



Mühendislik öğrencileri için

FİZİK I DENEYLERİ LABORATUVAR KİTABI

Prof. Dr. Ferhunde ATAY
Dr. Öğr. Üyesi Ali ÇETİN
Dr. Uğur Gökhan İŞSEVER
Prof. Dr. Gökhan KILIÇ

ESKİŞEHİR 2026

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Yayınları No: 411

Sahibi	Prof. Dr. Emine GÜMÜŞSOY (Rektör)
Yayın Yönetmeni	Prof. Dr. Şerife YÜCESOY ÖZKAN (Rektör Yardımcısı)
Yayın Komisyonu	Prof. Dr. Şerife YÜCESOY ÖZKAN (Rektör Yardımcısı) Prof. Dr. Yasemin ÖZ Prof. Dr. Haldun KURAMA
İdari Sorumlu	Mustafa ARSLAN İ.M.İ.D. Başkanı
Basımevi Sorumlusu	: Yüksel ASLAN ESOGÜ Basımevi Şube Müdürü

Bu kitabın basım, yayım ve satış hakları Eskişehir Osmangazi Üniversitesi'ne aittir. Bütün hakları saklıdır.

Kitabın tümü ya da bölümü/bölemleri Eskişehir Osmangazi Üniversitesi'nin yazılı izni olmadan elektronik, optik, mekanik ya da diğer yollarla basılamaz, çoğaltılamaz ve dağıtılamaz. Copyright 2026 by Eskişehir Osmangazi University. All rights reserved.

No part of this book may be printed, reproduced or distributed by any electronically, optical, mechanical or other means without the written permission of Eskişehir Osmangazi University.

Kapak Tasarım

Doç. Dr. Şirin Şengel

Tasarım-Dizgi

Dr. Uğur Gökhan İŞSEVER

ISBN NO

605-9975-97-1

Baskı Tesisleri

ESOGÜ Basımevi

T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı Matbaa Sertifika No.: 64281

ESKİŞEHİR 2026

ADI-SOYADI :

BÖLÜMÜ :

NUMARASI :

FOTOĞRAF

Deneyin Kodu	Deneyin Adı	Yapıldığı Tarih	Öğretim Elemanı İmza
M	Fizikte Ölçme, Hata Hesabı ve Grafik Çizimi		
M1	Sabit İvmeli Hareket ve Doğrusal Momentumun Korunumu		
M2	Balistik Sarkaç ve Eğik Atış		
M3	Serbest Düşme ve Atwood Aleti		
M4	Basit Sarkaç ve Enerjinin Korunumu		
M5	Sürtünmeli Eğik Düzlemde Hareket		
M6	Yaylar, Makaralar ve Palangalar		
M7	Dönme Hareketi		
M8	Merkezcil Kuvvet		
M9	Fiziksel Sarkaç ve Eylemsizlik Momenti		
M10	Viskozite		
M11	Arşimet Prensibi ve Yoğunluk		

ÖNSÖZ

Doğadaki olayları, bu olayların nasıl meydana geldiğini ve hangi kurallara bağlı olduğunu inceleyen, maddenin davranışı ve yapısı ile ilgilenen doğa bilimine “Fizik” adı verilir. Fizik bilim dalının önemi diğer doğa, mühendislik ve teknoloji dallarına temel oluşturmaktadır. Fizik bilim dalı deneysel gözlemlere ve nicel ölçümlere dayanır. Doğayı anlatan anlamlı ilişkileri tanımlamak için; fiziksel nicelikleri, bu niceliklerin hangi fizik kanunu ile ifade edildiğini ve nasıl ölçüleceğini bilmek gerekir. Bu bağlamda Fizik biliminde laboratuvar çalışmaları büyük bir öneme sahiptir.

