, cisim batar. Bunu, örneğin bir taşı suya bıraktığımızda gözlemleriz. Taş batmaya başlar. Cismin havada veya vakumda sahip oduğu kaldırma kuvveti, suda daha küçük bir ivme kazandırır.

Cisim aşağıya doğru düşerken, net bir kuvvet ($F_R \neq 0$) vardır. Cisim dibe ulaştığında, zeminin tepki kuvveti ortaya çıkar ve böylece cisme etki eden kuvvetler dengelenir.

Şekilde gösterilen ikinci durum için: Dünya'nın P cismine uyguladığı yer çekimi kuvveti, F kaldırma kuvvetine eşittir .

$$P = F$$

$F_R = P - F$ olacaktır , bundan şu sonuç çıkar: $P - F = 0$. Bu, cismin ne batacağı ne de yüzeye çıkacağı anlamına gelir, ancak nereye koyarsak koyalım, ivmesi sıfır olacağı için orada kalacaktır.

$P = mg$ yerine kütleyi yoğunluk ve hacim cinsinden ifade edersek , aynı itme kuvvetiк $F = \rho_V \cdot g \cdot V$, verildiğinde , şunu elde ederiz:

$$P = \rho_T \cdot g \cdot V$$

$$\rho_T \cdot g \cdot V = \rho_V \cdot g \cdot V .$$

$$\rho_T = \rho_V$$

Cismin yoğunluğu sıvının yoğunluğuna eşit olduğunda cisim **yüzer.**

Bu durum günlük hayatta nadiren görülür, ancak denizaltılarda yaygın olarak kullanılır , bunu daha sonra ele alacağız.

Şekilde gösterilen üçüncü durum: Yer çekimi kuvveti P, kuvvet ve itme kuvveti F'den küçüktür .

$$P < F$$

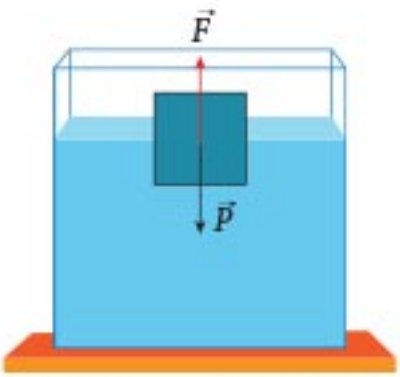
Buna göre, cisim, dikey olarak yukarıya doğru yönelmiş bir kuvvetin etkisi altında kalmaktadır.

Sonuçta ortaya çıkan kuvvet $F_R = P - F \neq 0$ ise, devamı olarak: $P - F < 0$

Arşimet kuvveti yine $F = \rho_V \cdot g \cdot V$ olarak kalır. Eğer bunu $P = mg$, ile değiştirirsek ve kütleyi yoğunluk ve hacim cinsinden ifade ederse o zaman kuvvetler arasındaki ilişki şu şekilde olur: $\rho_T \cdot g \cdot V < \rho_V \cdot g \cdot V$

$$\rho_T < \rho_V$$

Cisim suya batmışken, bir bileşke kuvvet ($F_R \neq 0$). oluşur. Bu kuvvet, cismin yüzeye çıkmasına neden olur. Sonuç olarak, hacminin bir kısmı sıvıdan uzaklaşır ve Arşimet kuvveti azalır. Bunu tekrar $F = \rho_V \cdot g \cdot V_1$, olarak yazabiliriz; bu sefer yer değiştiren sıvının hacmi, cismin suya batmış kısmının hacmine eşit olur. Arşimet kuvveti, cisme etki eden Dünya'nın yerçekimi kuvvetine eşit olana kadar azalır (Şekil 6).



▲ Şekil 6. Sıvının yüzeyinde yüzen cisim

Bu durumda, cismi su altında tutan başka bir kuvvet yoksa, cismin sıvının yüzeyine çıkacağını söyleriz. Sıvının yüzeyindeyse, cismin **yüzdüğünü söyleriz.**

Her üç vaka da Tablo 1'de özetlenmiştir.

Bir cismin yoğunluğu (sıvıyla kıyaslandığında)	Cisim ne yapar?
Daha büyük	batar
Aynı büyüklükte	su üstünde kalır
Daha küçük	yüzer

Tablo 1. Farklı yoğunluktaki cisimlerin bir sıvıya daldırıldığında nasıl davrandığı.

Dikkat:

Cisim yüzerken Arşimet kuvveti ile Dünya'nın yer çekimi eşittir! Aksi takdirde cisim ivmelenirdi.

Etkinlik

Bağlantı, bir sıvıya batırılmış cisimlerin davranışını incelemek ve kaldırma kuvvetini incelemek için kullanabileceğiniz bir simülasyona erişmenizi sağlar. Araştırmanız sırasında cismin kütlesini, hacmini ve yoğunluğunu değiştirin ve sıvının yoğunluğunu da değiştirdiğinizde ne olduğunu gözlemleyin.

PhET: Buoyancy: https://phet.colorado.edu/sims/html/buoyancy/latest/buoyancy_all.html

Aşağıdaki soruları cevaplamaya çalışın:

- Bir cismin yoğunluğu sıvının yoğunluğundan büyük, eşit veya küçük olduğunda cisme ne olur?
- Cismin hacmini değiştirdiğinizde kaldırma kuvveti nasıl değişir?
- Kaldırma kuvveti cismin malzemesine mi yoksa hacmine mi bağlıdır?
- Bir cismi kısmen sıvıya batırdığınızda ne olur

Bir sıvıya batırılmış bir cismin her zaman katı bir cisim olmak zorunda olmadığını vurgulamak önemlidir. Arşimet ilkesi, bir veya iki maddenin farklı yoğunluklara sahip sıvılar olması veya farklı agrega hallerinin (katı, sıvı, gaz) bir araya gelmesi durumunda da geçerlidir.

Örneğin, suya yağ koyarsak, yağ sudan daha düşük bir yoğunluğa sahip olduğu için yüzeye çıkacaktır. Şekil 6, üç farklı sıvının olduğu daha da karmaşık bir durumu göstermektedir: şurup (yeşil, alt), su (mavi, orta) ve zeytinyağı (sarı, üst). Yoğunluk farkından dolayı katmanlar oluştururlar.

Örneğin, suya yağ koyarsak, yüzeye çıkacaktır. Şekil 7, farklı renklerle boyanmış, farklı yoğunluklara sahip üç sıvıyı göstermektedir. Sıvıların içine batırılmış birkaç nesne, tüm veya sadece bazı sıvılarda batmakta veya tüm veya bazı sıvıların üzerinde yüzmektedir. Bu sıvıların her birine farklı nesneler batırılır ve bunların konumları, her katmanın yoğunluğuna göre yoğunluklarına bağlıdır:

En yoğun olan vida, tüm sıvıların altına batar ve dibe düşer.

Çilek yağın içinden geçer, ancak yağdan daha yoğun, sudan daha az yoğun olduğu için suyun yüzeyinde „yüzer“.



▲ Şekil 7. Şurup (yeşil, alt), su (mavi, orta) ve zeytinyağı (sarı, üst) bir bardağa konur. Bir vida (şurubun altına düşer), bir çilek (yağa batmış ama suyun üstünde yüzer) ve bir strafor (yağın yüzeyinde yüzer) sıvıların içine batırılır.

Yoğunluğu en düşük olan strafor, yağın yüzeyinde kalır.

Straforun üzerinde hava olduğunu unutmayalım, dolayısıyla straforun havada „battığını“ da söyleyebiliriz.

Bu örnek, Arşimet ilkesinin tüm madde kombinasyonları için geçerli olduğunu ve bir cismin davranışının, kendi yoğunluğu ile içine daldırıldığı sıvının yoğunluğu arasındaki karşılaştırmaya bağlı olduğunu güzel bir şekilde göstermektedir.

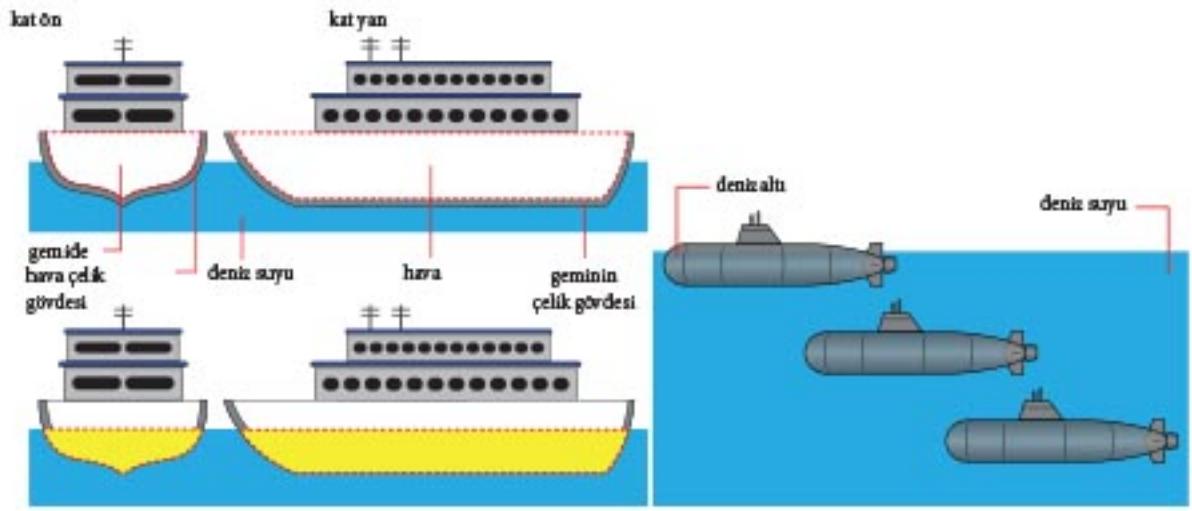
Arşimet Yasasının Pratikte Uygulanması

Arşimet yasası, **gemiler** ve **denizaltılar** gibi su taşıtlarının yüzme, batma ve batma koşullarını açıklamada önemli bir uygulama alanına sahiptir (Şekil 8a ve Şekil 8b). Gemilerin inşa edildiği malzemeler (örneğin çelik) sudan daha yoğun olsa da batmazlar. Peki bu nasıl mümkün olabilir?