Hazırladığımız Fizik I Laboratuvar kitabı, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi öğrencilerine Güz döneminde verilen Fizik I Laboratuvar dersi kapsamında yapılacak mekanik deneylerini kapsamaktadır. Bu kitabı yazmamızdaki amacımız; Mühendislik Fakültesi öğrencilerinin Fiziğin temel ilke ve kavramlarını gözlem yolu ile öğrenmelerini sağlamak ve bilgi birikimlerini ilgili mühendislik konularında uygulayabilmelerine yardımcı olmaktır. Fizik I Laboratuvar kitabı; bu dersi alan öğrencilerin Fiziğin mekanikle ilgili teorik ve deneysel sonuçları arasındaki uyuma bakarak konuları pekiştirmelerine ve yorum becerilerini geliştirmelerine katkı sağlayacaktır. Fizik I Laboratuvar dersi kapsamında Fizikte ölçme, hata hesabı ve grafik çizimi; sabit ivmeli hareket ve doğrusal momentumun korunumu; balistik sarkaç ve eğik atış; basit sarkaç ve enerjinin korunumu; yaylar, makaralar ve palangalar; dönme hareketi; serbest düşme ve Atwood aleti; merkezci kuvvet; sürtünmeli eğik düzlemde hareket; fiziksel sarkaç ve eylemsizlik momenti; viskozite, Arşimet Prensibi ve yoğunluk deneyleri yapılacaktır. Her bir deneyin amacı birbirinden farklıdır, ancak tüm deneylerin ortak noktası gözlem yaparak ölçümlerin alınması, ölçülen değerleri kullanarak ilgili diğer niceliklerin hesaplanması, grafik çizimini öğrenerek grafikten ilgili niceliklerin bulunması, ölçümlerdeki hataların belirlenmesi ve gözlem sonuçlarının yorumlanarak raporlandırılmasıdır. Fizik I Laboratuvar kitabında yapılacak tüm deneylerin; amacı, teorik bilgisi ve deneyin yapılışı kısımları açık olarak verilmiştir ve öğrencilerin sonuçlarını değerlendirilmelerine yol gösterici niteliktedir. Bu kitabın Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi öğrencilerine faydalı olması, Fiziği sevmelerine ve kendi alanlarına uygulamalarına yol göstermesi en büyük temennimizdir. Ayrıca öğretim elemanlarının ve öğrencilerimizin destek, teşvik ve eleştirileri kitabımızın daha iyi hazırlanması açısından bizim için önemlidir. Bu anlamda bu kitabın geliştirilmesine katkı sağlayacak her türlü öneriye açık olduğumuzu belirtmek isteriz.

Bu kitabın hazırlanmasında emeği geçen Fizik Bölümü ğretim Elemanlarına, daha önce okutulan Fizik I Laboratuvarı deney fynn hazırlanmasına katkı sağlayan Doç. Dr. Sertaç EROğLU ve Dr. Murat KELLEĞZ'e, deney setlerinin kurulumuna ve aktif kullanılabilirliğine destek olan Fizik Laboratuvar sorumlusu Halil Yasin ADIYAMAN'a teşekkürlerimizi sunarız.

Prof. Dr. Ferhunde ATAY

Dr. Öğr. Üyesi Ali ÇETİN

Dr. Uğur Gökhan İşSEVER

Prof. Dr. Gökhan KILIÇ

FİZİK LABORATUVARI

UYGULAMA YÖNERGESİ

1. Tüm öğrenciler laboratuvara zamanında katılmalıdırlar. Laboratuvar dersinin başlamasından itibaren, **10 dakikadan daha uzun süre geç kalan öğrenciler laboratuvara alınmayacaklardır.**
2. Deney grupları ve ilk hafta hangi grubun hangi deneyi yapacağı laboratuvar duyuru panosunda ilan edilecektir. Sonraki haftalarda grupların yapacakları deneyler için duyuru panosunda belirtilen döngü göz önünde bulundurulacaktır. **Öğrenciler keyfi olarak gruplarını değiştiremezler.**
3. Laboratuvar dersinin başlangıcından itibaren **görevlilerin uyarılarına uyunuz.** Görevliler ders düzenini korumak adına her türlü değişiklik yapma yetkisine sahiptirler.
4. **Ders esnasında, masalar arasında dolaşarak ya da gürültü yaparak dersin düzenini bozmaktan kaçınınız.**
5. **Ders süresince cep telefonlarınızı her türlü iletişime kapalı tutunuz.** Telefonunuzun sesinin kapalı olması yeterli değildir. Bütünüyle kapamanız istenmektedir.
6. Laboratuvarda ihtiyaç duyabileceğiniz **kurşun kalem, tükenmez kalem, kalem ucu, silgi, cetvel, hesap makinesi, tablolar, grafik kâğıdı vb.** araç ve gereçleri derse gelirken yanınızda bulundurunuz.
7. Öğrenciler laboratuvara gelmeden önce o gün yapacakları deney ile ilgili **Fizik Laboratuvar Kitabı** içinde yer alan teorik bilgi ve deneyin yapılışı kısımlarını çalışarak hazırlıklı gelmelidirler.
8. Öğrenciler her hafta yapacakları deney ile ilgili olarak, laboratuvarda görevli olan **öğretim elemanları tarafından sözlü bir sınava tabii tutulurlar.**
9. Deney düzeneklerinin zarar görmesinden o deneyi yapmakta olan grup üyeleri sorumlu olacağından, deneye başlamadan önce deney ekipmanlarında göz ile görünür bir hasar olup olmadığını kontrol ederek, **eğer hasar varsa bir an önce görevlileri haberdar ediniz.**
10. **Dersin sorumlularının onayı olmadan deney düzeneklerini kurmaya başlamayınız.**
11. Laboratuvar dersini alan öğrenciler, her hafta yaptıkları deneylerle ilgili rapor hazırlayacaklardır. Dersin notu, öğrencilerin tüm deney raporlarından aldıkları notların ortalaması alınarak hesaplanacaktır.
12. Rapor notlandırması; deney aletlerinin kullanımı ve düzenli şekilde terk edilmesi, deneyin yapılışı ve tartışılması üzerinden yapılacaktır. Ayrıntılı notlandırma; düzen, sonuçlar, grafik çizimi, değerlendirme ve deneyde gösterilen başarı şeklinde olmaktadır.
13. Arasınava haftalarında ders yapılmayacaktır.
14. Deney sonunda rapor teslimi sırasında, yoklama listesine imzanızı atmayı unutmayınız. Sonradan, teslim imzası alınmaksızın deney sorumlularının kapısının altından ya da başka şekilde teslim edilen raporlarda hak iddia etmeniz mümkün olmayacağını unutmayınız.
15. **Laboratuvar deneylerinden 3 (üç) deneye devamsızlık yapan öğrenci laboratuvar dersinden doğrudan kalmış sayılır.** Telafi haftasında doğabilecek karışıklığı önlemek

amacıyla; bir veya iki deneyi eksik olan öğrencilerden, sadece geçerli bir mazereti olanlar (sağlık raporu, izin belgesi, vs.) telafi haftasında eksik deneylerini tamamlayabilirler. Mazeretsiz deneye katılmayanlar ile mazereti olup da telafi deneyini yapmayanların ilgili deney/deneyler için rapor notu **0 (sıfır)** olarak değerlendirilir.

16. Telafi haftası ve telafiye gelecek öğrenciler, deneylerin tamamlanmasının ardından duyuru yapılarak ilan edilecektir.
17. Deneylerinizi tamamladıktan sonra, deney düzeneklerinizi ve masanızı görevlilerin belirttiği düzende ve temiz olarak teslim ediniz.

BAŞARILAR DİLERİZ...

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
FİZİK LABORATUVARI UYGULAMA YÖNERGESİ	iii
Fizikte Ölçme, Hata Hesabı ve Grafik Çizimi (M)	1
Sabit İvmeli Hareket ve Doğrusal Momentumun Korunumu (M1)	21
Balistik Sarkaç ve Eğik Atış (M2)	33
Serbest Düşme ve Atwood Aleti (M3)	51
Basit Sarkaç ve Enerjinin Korunumu (M4)	61
Sürtünmeli Eğik Düzlemde Hareket (M5)	73
Yaylar, Makaralar ve Palangalar (M6)	91
Dönme Hareketi (M7)	109
Merkezcil Kuvvet (M8)	127
Fiziksel Sarkaç ve Eylemsizlik Momenti (M9)	139
Viskozite (M10)	145
Arşimet Prensibi ve Yoğunluk (M11)	153
Kaynaklar	160