Başka bir örneğe bakalım. Plastik sudan daha yoğundur, ancak genellikle yüzen plastik şişeler görürüz (Şekil 9). Bunun nedeni havayla dolu olmalarıdır. Aslında, plastiğin kapladığı hacim o kadar büyüktür ki, eridiğinde büyük miktarda sıvının yerini alır ve bu sayede yüzer.

Benzer şekilde, gemilerin yüzmesinin sebebi de şekillerinde yatar. Geminin iç hacminin büyük bir kısmı hava ile doludur ve bu da yerinden edilen su hacmini artırır. Bu da gemiyi su üstünde tutmaya yetecek kadar büyük bir kaldırma kuvveti oluşturur.

Arşimet ilkesi, bir sıvıya batırılan herhangi bir cismin, yer değiştiren sıvının ağırlığına eşit bir kaldırma kuvvetine maruz



▲ Şekil 8. Yüzen, askıda kalan ve batan cisimler; a) gemi, b) denizaltı

kaldığını belirtir. Gemilerin iç kısımlarının boş olması nedeniyle, ortalama yoğunlukları (toplam kütlenin toplam hacme bölümü) suyun yoğunluğundan daha az olur. Bu nedenle, kaldırma kuvveti gemileri su üstünde tutmaya yetecek kadar büyüktür.



▲ Şekil 9. Plastik şişeler, içlerinde yeterli hava olduğunda yüzer. Bu tür atıklar genellikle nehirlere, göllere ve denizlere karışır ve ciddi bir çevre sorunu oluşturur. Bu nedenle, onları doğaya atmak yerine, çevreye özen göstermek ve su ekosistemlerini canlılar için temiz ve güvenli tutmak önemlidir.

Çözülmüş örnek 1:

Bir yük gemisinin kütlesi 20.000 kg ve taban alanı 50 m²'dir. Geminin tabanından güverteye kadar olan yüksekliği 5 m'dir, ancak güvenlik nedeniyle gemi bu yüksekliğin %80'inden fazla batmamalıdır. Gemi, yoğunluğu 1025 kg/m³ olan sakin deniz suyunda seyrediyor.

Geminin izin verilen deplasmanı aşmadan taşıyabileceği maksimum yük nedir?

Verilen:

$$m = 20\,000\ \text{kg};\ \rho = 1025\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3};\ S = 50\ \text{m}^2;\ h = 5\ \text{m};\ h_1 = 0{,}8\,h$$

Çözüm:

İzin verilen maksimum batma derinliği: $h_1 = 0{,}8 \cdot 5\ \text{m} = 4\ \text{m}$

Geminin izin verilen maksimum batmış kısmının hacmi, dolayısıyla yer değiştiren sıvının hacmi de şöyledir:

$$V = S \cdot h_1$$

$$V = 50\ \text{m}^2 \cdot 4\,\text{m} = 200\ \text{m}^3$$

Geminin üzerine etki edecek Arşimet kuvveti şudur:

$$F_A = \rho \cdot g \cdot V$$

$$F_A = 1025\,\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9{,}81\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 200\,\text{m}^3 = 2\,011\,050\,\text{N}$$

Geminin seyir sırasında güvenli olması için, Arşimet kuvvetinin, gemi ve yükünün birlikte üzerine etki eden yerçekimi kuvvetine eşit olması gerekir, yani:

$$F_A = (m + m_T)g$$

öyle ki yükün kütlesi için aşağıdaki elde edilir:

$$m_T = \frac{F_A}{g} - m$$

$$m_T = \frac{2\,011\,050\,\text{N}}{9{,}81\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}} - 20\,000\,\text{kg} = 185\,000\ \text{kg}$$

Denizcilikte güvenlik için, yalnızca geminin batmaması yeterli değildir; dalgalar veya yükün ani yer değiştirmesi gibi durumlarda dengenin korunabilmesi için geminin bir kısmının mutlaka suyun üzerinde kalması gerekir. Bu nedenle, güverte yüksekliğinden daha az olacak şekilde maksimum izin verilen batma miktarı hesaplanır. Hesaplamalar, bu batma sınırı aşıldığında suyun gemiye girebileceğini ve dengenin kaybolabileceğini göstermektedir. Bu sebeple, gemilerde yolcu sayısı ve izin verilen yük miktarı sıkı bir şekilde sınırlandırılmıştır. Eklenen her bir kilogram, gemide bulunan herkesin güvenliğini tehlikeye atabilir ve riske sokabilir. (Bkz.: Daha fazlasını bilmek istiyorsan).

Öte yandan, denizaltılar yoğunluklarını su depolarını doldurup boşaltarak değiştirebilirler; bu da onlara batma, yüzme veya suyun içinde askıda kalma imkânı sağlar. Depolar, gövdenin iç ve dış kısmı arasında yer alır ve içinde sıkıştırılmış hava bulunur. Denizaltı daha derinlere indiğinde, depolar su ile doldurulur ve böylece ağırlığı artar. Yüzeye çıkarken, sıkıştırılmış hava depolara verilerek su dışarı atılır ve denizaltının ağırlığı azalır.



▲ **Şekil 10.** Berrak okyanus suyunda yüzen ve „kanatlarını" açarak suda hareket eden bir vatoz. Bu, deniz canlılarının minimum enerji harcayarak çevre koşullarına uyum sağlama yeteneğini göstermektedir.

Diğer tüm durumlarda, denizaltı deniz suyunda seyrederken ortalama yoğunluğu yaklaşık olarak suyun yoğunluğuna eşittir. Bu sayede, büyük miktarda enerji harcamadan derinliğini değiştirebilir. Benzer nedenlerle, çoğu deniz canlısının yoğunluğu da yaşadıkları ortamın yoğunluğuna uyum sağlamıştır. Bu onların suyun içinde kolayca yüzmesini ya da çok az çaba ile hareket etmesini mümkün kılar (Şekil 10).

Bazı hayvanlar, balıklar gibi, yoğunluklarını hava keseleri (yüzme keseleri) ile ayarlarken; diğerleri vücut yağlarını veya gaz dolu boşlukları kullanır. Böylece suda denge sağlar ve aktif yüzmeye gerek duymadan belirli bir derinlikte kalabilirler.

Daha önce belirtildiği gibi, Arşimet yasası gazlar için de geçerlidir. Bu durum özellikle sıcak **hava balonlarında** (Şekil 11) uygulanır. İlk sıcak hava balonu 1783 yılında Fransa'da uçurulmuştur. Balonun içindeki hava ısıtıldığında, hacmi balonun kumaşı tarafından sınırlı kaldığı için yaklaşık olarak aynı kalır, fakat yoğunluğu azalır. Bunun nedeni aynı sayıda molekülün daha geniş bir hacme yayılmasıdır. Bu sırada, balonun altı açık olduğundan, iç basınç dış atmosfer basıncına neredeyse eşit kalır. Eğer içerideki basınç önemli ölçüde artsaydı, balon kapalı bir balon gibi davranır ve şişerdi, ancak durum böyle değildir.



▲ **Şekil 11.** Sıcak hava balonu

Isıtılmış hava, çevredeki soğuk havadan daha düşük yoğunluğa sahip olduğundan, balonun (yükü de dahil) ağırlığı atmosferin oluşturduğu kaldırma kuvvetinden daha küçük hale gelir. Bunun

sonucunda balon yükselmeye başlar. Yükselme sırasında yükseklik arttıkça dış basınç azalır, bu da balon içindeki havanın daha da genleşmesine yol açar. İçerideki havanın bir kısmı dışarı çıkabilir ve sistemin (balon ve içindeki hava) ortalama yoğunluğu azalır, bu da balonun yukarı doğru hareketine devam etmesini sağlar. Balonun yoğunluğu çevredeki havanın yoğunluğuna eşitlendiğinde, kaldırma kuvveti ağırlığa eşit olur ve balon yükselmeyi durdurur, yani o yükseklikte denge halinde yüzer (havada asılı kalır).

Arşimet Yasası'nın bilinmesi, yüzme sporunun (şekil 12) açıklanabilmesi açısından da önemlidir. İnsan yüzerken, vücudu kısmen suya batmıştır. Ona birkaç kuvvet etki eder: aşağıya doğru yönelmiş yerçekimi kuvveti (ağırlık), yukarıya doğru yönelmiş Arşimet yasasına göre oluşan kaldırma kuvveti ve hareketini yavaşlatan suyun direnç kuvveti. Sıvıya batırılan her cisme, yer değiştirdiği sıvının ağırlığına eşit bir kaldırma kuvveti etki eder.



▲ Şekil 12. Şamandıranın doğru konumlandırılması

Yüzücü suda sırtüstü uzanıp gerildiğinde, suyla temas eden yüzey alanı artar. Böylece vücut daha fazla su yer değiştirir ve kaldırma kuvveti artar. Bu kuvvet, yüzeyde kalmayı ve konumunu korumayı daha az çabayla mümkün kılar.

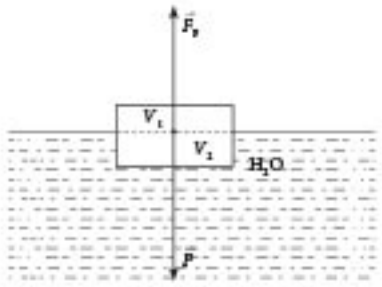
Suda basınç derinlikle artar. Vücudun daha derinlere giren kısımlarına, yüzeydekilere göre daha büyük basınç etki eder. Bu, vücudu yukarı kaldırmaya yardımcı olan doğal bir denge oluşturur, çünkü alt kısma (karın, kalça ve bacaklarda) daha büyük kaldırma kuvveti etki eder. Vücut dengeli şekilde konumlanmışsa, kuvvetler dengelenir ve yüzücü batmadan veya devrilmeden "yüzer".

Yüzmede önemli bir faktör de vücudun **aerodinamik şeklidir**. Aerodinamik şekil, hava direncini azaltan düzgün ve doğru şekilde konumlanmış vücut formudur (şekil 11). Yüzücü vücudunu gerdiğinde (örneğin serbest veya kelebek stilde), suyun direncini azaltır. Su havadan daha yoğun olduğu için, her düzensiz kısım (kaldırılmış baş, bükülmüş vücut) ek direnç oluşturur. Düzgün ve gergin bir vücut, suyun etrafından daha kolay akmasını sağlar. Ön tarafta daha az basınç ve arkada daha az türbülanslı basınç, daha verimli hareket etmeye yol açar.

Daha Fazla Bilgi İçin:

- Samuel Plimsoll, 1876 yılında, tüm büyük gemilerin gövde çevresine bir Plimsoll hattı konulmasını zorunlu kılan bir yasa getirmiştir; bu hat, gemi daha fazla yük taşıdığında suyun gemiye ne kadar yükseldiğini gösterir. Hattaki işaretler ayrıca aşağıdaki kriterlere bağlı olarak suyun yoğunluğunu da gösterir. sıcaklık: TF – tropikal tatlı su; F – tatlı su; T – tropikal tuzlu su; S – yaz ılıman deniz suyu; W – kış ılıman deniz suyu.

- Günümüzdeki teknelerde, suyla dolu olsalar bile batmayı önleyen, havayla doldurulmuş iç bölmeler bulunur.



▲ Şekil 13. Yüzen bir cisim üzerinde etki eden kuvvetlerin diyagramı

Çözülmüş örnek 2:

Suda yüzen bir odun kütüğünün hacmi $V = 8\ m^3$, yoğunluğu ise $\rho = 720\ \frac{kg}{m^3}$ m3›tür. Kütüğün batmış kısmının hacmi ne kadardır ve kütüğün geriye kalan kısmının hacmi ne kadardır?

$(g = 9{,}81\ \frac{m}{s^2}, \rho_v = 1000\ \frac{kg}{m^3})$

Verilen:

$V = 8\ m^3; \quad \rho = 720\ \frac{kg}{m^3}; \quad g = 9{,}81\ \frac{m}{s^2}; \quad \rho_v = 1000\ \frac{kg}{m^3}$

İstenilen:

$V_1 = ?; \quad V_2 = ?$

Çözüm:

Hareketsiz duran bir tahta kütüğe etki eden kuvvetlerin denklemini Newton'un İkinci Yasası'ndan yazınız

$$\vec{P} + \vec{F}_p = 0$$

Vektör denklemini dikey eksene göre yansıtarak şunu yazarız

$$P - F_p = 0$$

$$mg - \rho_v g V_1 = 0$$

$$\rho V g - \rho_v V_2 g = 0$$

$V_2 = V - V_1$ yerini değiştirerek şu sonucu elde ederiz $\rho V g - \rho_v (V - V_1) g = 0$

V_1 için son denklemi çözerek aşağıdakini elde etmiş oluruz

$$\rho V g - \rho_v V g + \rho_v V_1 g = 0$$

$$\rho_v V_1 g = \rho_v V g - \rho V g$$

$$\rho_v V_1 g = V g (\rho_v - \rho)$$

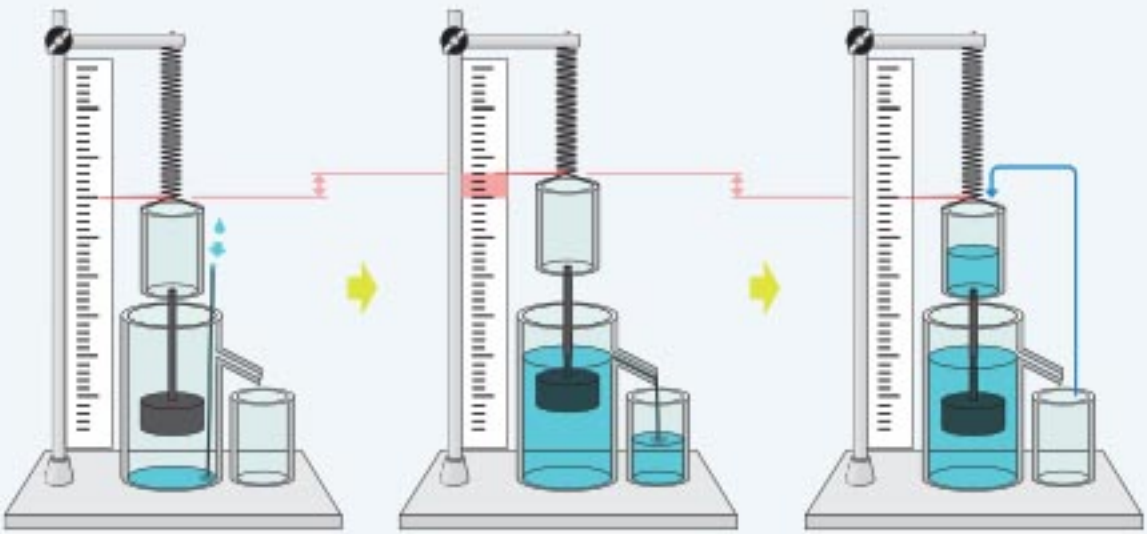
$$\rho_v V_1 = V(\rho_v - \rho)$$

$$V_1 = \frac{V(\rho_v - \rho)}{\rho_v} = \frac{8\,\text{m}^3\left(1000\,\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 720\,\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}{1000\,\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 2,24\,\text{m}^3$$

V_2 elde ettiğimiz sonuç $V_2 = V - V_1 = 8\ \text{m}^3 - 2,24\ \text{m}^3 = 5,76\ \text{m}^3$

Sorular ve Görevler:

1. Suyla dolu bir kaba batırıldığında ağırlığının bir kısmını kaybeden bir ağırlığın asılı olduğu yay ile bir deney yap.
2. "Geminin özel yapısı, seyir sırasında daha büyük stabilite sağlar" konulu bir araştırma yapın.
3. Kaldırma kuvveti nedir? Kaldırma kuvvetini açıklamak için bir kuvvet diyagramı kullanın.
4. Kenar uzunluğu a = 10 cm ve yoğunluğu $\rho = 20\,\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ olan homojen bir küp suya batırılmıştır. Batırılmış küpün ağırlığını hesaplayınız. Suyun yoğunluğu için $\rho_v = 1000\,\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.
5. Bilinmeyen bir sıvı içine batırılmış, hacmin $V = 10\ \text{dm}^3$, olan bir balonun ağırlığı $G_1 = 100$ N. olarak ölçülmüştür. Eğer balonun ortalama yoğunluğu bir şekilde 2 kat azaltılırsa, balon yüzmeye başlayacaktır. Bilinmeyen sıvının başlangıçtaki yoğunluğunu hesaplayın.
6. Resimde gösterilen örneği açıklayın.

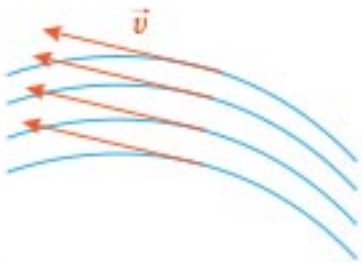


4.4 Süreklilik Denklemi. Bernuli Denklemi.

Akışkan mekaniğinin, sıvıların hareketini ve bu hareketleri tanımlayan yasaları inceleyen kısmına hidrodinamik denir. Gazların hareketi ve bu hareketleri tanımlayan yasalar ise aerodinamik olarak adlandırılır. Her iki kısım birlikte akışkan dinamiğini oluşturur.

Gerçek akışkanların incelenmesi karmaşıktır. Örneğin, sürtünme yalnızca akışkanın kap içinde duvarlarla temas ettiği yüzeylerde değil, aynı zamanda akışkanın kendi iç kısmında da ortaya çıkar. Bu nedenle, yalnızca sürtünme kuvvetlerinin ihmal edildiği ideal sıvı ve gaz modellerini inceleyeceğiz. Ancak, hiçbir zaman sürtünmesiz kusursuz bir akışkan hareketi olmadığını bilmek gerekir. Yine de bu model, çağdaş hayatta karşılaşılan birçok olguyu (örneğin süreklilik denklemi ve Bernoulli denklemi) yeterince doğru şekilde açıklar.

Akışkanın hareketi, parçacıklarının hareketi gözlemlenerek analiz edilebilir. Bu durumda parçacıkların belirli eğriler boyunca hareket ettiği varsayılır; bu eğrilere **akım çizgileri** veya **akı çizgileri** denir. Akım çizgileri, akışkanın hareketini daha kolay açıklamak için kullanılan hayali çizgilerdir. Onlar, herhangi bir noktadaki hızın doğrultusunu, yönünü ve büyüklüğünü belirler. Hızın doğrultusu, o noktadaki akım çizgisinin teğetiyle belirlenir; büyüklüğü ise birim alandan geçen akım çizgilerinin sayısıyla ifade edilir (şekil 1). Eğer bu akış çizgileri zamanla değişmiyorsa, yani akışkanın her noktasında parçacıkların hızı ve yönü sabit kalıyorsa, bu harekete **durağan (sürekli) hareket** denir. Böyle bir durumda, herhangi bir noktadan geçen parçacığın hızı, daha önce aynı noktadan geçen parçacıkların hızına eşit olur.



▲ Şekil 1. Akım çizgileri

Parçacıkların hareket şekline bağlı olarak iki tür akışkan hareketi vardır: laminer ve türbülanslı hareket (Şekil 2). Bir katmandaki parçacıklar diğer katmandaki parçacıklarla karışmadığında ve birbirine paralel çizgiler halinde hareket ettiğinde hareket laminerdir. Parçacıklar katmanlar arasında karışarak her yöne hareket ettiğinde ve girdaplar oluştuğunda hareket türbülanslı olur. Belirli bir kritik hızda, akışkanın laminer hareketi türbülansa dönüşebilir. Bu, dumanın ince bir sütununun tabanda laminer olduğu, ancak yükseldikçe türbülanslı hâle geldiği durumlarda gözlemlenebilir (Şekil 3).