FİZİKTE ÖLÇME, HATA HESABI ve GRAFİK ÇİZİMİ



M

FİZİKTE ÖLÇME, HATA HESABI ve GRAFİK ÇİZİMİ



DENEYİN AMACI:

1. Kumpas ve mikrometre kullanmasını öğrenmek.
2. Verilen düzgün bir cismin dış boyutlarını ölçebilmek.
3. Verilen bir cismin kütlesini eşit kollu terazi ve dijital terazi kullanarak belirlemek.
4. Kütlesi bilinen düzgün bir cismin yoğunluğunu hesaplamak.
5. Hata hesabı ve grafik çizimini öğrenmek.

DENEYDE KULLANILAN ARAÇLAR:

Farklı şekilde geometrik cisimler seti

Dijital terazi

Eşit kollu terazi

Gram takımı

Mikrometre

Kumpas

Cetvel

TEORİK BİLGİ:

FİZİK ve ÖLÇME

İnsanoğlu yeryüzünde var olduğundan bu yana çevresiyle ilgilenerek meydana gelen olayları araştırmıştır. Doğadaki olayları, nasıl meydana geldiklerini ve ne gibi kurallara bağlı olduklarını inceleyen bilim dalına “**Fizik**” denir. Fizik, maddenin davranışı ve yapısı ile de ilgilenir.

Fizik bilim dalı deneysel gözlemlere ve nicel ölçümlere dayanır. Doğayı anlatan anlamlı ilişkileri tanımlamak için; fiziksel nicelikleri, hangi fizik kanunu tarafından ifade edildiğini ve nasıl ölçüleceğini bilmek önemlidir. *Uzunluk, zaman, kütle, sürat, hız, ivme, kuvvet, momentum, elektrik yükü, gerilim, akım*, vb. gibi kelimelerin tamamı aslında fiziksel bir niceliğe karşılık gelmektedir. Bu kelimelerin bazılarını günlük konuşmalarımızda sık sık kullanmaktayız. Fizikte ise bu niceliklerin günlük anlamlarından daha farklı ve önemli anlamları vardır. Fizik

laboratuvarlarında çeşitli deneyler yapılmaktadır. Bu deneylerin amaçları birbirinden çok farklı olsa da, deneylerin hepsi ortak olarak nicelikleri ölçme ve kaydetme, bu ölçülen ve kaydedilen niceliklerden belirlenmeye çalışılan diğer niceliklerin bulunması ile ilgilidir. Örnek olarak, bir yol üzerindeki iki nokta arasındaki mesafeyi ve bu noktalar arasındaki hareketin zaman aralığını ölçebilir, ölçülen bu değerleri kullanarak hız ve sürat bilgilerine de ulaşabiliriz. Diğer bir örnek, dirençli bir teli bir pile bağlayarak tel üzerinden geçen akımı ve üzerindeki gerilimi ölçebilir, ölçümler sonucunda telin direncini hesaplayabiliriz.

Yukarıdaki örneklerde de görüldüğü gibi, fiziksel nicelikler genel olarak birbirlerinden bağımsız değildir. Fizik biliminde kullanılan yedi temel nicelik vardır. Bu niceliklerden “**uzunluk**”, “**kütle**” ve “**zaman**” mekanikte kullanılan temel niceliklerdir. Mekanikte kullanılan diğer nicelikler bu üç temel nicelikten türetilmektedir. Bunların dışında diğer dört temel nicelik “**elektrik akımı**”, “**termodinamik sıcaklık**”, “**madde miktarı**” ve “**ışık şiddeti**” dir. Doğru ve güvenilir ölçümler yapmak için, çeşitli yerlerde değişmeyen standartlar belirlenmelidir. Tüm dünyada bilim adamları ve mühendisler fiziksel nicelikleri ölçmek için standart olarak aynı birim sistemini kullanmaktadır. Bu sistem, Uluslararası Birimler Sistemi (SI Birim Sistemi)’dir. SI sisteminin temel birimleri Tablo 1’ de verilmiştir.