▲ Şekil 2. Laminer ve türbülanslı akışkan hareketi

Süreklilik Denklemi

Her gün akan akışkanlarla karşılaşırız. Doğadaki nehirler ve rüzgâr, evlerimizdeki su tesisatı ve vantilatörler, vücudumuzdaki kan ve hava, akışkanlar her yerde hareket eder. Onların hangi hızla hareket ettikleri neye bağlıdır? Bir anda daha hızlı hareket etmeleri, bir sonraki anda ise nasıl ivmelendikleri nasıl olur?

Belki fark etmişsinizdir: Nehirlerin yatakları geniş olduğunda daha yavaş akarlar; kayalar veya diğer engeller nedeniyle yatak boyutları daraldığında ise su daha hızlı akar. Hortumla oynarken ve bizden kaçan arkadaşımızı ıslatmak istediğimizde, hortumun ağzını başparmağımızla kısmen kapatırız; böylece su daha uzağa ulaşabilir. Küçük yaştan itibaren çocuklara da öğretiriz ki, uzaktaki bir mumu üflemek istediğimizde, güçlü üflemenin yanı sıra dudaklarımızın açıklığını olabildiğince küçük yapmamız gerekir (şekil 4).

Tüm bu durumların ortak noktası nedir? Şunu gözlemleriz: Akışkanların aktığı açıklık (boşluk) daha büyük olduğunda, daha yavaş hareket ederler. Açıklık küçüldüğünde ise hız artar. Açıklığın boyutlarını enine kesit alanı S ile ifade edersek, hareket hızının enine kesite ters orantılı olduğunu söyleyebiliriz $v \sim \frac{1}{S}$. Aynı tarafta toplayıp orantıyı bir denkleme dönüştürürsek, $v \cdot S = C$, yazabiliriz; burada C orantı sabitidir.

Bir kesit alanı S_1 olan bir ortamda v_1 hızıyla akan bir akışkan, diğer kesit alanı S_2 olan bir ortama geçerse, hızı yeni geometriye uyum sağlayacak ve $v_1$olacaktır (Şekil 5). Bu, yukarıda bahsedilen orantı sabitini açıklar. Nitekim, akışın herhangi bir anında $v \times S$ çarpımı aynı olacaktır. Bu ilişkiye süreklilik denklemi denir ve şu şekilde yazılırx:

$$S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2$$

Akışkanın akış hızı v ile aktığı ortamın enine kesit alanı S'nin çarpımı, akışın herhangi bir noktasında değişmez.

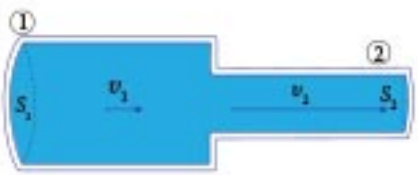


▲ Şekil 3. Tütsülükten çıkan sıvı duman, alt kısımda laminer, üst kısımda ise türbülanslı bir yapıya sahiptir.



▲ Şekil 4. Doğum günü pastasını kız mümkün olduğunca küçültmek için dudaklarını büzüyor

Enine kesit, bir cisim veya yüzeyin hareket yönüne dik açı altında alınan kesitidir



▲ Şekil 5. Farklı kesitli akış borusu

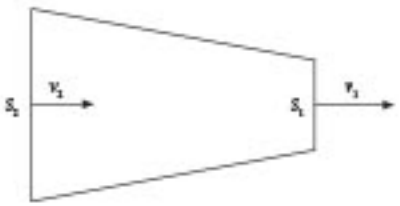
Dikkat:

Süreklilik denklemini daha kolay ifade edip tanımlamak için rastgele yalnızca iki enine kesit seçtik. Üç ya da daha fazla enine kesit seçseniz de aynı sonucu elde edersiniz.

Peki bu neden olur? Sebebi kütlenin korunumu yasasıdır: Borunun bir ucundan giren akışkan kütlesi, diğer ucundan çıkan akışkan kütlesiyle aynıdır.

Çözülmüş örnek 1:

Yatay olarak yerleştirilmiş konik bir tüpün iki farklı kesintinin yarıçapları aşağıdaki gibidir $\frac{r_1}{r_2}=\frac{1}{3}$. Verilen kesitlerdeki akışkan hızlarının oranını belirleyiniz.



▲ Şekil 6. Değişken kesitli yatay olarak yerleştirilmiş boru

Verilen:

$\frac{r_1}{r_2}=\frac{1}{3}$

İstenilen:

$\frac{v_1}{v_2}=?$

Çözüm:

Süreklilik yasasını açıklayan denklem yazılır

$$S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2$$

Kesit alanları için ifadeleri yerine koyarak aşağıdakini elde ederiz

$$r_1^2 \pi v_1 = r_2^2 \pi v_2$$

π teriminin sadeleştirilmesi ve ifadenin ek olarak düzenlenmesiyle şöyle yazılır

$$\frac{v_1}{v_2}=\frac{r_2^2}{r_1^2}=\left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2=3^2=9$$

Etkinlik

Aşağıdaki linkten, akış borusunun farklı kesitlerindeki akışkan akış hızını ölçebileceğiniz bir simülasyona ulaşabilirsiniz.

https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/fluid-pressure-and-flow/latest/fluid-pressure-and-flow.html?simulation=fluid-pressure-and-flow&locale=mk .

Süreklilik denklemi teorik olara nasıl elde edilebilir?

Farklı enine kesit alanlarına sahip bir akım borusundan geçen durağan bir akışkanın hareketini, şekil 5'te gösterildiği gibi, daha ayrıntılı olarak inceleyelim. Akım borusundan geçen akışkanın kütlesi aynıdır, $m_1 = m_2$. Kütleyi hacim ve yoğunlukla ifade ediyoruz: $m = \rho \cdot V$ ve $\rho_1 \cdot V_1 = \rho_2 \cdot V_2$ yazarız. Ancak sıvı sıkıştırılamaz olduğundan yoğunluk her yerde aynıdır; dolayısıyla borudan geçen hacim de aynıdır $V_1 = V_2$.

Belirli bir zaman aralığında Δt, S_1 ve S_2 enine kesitlerinden akışkanın kat ettiği yol sırasıyla $\Delta x_1 = v_1 \cdot \Delta t$ ve $\Delta x_2 = v_2 \cdot \Delta t$ 'dir. Hacim, enine kesit alanı ile kat edilen yolun çarpımı olarak yazılabilir: $V_1 = S_1 \cdot \Delta x_1$ ve $V_2 = S_2 \cdot \Delta x_2$. Kat edilen yolun yerine geçen ifade konulduğunda elde edilir.

Zaman aralığı aynıdır, bu nedenle sadeleşir. Buradan, yukarıda gördüğümüz süreklilik denklemi biçimini elde ederiz:

$$S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2$$

Daha Fazla Bilmek İstersen

Hacim akışı

Kesitlerden ne kadar hacimde akışkan geçeceği ve akışkanın hangi hızda hareket edeceği hacimsel akış hızı Q adı verilen fiziksel bir nicelik tarafından belirlenir.

Birim zamanda belirli bir enine kesitten geçen akışkan hacminin oranı, hacimsel debi Q'yu verir

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

hacim $V = S \cdot \Delta x$ ve kat edilen mesafe yerine $\Delta x = v \cdot \Delta t$ kazanırız.

$$Q = \frac{S \cdot v \cdot \Delta t}{\Delta t}$$

hacim akış denklemini elde ederiz.

$$Q = S \cdot v$$

$S \cdot v$ çarpımı sabit olduğundan, akış hızı borunun daraldığı yerde artacak, genişlediği yerde ise azalacaktır. Aslında,akış hızı

kesit alanına ya da borunun yarıçapının karesine ters orantılıdır diyebiliriz..

Çözülmüş örnek 2:

Su, farklı çaplardaki bir borudan akmaktadır. Akış hızı $v \quad 5\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ ise, yarıçapı r=3,5 cm olan bir boru kesitindeki suyun hacimsel debisini hesaplayınız.

Verilen:

$r = 3,5\,\mathrm{cm}\,;\; v = 5\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$

İstenilen:

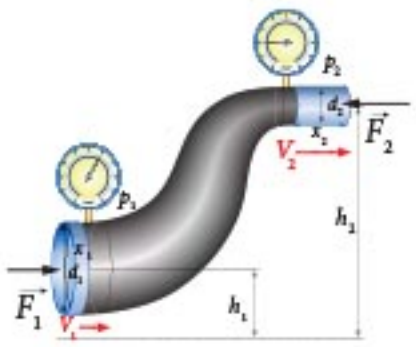
$Q =$

Çözüm:

$$Q = S \cdot v = r^2 \pi v = \left(3,5 \cdot 10^{-2}\right)^2 \cdot 3,14 \cdot 5 = 192,325 \cdot 10^{-4}\,\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}}$$



▲ Şekil 7. Değişken kesitli boru.



▲ Şekil 8. Farklı kesitli eğimli boru

Bernuli Denklemi

Şekil 5'teki farklı enine kesitli boruyu hatırlayın. Enine kesitin daha küçük olduğu kısımda akışkan daha hızlı akar. Daralmadan önce ve sonra bir manometre yerleştirirseniz ilginç bir şey fark edersiniz: daralmadan önceki basınç, daralmadan sonraki basınçtan büyüktür. Bu, alt uçta manometreye bağlanan iki açıklığa sahip, değişken enine kesitli bir borunun gösterildiği şekil 7'de görülebilir. Öğrenci borunun bir tarafından üflüyor. Borunun daha dar olduğu kısımda basınç daha küçüktür. Burada hızın daha büyük olduğunu biliyoruz; demek ki hız arttığında basınç azalır.

Hız ile basınç arasındaki bu ilişki, hareket halindeki akışkanlar için geçerli daha genel bir ilkenin somut bir örneğidir—Bernuli ilkesi. Şekil 8'in yardımıyla bu fiziksel büyüklüklerin ilişkisini veren ifadeyi türeteceğiz.

Verilen şekilde, içinden durağan bir akışkanın (sıvının) aktığı eğimli bir akım borusu gösterilmiştir. Rasgele seçilen enine kesitler S_1 ve S_2 farklı yüksekliklerdedir: h_1 ve h_2. $\vec{F}_1$ kuvveti, S_1 enine kesitinde p_1 basıncını uygular. Dış kuvvet $\vec{F}_2$, S_2 enine kesitinde p_2 basıncını uygular. F_1 kuvveti F_2 kuvvetinden büyük olduğunda, sıvı S_1'den S_2'ye doğru hareket eder. Belirli bir Δt zamanında, enine kesitten kütlesi m ve hacmi V olan bir sıvı geçer.

Hareket eden kuvvet $F_1 = p_1 \cdot S_1$ pozitif iş yapar A_1, m kütlesi x_1 mesafesinde, v_1, hızı ile akışkanı Δt süresinde hareket ettiriyoruz.

$$A_1 = F_1 \cdot x_1 = p_1 \cdot S_1 \cdot x_1 = p_1 \cdot S_1 \cdot v_1 \cdot \Delta t$$

F_2 kuvveti , zıt olduğundan A_2 negatif iş yapar. Sıvının hareket yönü. Aynı Δt süresi için kuvvetin yaptığı iş şu şekilde olacaktır:

$$A_2 = -F_2 \cdot x_2 = -p_2 \cdot S_2 \cdot x_2 = -p_2 \cdot S_2 \cdot v_2 \cdot \Delta t$$

m kütleli bir akışkanın kesit boyunca hareketi S_1, kinetik enerjisi E_{k1}

$$E_{k1} = \frac{m \cdot v_1^2}{2}$$

m kütleli bir akışkanın kesit boyunca hareketi S_2, kinetik enerjisi E_{k2}

$$E_{k2} = \frac{m \cdot v_2^2}{2}$$

Yatay yüzeye göre h_1 ve h_2 yüksekliklerinde bulunan S_1 ve S_2, kesitlerindeki sıvının sahip olduğu potansiyel enerji :

$$E_{p1} = m \cdot g \cdot h_1 \quad \text{ve} \quad E_{p2} = m \cdot g \cdot h_2$$

Enerjinin korunumu yasasına göre yapılan toplam iş, kinetik ve potansiyel enerjideki değişimin toplamına eşittir:

$$A_1 + A_2 = \Delta E_k + \Delta E_p$$

$$\Delta E_k = \frac{m \cdot v_2^2}{2} - \frac{m \cdot v_1^2}{2}$$

$$\Delta E_p = m \cdot g \cdot h_2 - m \cdot g \cdot h_1$$

İş ve enerji ifadelerinin yerlerini değiştirdiğinizde denklem şu şekilde yazılacaktır:

$$p_1 \cdot S_1 \cdot v_1 \cdot \Delta t - p_2 \cdot S_2 \cdot v_2 \cdot \Delta t = \frac{m \cdot v_2^2}{2} - \frac{m \cdot v_1^2}{2} + m \cdot g \cdot h_2 - m \cdot g \cdot h_1$$

Denklemi öyle düzenliyoruz ki, eşitliğin bir tarafına enine ait olan terimler yazılır.

Kesit S_1 ve diğer taraftan kesit S_2 için gerekli olan tüm adaylar.

$$p_1 \cdot S_1 \cdot v_1 \cdot \Delta t + \frac{m \cdot v_1^2}{2} + m \cdot g \cdot h_1 = p_2 \cdot S_2 \cdot v_2 \cdot \Delta t + \frac{m \cdot v_2^2}{2} + m \cdot g \cdot h_2$$

Süreklilik denklemine göre: $S_1 \cdot v_1 \cdot \Delta t = S_2 \cdot v_2 \cdot \Delta t = V$

$$p_1 \cdot V + \frac{m \cdot v_1^2}{2} + m \cdot g \cdot h_1 = p_2 \cdot V + \frac{m \cdot v_2^2}{2} + m \cdot g \cdot h_2$$

Bernuli denklemi, borunun uzunluğu boyunca herhangi bir dal (veya kesit) için geçerlidir. Dolayısıyla, denklem şu şekilde de yazılabilir:

$$p \cdot V + \frac{m \cdot v^2}{2} + m \cdot g \cdot h = const$$

Akışkanın hareketi sırasında toplam enerji değişmez. Akışkanın hacimsel $p \cdot V$, kinetik $\frac{m \cdot v^2}{2}$ ve potansiyel $m \cdot g \cdot h$ enerjilerinin toplamına sabittir.

Son denklemde kütle için $m = \rho \cdot V$ yazıyoruz ve sonra hacim V'ye bölüyoruz.

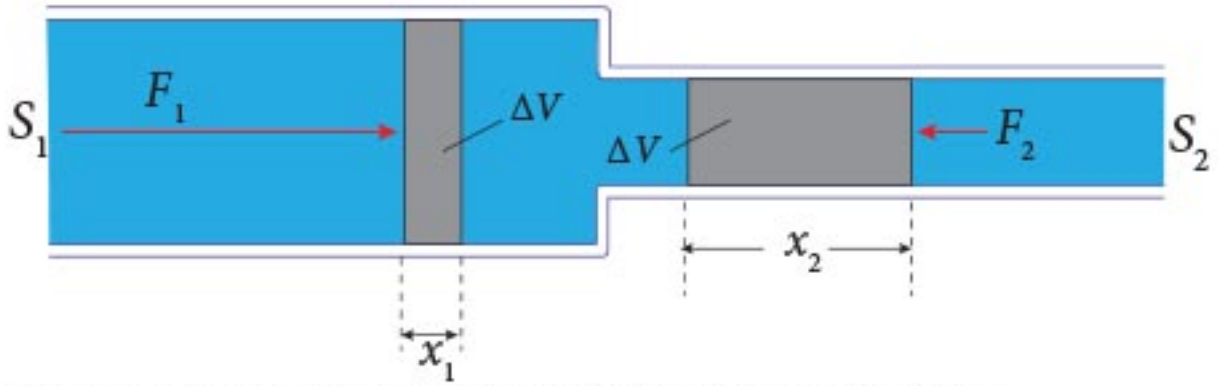
Denklem şu şekilde olacaktır:

$$p + \frac{\rho \cdot v^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h = const$$

Akışkanın akım borusunda durağan akışı sırasında, borunun herhangi bir yerinde statik, dinamik ve hidrostatik basınçların toplamı sabit kalır.

Yatay olarak yerleştirilmiş bir akış tüpü için (Şekil 9), Bernoulli denklemi şu şekilde olacaktır:

$$p + \frac{\rho \cdot v^2}{2} = const$$



▲ Şekil 9. İki eşit hacimde sıvının işaretlendiği, farklı kesit alanına sahip bir akış tüpü. Sıvı sağa doğru hareket ediyor.

Bernul Denkleminden Örnekler

Bernuli denklemi belirli problem durumlarını çözmek için kullanılabilir. Bunlardan biri, küçük bir açıklıktan akan bir sıvının hızını belirlemektir. Sıvıyı içeren kabın kesiti, açıklığın kesitinden çok daha büyüktür.

Çözülmüş örnek 3:

Toriçeli teorisi

Bir depoda 1,5 m yüksekliğinde, tamamen suyla dolu metal bir tank bulunmaktadır. Tankın dibinde 1,8 cm çapında küçük bir delik bulunmaktadır. Su buradan akarak doğrudan deliğin altına yerleştirilmiş bir kovaya düşmektedir. Tank tamamen dolduğunda su ne kadar hızla dışarı akacaktır?

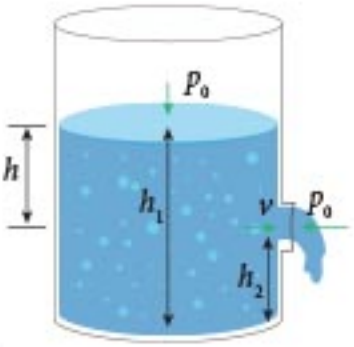
Verilen: **İstenilen:**

$h = 1,5\text{m}$ $v = ?$

Çözüm:

Bir tanktan su sızıntı oranını hesaplamak için Bernuli denkleminden başlamamız gerekir. Tanktaki sıvının yüzey alanını ve açıktaki sıvının yüzey alanını dikkate alırız.

$$p_1 + \frac{\rho \cdot v_1^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h_1 = p_2 + \frac{\rho \cdot v_2^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h_2$$



▲ Şekil 10. Küçük bir açıktan akan su dolu bir tank. Torniçeli teorisi.

Örnek 4:

Problemin koşullarına göre (Şekil 10): $P_1 = P_2 = P_0$ atmosferik baskıdır; v_1 hız ve hareket Tank ve tankların kesit alanı çok daha büyük olduğundan $v_1 \approx 0$; h açıklığın üstündeki yüksekliktir ve iki yüzeyin üstündeki yüksekliklerin farkına eşittir $h = h_1 - h_2$; ρ rezervuardaki suyun yoğunluğudur; g yer çekimi ivmesidir.

Bernuli koşullarını karşılaştırırsak:

$$p_0 + \frac{\rho \cdot v_1^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h_1 = p_0 + \frac{\rho \cdot v_2^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h_2$$

$$g \cdot h_1 - g \cdot h_2 = \frac{v_2^2}{2};$$

$$g(h_1 - h_2) = \frac{v_2^2}{2}$$

$v_2 = v$ - akımın aktığı hız, buradan hız için şu ifadeyi elde ederiz:

$$v = \sqrt{2gh}$$

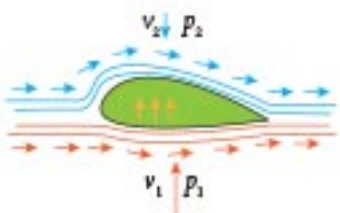
Örnekte verilen değerleri yerine koyarak tanktan suyun ne kadar hızla aktığını bulmak mümkündür.

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 1{,}5} = \sqrt{29{,}43}\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 5{,}42\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Denizaltılarda aristosu rezervinin dolma ve boşalma hızının açıklaması Toriçeli teoremi ile verilmektedir.

Uçaklar nasıl uçar?

Aerodinamik şekil, havada hareket ederken mümkün olan en az direnci sağlayan belirli bir gövde şeklidir. Hava akışı gövdenin etrafına eşit olarak dağıtılır. Gövde aerodinamik tasarımının temel amacı, türbülansı azaltmak, hava ile sürtünmeyi azaltmak ve kaldırma kuvvetini artırmaktır. Bernuli denklemine göre, aerodinamik bir gövdede, kanat üzerinde hareket eden hava, kanat altında hareket eden havadan daha yüksek bir hıza sahiptir. Hız daha yüksek olduğunda, statik basınç daha düşüktür. Bu, hem uçuşun hem de kara ve su kütlelerinin dengeli hareketinin temelini oluşturur.



▲ Şekil 11. Aerodinamik şekil

Bir uçağın kanadı aerodinamik bir şekle sahip olacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 11), bir ucu kavisli, diğer ucu düzdür.

Hafifçe kavisli. Bu şekilde, hava kanat üzerinde daha yüksek bir hızda hareket ederek daha düşük bir statik basınç oluşturur. Kanat altındaki hava hızı daha düşük ve statik basınç daha yüksektir. Bu da uçağı havada tutan bir kaldırma kuvveti oluşturur (Şekil 12).



▲ Şekil 12. Uçakta kaldırma kuvveti

Uçaklardaki kaldırma kuvveti Bernuli denklemi ile açıklanır:

$$p_1 + \frac{\rho \cdot v_1^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h_1 = p_2 + \frac{\rho \cdot v_2^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h_2$$

Uçağın kanadının üst ve alt kısımları yaklaşık olarak aynı yüksekliktedir $h_1 = h_2$, bu nedenle denklem şu şekilde yazılabilir

$$p_1 \frac{\rho \cdot v_1^2}{2} \quad p_2 \quad \frac{\rho \cdot v_2^2}{2}$$

Uçağın kanadının üzerindeki hız v_2 uçağın altındaki kanat altındaki hızdan v_1 ($v_2 > v_1$), büyük olduğundan, statik basınç $p_1 > p_2$ olur.

Basınç farkından dolayı, dikey olarak yukarı doğru bir kaldırma kuvveti ortaya çıkar.

Dikkat:

Asla yüksek hızda araç kullanmayın ve diğer araçlara veya cisimlere yaklaşmayın!

Örnek 5:

Trafikte güvenlik.

Havanın hareketini (akışını) tanımlayan yasaların bilinmesi trafik güvenliği açısından önemlidir.

Bazen arabalar birbirlerine çok yaklaşırlar; örneğin birbirlerini solladıklarında, zıt yönlerde birbirlerine çok yakın geçtiklerinde veya aniden durduklarında. Yüksek hız yapan arabalar arasındaki mesafe azsa, çarpışma riski daha yüksektir.

Aralarındaki mesafe az olduğunda hava akış hızı yüksektir. Bu durum, düşük akışlı bir sıvı ile bir borunun kesitinin daraltılmasına benzer. Bu, dinamik basınçta artış, statik basınçta ise azalma olacağı anlamına gelir. Araçlar arasındaki statik basınç, araçların dışındaki atmosfer basıncından daha düşük olacak ve bu da araçların birbirine yaklaşmasına neden olacaktır.

Etkinlik

Bir pinpon topu ve huni kullanarak basit bir deney yapabilirsiniz. Huniyi geniş kısmı aşağı bakacak şekilde çevirin ve elinizde bir pinpon topu tutun. Huninin dar kısmına sertçe üflemeye başladığınız anda, topu bırakın ve ne fark ettiğinizi açıklayın.

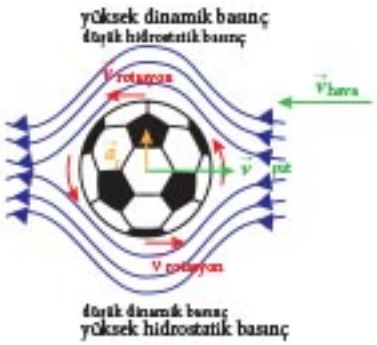
Daha Fazla Bilgi İçin:



▲ Şekil 13a. Futbol topunun e-fe vuruşundaki hareketi eğri bir yörünge izler.

Bir futbol topu vuruşu sırasında ne olur (Şekil 13a)? Top neden futbolcunun vurduğu yönde değil de, kavis çizerek hareket eder? Bu etkiye, 1852'de bu etkiyi tanımlayan Alman fizikçi Heinrich Gustav Magnus'un anısına Magnus etkisi denir. Bu olgu, bir cismin, örneğin bir futbol topunun havada hareket ederken dönmesiyle ortaya çıkar ve Bernoulli denklemiyle açıklanır.

Top, atış nedeniyle havada hareket eder, ancak hareketin göreliliği gereği, referans çerçevesini topun içine yerleştirirsek, hareket eden hava olacaktır. Top dönmüyorsa, havanın topa göre hızı, topun etrafındaki tüm yönlerde aynı olacaktır. Top döndüğünde, hava katmanını doğrudan kendi etrafında „çeker", böylece topla aynı yönde dönmeye başlar.



▲ Şekil 13b. Futbolda falsolu vuruşta Magnus etkisinin açıklaması

Havanın topa göre bu iki hareketi birbirine eklenir. Topun saat yönünün tersine döndüğü ve sağa doğru hareket ettiği, dolayısıyla havanın ona göre sola doğru hareket ettiği durumu ele alalım (şekil 13b). O zaman, şutun hızı ile dönme hızı aynı yönde olduğu için üst taraftaki havanın toplam hızı daha büyük olur; yani hızlar toplanır: $v_{yukarı} = v_{hava} + v_{rotasyon}$. Karşı tarafta hava hızı azalacaktır, çünkü bu sefer şutun hızı ile dönüş hızı zıt yöndedir ve birbirinden çıkarlar: $v_{aşağıya} = v_{hava} - v_{rotasyon}$.

Dinamik basınç, akışkan daha büyük hızla hareket ettiğinde daha büyüktür (yukarıdaki durum). Bernoulli denklemine göre, dinamik basıncın büyük olduğu yerde hidrostatik basınç daha küçüktür. Bu, hidrostatik basıncın karşı uçta, aşağıda daha büyük olacağı anlamına gelir. Topun iki ucunda basınç farkı vardır ve bu da bir basınç kuvvetinin ortaya çıkmasına yol açar. Bu kuvvet, yörüngenin eğrilmesine neden olur; bu da cismin hareket yönüne dik, merkezcil bir ivmeye sahip olduğunu ifade eder. 2. Konuda gördüğümüz gibi, merkezcil ivme cismin hareket yönünü değiştirir.

Biliyor musun...?

Daniel Bernoulli (1700-1782), İsviçreli bir matematikçi, fizikçi, vaiz ve filozoftur. Zamanının en büyük bilim insanlarından biridir. Matematik profesörü ve Saint Petersburg Bilimler Akademisi üyesidir. Basel Akademisi›nde anatomi ve fizyoloji profesörüdür. Aynı akademide Fizik Bölümü Başkanı ve Deneysel Fizik Profesörüdür. Bir matematikçi olarak diferansiyel denklemler teorisi, istatistik uygulamalarıyla olasılık teorisi ve sıra teorisi üzerinde çalışmıştır. Fizikte en çok hidrodinamiğin kurucusu olarak bilinir. Çalışmalarında

"Hidrodinamik veya Akışkanların Kuvvetleri ve Hareketleri Üzerine Notlar" (1738), hidrodinamik, hidrostatik ve hidrolik problemlerini ele alır. Bu 13 bölümlük eserde, sıkıştırılamaz akışkan hareketindeki mekanik enerjinin korunumuna dayanan ve Bernoulli denklemi olarak bilinen, akışkanların hareket halindeki temel yasası türetilmiştir.

Amelia Earhart (1897–1937), Amerikalı bir havacı ve yazardı. Havacılık tarihinin en önemli isimlerinden biridir. Uçakların yeni bir teknoloji olduğu ve pilot sayısının sınırlı olduğu bir dönemde uçtu. 1921›de pilotluk eğitimi aldı ve sadece bir yıl sonra Ulusal Havacılık Birliği›nden pilot lisansını aldı. Aynı yıl, o zamana kadar bir kadının ulaştığı en yüksek irtifa olan 4.300 metreye (14.000 fit) tırmanarak ilk rekorunu kırdı.

En büyük başarısı, 1932 yılında Lockheed Vega 5B tipi bir uçakla Kanada›nın Newfoundland kentinden tek başına uçup yaklaşık 15 saat sonra İrlanda›ya inmesiydi. Bu başarıyla, daha önce yalnızca Charles Lindbergh›in başardığı bir başarı olan, Atlas Okyanusu›nu tek başına geçen ilk kadın oldu.

Amelia, kariyeri boyunca birçok hız, irtifa ve uçuş rekoru kırdı. Dar gövdeli uçakların tasarım ve geliştirilmesinde yer aldı ve uluslararası bir kadın pilotlar örgütü olan The Ninety-Nines›ın aktif bir üyesiydi.

1937 yılında ekvatoral rotayı takip ederek dünyayı dolaşma girişiminde bulundu ancak Pasifik Okyanusu üzerinde kayboldu ve akıbeti hala bilinmiyor.

Amelia, toplumsal cinsiyet eşitliği için aktif olarak mücadele etti ve toplumun onlardan beklentileri ne olursa olsun, kızları ve kadınları öğrenmeye, keşfetmeye ve büyük hayaller kurmaya teşvik etti. Bilim, teknoloji ve havacılığın ne eril ne de dişil olduğunu, meraklı ve cesur herkese açık insani alanlar olduğunu gösterdi.

Sorular ve Görevler:

1. Süreklilik denklemi neyi açıklar?
2. Bir akışkan farklı kesitlere sahip bir borudan geçtiğinde, akış hızında bir değişiklik olur. Bunun neden olduğunu açıklayın.
3. Bir manometre yapmak için hangi malzemelere ihtiyacınız var? Yaptığınız manometre ile bir deney yapın.

4. Yüzme sırasında insan vücuduna etki eden kuvvetleri bir şema üzerinde gösteriniz.
5. „Bir aracın aerodinamik şeklinin hız ve denge üzerindeki etkisi“ konulu araştırma yapmak.
6. „Fizik, trafik güvenliğini artırmamıza yardımcı oluyor“ konusunu tartışın.
7. Hayali akım çizgilerini kullanarak, akışkanın hareket ettiği akım çizgisinin herhangi bir noktasındaki hızının yönünün ve şiddetinin nasıl belirlenebileceğini açıklayınız.
8. Aerodinamik cisimleri araştırın. Bernuli denklemini kullanarak araştırmanız sırasında bulduğunuz iki örneği açıklayın.
9. İdeal bir akışkanın S_1 kesit alanına sahip bir borudan sabit hızla geçmesi sırasında, akışkan bir noktada kesit alanı S_1'in üç katı olan başka bir boruya geçmektedir. Bu noktada hız $4\frac{\text{m}}{\text{s}}$. azalmaktadır. Her iki borudaki akışkanın hızını hesaplayınız.
10. 30 cm yüksekliğindeki bir merdivene bir hortum monte edilmiştir. Merdivenin alt kısmındaki hortumdaki suyun hızı 1,5 m/s'dir ve merdivenin üst kısmındaki hortumun kesit alanı, merdivenin üst kısmındakinin yarısı kadardır. Merdivenin alt kısmındaki su basıncı 150 kPa ise, merdivenin üst kısmındaki suyun statik basıncı nedir?
11. Kesit yarıçapı r = 12 cm olan silindirik bir boruda, akışkan $v = 9\frac{\text{m}}{\text{s}}$ sabit hızla akmaktadır. Boru, yarıçaplarının oranı $\frac{r_1}{r_2} = 2$ olan iki dar silindirik boruya bölünmüştür. İki dar borudaki akışkanın hızları $v_1 = 12\frac{\text{m}}{\text{s}}$ ve $v_2 = 15\frac{\text{m}}{\text{s}}$'dir. İlgili boruların yarıçaplarını hesaplayınız.

Özet:

- Akan maddelere akışkan denir.
- Sıvılar aracılığıyla dış kuvvet her yöne eşit olarak iletilir.
- Yoğunluk şu denklemle ifade edilir $\rho = \frac{m}{V}$.
- Basınç, kuvvetin (F) büyüklüğünün, bu kuvvetin etki ettiği yüzeyin (F) alanına (S) oranı olarak tanımlanır.

$$p = \frac{F}{S}$$

- Basıncın ölçü birimi Paskal'dır: $1\text{Pa} = 1\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$
- Kapalı bir kaptaki sıvıların basıncı, sıvının her noktasına ve kabın duvarlarına eşit olarak iletilir.
- Günlük hayatta kullanılan birçok makine Pascal yasasına göre çalışır. Hidrolikte bu basınca hidrolik basınç denir.
- Sıvılarda oluşan ve sıvının derinliğine ve yoğunluğuna bağlı olan basınca hidrostatik basınç denir.
- Hidrostatik basınç, $p = p_0 + \rho \cdot g \cdot h$ p_0 - atmosfer basıncı denklemiyle belirlenebilir.
- Birbirine alttan bağlı kapların oluşturduğu ve sıvının bir kaptan diğerine kolayca geçebildiği sisteme bağlı kaplar sistemi denir.

- Manometre, basıncı atmosferik veya diğer basınçlarla karşılaştırmak için kullanılabilen bir araçtır.
- Arşimet kuvveti, bir akışkanın hacmine batırılmış bir cisme uyguladığı, yer değiştiren akışkanın ağırlığına eşit kuvvettir.
- Suya batan cismin hacmi, yer değiştiren sıvının hacmine eşittir..

  $F = \rho \cdot g \cdot V$
- Cismin yoğunluğu sıvının yoğunluğundan az olduğunda cisim sıvının yüzeyinde yüzer ve biz buna cismin yüzdüğünü söyleriz.
- Cismin yoğunluğu sıvının yoğunluğuna eşit olduğunda cisim su üzerinde kalır.
- Cismin yoğunluğu sıvının yoğunluğundan büyük olduğunda ise cisim batar.
- Arşimet ilkesi, gemiler ve denizaltılar gibi yüzen cisimlerin yüzme, batma ve batma koşullarını açıklamada önemli uygulamalara sahiptir.
- Aerodinamik şekil, hava direncini azaltacak şekilde vücudun düzgün ve düzgün konumlandırılmış şeklidir.
- Borunun kesit alanı S ile akışkanın borunun herhangi bir kısmından sabit bir durumda geçtiği v hızının çarpımı değişmez. Bu denkleme süreklilik denklemi denir ve şu şekilde hesaplanır: $S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2$
- Akışkanın akış borusu içerisinde yerleşmesi ve sabit hareketi sırasında, çalışma koşullarından bağımsız olarak statik, dinamik ve hidrostatik basınçların toplamı sabit kalır.

  Eğimli bir boru için $$p + \frac{\rho \cdot v^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h = const$$

  Yatay olarak yerleştirilmiş boru: $$p + \frac{\rho v^2}{2} = const$$
- Toriçeli teoremi sayesinde, küçük bir açıklığa sahip sıvıların içinden akışkanın akma hızını hesaplayabiliriz:

  $v = \sqrt{2gh}$
- Kaldırma kuvveti, bir cismin bir tarafındaki basınç farkından kaynaklanan kuvvettir. Bu kuvvet, uçakların kanatlarında da oluşur ve uçmalarını sağlar.
- Bernuli denklemi günlük hayatta bir açıklama sağlar ve bu denklemin anlaşılması insan güvenliği açısından büyük önem taşır.
- Dikkat: Asla yüksek hızla araç kullanmayın ve diğer araçlara veya diğer cisimelere yaklaşmayın!

Konu 4 NE KADAR ÖĞRENDİĞİNİ KONTROL ET

1. Paskal'ın akışkanlar yasası şunu ifade eder:
   a) Sıvılardaki basınç yalnızca dikey olarak iletilir;
   b) Sıvının her bir bölümü farklı basınca sahiptir;
   c) Sıvılardaki basınç her yöne eşit olarak iletilir;
   ç) Sıvılardaki basınç sıcaklığa bağlıdır.

2. Bazı sıvılardaki hidrostatik basınç şunlara bağlıdır:
   a) sadece sıvının yoğunluğuna;
   b) sadece sıvının derinliğine;
   c) yoğunluk, derinlik ve yerçekimi ivmesine;
   ç) sıvının kütlesi ve sıcaklığına.

3. Arşimet kuvveti şunlara bağlıdır:
   a) Batık kısmın hacmi ve cismin yoğunluğu;
   b) Cismin kütlesi;;
   c) Batık kısmın hacmi ve sıvının yoğunluğu;
   ç) Daldırma derinliği.

4. Bir sıvıya batırılmış bir cisim şu durumlarda yüzer:
   a) Sıvıdan daha küçük bir hacme sahipse;
   b) Sıvıdan daha büyük bir hacme sahipse;
   c) Sıvıyla aynı yoğunluğa sahipse;
   ç) Sıvıdan daha büyük bir yoğunluğa sahipse.

5. Süreklilik denklemine göre:
   a) Akışkan hızı ile kesit alanının çarpımı değişmez;
   b) Akışkan hızı, akış borusunun kesit alanına bağlı değildir;
   c) Akışkanın hızı, borunun her bölümünde aynıdır;
   ç) Hız ile akış borusunun kesit alanının bölümü değişmez.

6. Akışkan, akış borusunun daha geniş bir bölümünden daha dar bir bölümüne geçerse hızı:

   a) aynı kalır;

   b) azalır;

   c) artar;

   ç) azalabilir veya aynı kalabilir.

7. Bernuli yasası bazen şu şekilde ifade edilir:

   a) akışkanın hacmi, kinetik ve potansiyel enerjisi;

   b) akışkanın kütlesi, yoğunluğu ve sıcaklığı;

   c) akışkanın açısal veya düşük hızı;

   ç) akışkanın kinetik enerjisi ve sıcaklığı.

9. Bir araç bir yağ tabakasına çarptığında:

   a) yolla sürtünme artar;

   b) lastik basıncı düşer;

   c) azalan direnç nedeniyle kontrol kaybedilir;

   ç) fren basıncı artar.

10. Bir arabayı hidrolik kriko ile az bir kuvvet kullanarak nasıl kaldırabildiğimizi açıklayınız.

11. Hidrolik sistemlerde sıkıştırılamaz akışkanlar neden kullanılır?

12. Denizde aynı derinlikte ölçülen hidrostatik basınç, yüzme havuzundakinden neden daha yüksektir?

13. Şiddetli bir rüzgarın bir evin çatısını neden kaldırabileceğini açıklayın .

14. Yükün gemilerde eşit olarak dağıtılması neden önemlidir ?

15. Hidrolik sisteme (örneğin frenlere) hava girerse ne olur? Bu neden trafik açısından tehlikelidir?

16. Yeni bir araba frenin türünü tasarlayan bir mühendis olduğunuzu düşünün. Bunları verimli ve güvenli kılmak için hangi sıvı özelliklerini göz önünde bulundurursunuz?

17. Akışkanlar dinamiğinin yüksek hızlı otomobillerde güvenliği nasıl artırdığını açıklayın.

18. Güçlü dalgalarda devrilmeyi önlemek için denizde seyreden bir geminin tasarımını iyileştirmenin bir yolunu önerin. Akışkanlar mekaniği nasıl yardımcı olabilir? (İpuçları: itme kuvveti, kütle merkezi ve gövde şekli ile ilgili)

19. Havada uçan bir balonun pilotu olduğunuzu hayal edin. Balonun içindeki havanın sıcaklığı aniden düşerse ne olur? Neden?

20. Çarpışma durumunda, araçlarda neden sıvı amortisörler ve hava yastıkları kullanılıyor? Çarpmanın enerjisini nasıl dağıtıyorlar?

21. Pasifik Okyanusu'nun en derin noktası olan Mariana Çukuru 10.984 metre derinliğindedir okyanus suyunun ortalama yoğunluğu. $\rho = 1020 \frac{kg}{m^3}$ için, hidro-verilen derinlikteki atmosfer basıncı ($g = 9,81 \frac{m}{s^2}$) ile.

22. Yatay olarak yerleştirilmiş bir boruda, kesiti üç kat daha küçük olan borunun daha geniş bir bölümünden daha dar bir bölümüne geçen suyun hızı $20 \frac{m}{s}$. artacaktır. Borunun daha geniş kısımdaki suyun hızını hesaplayın.

23. Kütlesi $m = 200$ g olan bir tabak su üzerinde yüzmektedir. Tabağın geniş kenar alanı $S = 40$ cm², kalınlığı $d = 6$ cm ise tabağın su yüzeyinden yüksekliğini bulunuz.

24. Hidrolik presin küçük pistonuna $F_1 = 2$ kN'luk bir kuvvet etki ediyor ve pistonun $h_1 = 5$ cm hareket etmesine neden oluyor. Dolayısıyla, daha büyük alana sahip piston $h_2 = 5$ mm hareket ediyor. Büyük pistona etki eden kuvvet nedir?

25. Hidrolik presin pistonlarının alanları $S_1 = 10$ cm² ve $S_2 = 100$ cm²'dir. Daha büyük alana sahip pistona $F_2 = 200$ kN'luk bir kuvvet etki edebilmesi için, daha küçük alana sahip pistona ne kadarlık bir kuvvet uygulanmalıdır?.

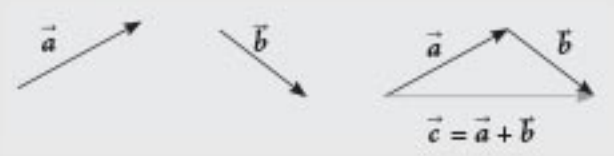
26. Bir hidrolik presin küçük pistonuna $F_1 = 2$ kN'luk bir kuvvet etki ediyor ve pistonun $h_1 = 5$ cm hareket etmesine neden oluyor. Daha büyük alana sahip piston ise $h_2 = 5$ mm hareket ediyor. Büyük pistona etki eden kuvvet nedir?

EK BİLGİ

Ek Bilgi 1: Vektörler ve vektör işlemleri

Vektörlerin Toplanması

Dik üçgen



Şekil 1.1

Düzenli bir paralelkenar



Şekil 1.2

Düzenli çokgen



Şekil 1.3

Vektörlerin Çıkarılması



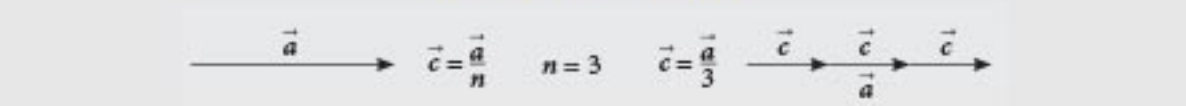
Şekil 1.4

bir Skaler ile Çarpılması



Şekil 1.5

bir Skalere Bölmek



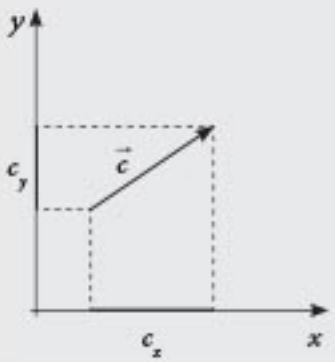
Şekil 1.6

vektörlerin Bölünmesi



Şekil 1.7

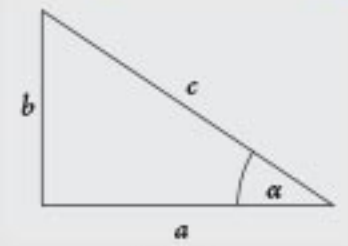
Projeksiyon Vektörü Su Düzlemi Koordinat Sistemi



c_x – $\vec{c}$'nin x eksenine göre izdüşümü
c_y – $\vec{c}$'nin y eksenine göre izdüşümü

Şekil 1.8

Trigonometrik Fonksiyonlar Dik Üçgene Uygulanır.



Şekil 2.1

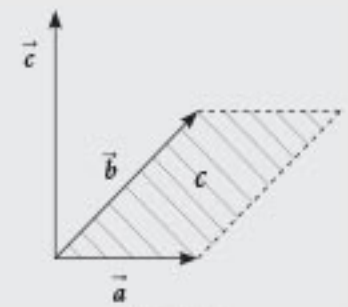
$$\sin\alpha = \frac{b}{c} \qquad \cos\alpha = \frac{a}{c} \qquad tg\alpha = \frac{b}{a} \qquad ctg\alpha = \frac{a}{b}$$

Skaler ürün

$$c = \vec{a} \cdot \vec{b} = a \cdot b \cdot \cos\sphericalangle\left(\vec{a}, \vec{b}\right)$$

Vektör ürünü

$$\vec{c} = \vec{a} \times \vec{b} \qquad c = a \cdot b \cdot \sin\sphericalangle\left(\vec{a}, \vec{b}\right)$$



Şekil 2.2

Ek Bilgi 3: Güneş, Dünya ve Ay'ın bazı özellikleri

Boyut	Etiket	Güneş	Ülke	Ay
Kütle (kg)	M	$2 \cdot 10^{30}$	$6 \cdot 10^{24}$	$7{,}3 \cdot 10^{22}$
Yarıçap (km)	R	696000	6371	1738
Yarıçap (km^3)	V	$1{,}4 \cdot 10^{18}$	$1 \cdot 10^{12}$	$2{,}2 \cdot 10^{10}$
Serbest düşüşte ortalama ivme (m/s^2)	g	273,8	9,81	1,62
Dünya'dan uzaklık (km) - en büyüğü - en küçüğü - ikincil	r	 $147{,}1 \cdot 10^6$ $152{,}1 \cdot 10^6$ $149{,}6 \cdot 10^6$	 - - -	 356410 406740 384440

Ek Bilgi 4: Fizikte kullanılan alfabe

İsim	Etiket		İsim	Etiket		İsim	Etiket		İsim	Etiket	
alpha	α	A	eta	η	H	nu	ν	N	tau	τ	T
beta	β	B	theta	θ,ϑ	Θ	xi	ξ	Ξ	upsilon	υ	Υ
gama	γ	Γ	iota	ς	I	o	o	O	Phi	φ	Φ
delta	δ	Δ	kappa	$\varkappa$	K	pi	π	Π	chi	χ	X
epsilon	ε	E	lambda	λ	Λ	rho	ρ	P	Psi	ψ	Ψ
zeta	ζ	Z	mu	μ	M	sigma	σ	Σ	Omega	ω	Ω

Kullanılan Kaynaklar

Aki, A., Koşak, S., & Gür, S. (2004). *Mechanics*. Zimbak.

Brković, N. (2001). *Zbirka zadataka iz fizike, I dio*. LUK d.o.o., Zagreb

Duncan, T., & Kennett, H. (2014). *Cambridge IGCSE Physics (3rd ed.)*. Hodder Education

Guinness World Records. (n.d.). *Deepest descent in the sea by a manned vessel*. Retrieved June 10, 2025, од https://www.guinnessworldrecords.com/world-records/deepest-descent-in-the-sea-by-a-manned-vessel

Hamper, C. (2009). *Higher Level Physics: Developed specifically for the IB Diploma*. Pearson Education.

Labor, I. (2004). *Fizika 1: Udžbenik za prvi razred gimnazije*. ALFA d.d.

Leduc, S. A., & Miller, J. (2013). *Cracking the AP Physics B Exam 2013*. Random House, Inc.

NASA. (n.d.). NASA: National Aeronautics and Space Administration. Retrieved June 10, 2025, од https://www.nasa.gov/

National Oceanic and Atmospheric Administration. (n.d.). Ocean Explorer. Retrieved June 10, 2025, од https://oceanexplorer.noaa.gov/

PhET Interactive Simulations. (n.d.). PhET: Free online physics, chemistry, biology, earth science and math simulations.

Reynolds, H. (n.d.). *Complete Physics for Cambridge Secondary 1*. Oxford University Press

Serway, R. A., & Faughn, J. S. (2006). *Physics*. Holt, Rinehart and Winston.

Tsokos, K. A. (2014). *Physics for the IB Diploma (6th ed.)*. Cambridge University Press.

University of Colorado Boulder. Retrieved June 10, 2025, од https://phet.colorado.edu/

Urone, P. P.; Hinrichs, R.; Gozuacik, F; Pattison, D. & Tabor, C. (2020), *OpenStax: Physics for High School*. Texas Education Agency (TEA).

Walker, J. S, (2016). *Physics*. James S. Walker, Western Washington University. (5th ed.). Pearson Education.

Young, H. D., & Geller, R. M. (2007). *College Physics (8th ed.)*. Pearson Education.

Андоновски, А., Митреска, З., Гершановски, Д., Стоименов, С. и Зајков, О. (2015). *Физика за IV година: Природно-математичко одделение, комбинација А*. Просветно дело АД, Скопје.

Петковски, Љ., и Миџевски, В. (1991). *Физика за I година: Природно-математичка струка*. Просветно дело.

Станковиќ, З., и Станковиќ, М. (2019). *Физика I: Збирка прашања и задачи со тестови*. Арс Ламина.

Чалуковић, Н. (2021). *Физика за први разред гимназије*. Круг.

Чаушевски К (2000). *Физика за II година*. Просветно дело АД, Скопје.