TABLO 1. Temel nicelikler, SI birimleri ve sembolleri		
Nicelik	SI Birim	Sembol
Uzunluk	metre	m
Kütle	kilogram	kg
Zaman	saniye	s
Elektrik akımı	amper	A
Termodinamik sıcaklık	kelvin	K
Madde miktarı	mol	mol
Işık şiddeti	kandela	cd

Metrik sistemde daha büyük ve daha küçük büyüklükler standart birimden 10 çarpanı ile belirlenir. SI birimlerinin ondalık üst katlarını ve alt katlarını oluşturmak için kullanılan 20 SI ön eki ve sembolleri Tablo 2’ de listelenmiştir.

TABLO 2. SI Sistemi ön ekleri ve sembolleri					
10'un alt katları	Ön ek	Sembol	10'un üst katları	Ön ek	Sembol
10^{-24}	Yokto	y	10^1	Deka	da
10^{-21}	Zepto	z	10^2	Hekto	h
10^{-18}	Atto	a	10^3	Kilo	k
10^{-15}	Femto	f	10^6	Mega	M
10^{-12}	Piko	p	10^9	Giga	G
10^{-9}	Nano	n	10^{12}	Tera	T
10^{-6}	Mikro	μ	10^{15}	Peta	P
10^{-3}	Mili	m	10^{18}	Exa	E
10^{-2}	Santi	c	10^{21}	Zetta	Z
10^{-1}	Desi	d	10^{24}	Yotta	Y

Genel olarak ölçümler “*doğrudan ölçümler ve dolaylı ölçümler*” olmak üzere iki gruba ayrılır. Bir fiziksel değişkenin doğrudan ölçümü, bu değişkene karşılık gelecek birimlere göre kalibre edilmiş bir ölçüm cihazının skalasından okunarak elde edilir. Doğrudan ölçüme örnek olarak bir cetvelle belirli bir uzunluğun ölçülmesi verilebilir. Dolaylı ölçümler, değerleri doğrudan bir ölçüm cihazı kullanılarak tespit edilemeyen fiziksel değişkenlerin ölçümleridir. Dolaylı ya da hesaplanan ölçümlerde, doğrudan ölçümler ile elde edilen büyüklüklerden faydalanarak ve matematiksel ifadeler kullanılarak istenen fiziksel değişkenlerin büyüklükleri belirlenir. Örneğin, yarıçapı doğrudan ölçüm ile önceden belirlenmiş bir kürenin hacminin bulunması dolaylı ölçümdür.

HATALAR

Ölçülen bir büyüklüğün gerçek değerden olan farkına “*ölçü hatası*” denir. Fiziksel olarak ölçülen her nicelikte hatalar vardır. Deneylerde bulunan sonuçlar hatalar belirlenirse bir anlam ifade eder. Bu yüzden yapılan bir ölçümün hata sınırları mutlaka belirtilmelidir.

Teorik çalışmalar düşünüldüğünde, ideal koşullarda yapılan ölçümlerde herhangi bir ölçüm hatası yoktur. Gerçek koşullar göz önüne alındığında, belirli bir deney içinde gözlenen hata türleri; gözlemci, deney düzeneği veya deneyin tasarımına bağlı olabilir. Deneydeki hatalar; hata kaynaklarına ve deneyde oluşacak mümkün olan en büyük hata (kullanılacak ölçü cihazına göre ölçülebilecek en küçük değer) tahmininin yapılmasına dayanarak deneyin

doğruluğu üzerine uygun bir değerlendirme yapılarak açıklanabilir. Elde edilen ölçüm sonucu, ölçekten gözlenen değere “ $\pm$ ” simgesi kullanılarak olası en büyük hatanın eklenmesi ile yazılır. Örnek olarak, “ x ” değerini ölçümün gerçek değeri ve “ Δx ” değerini de ölçekten yapılan okumadaki en yüksek hata olarak düşünersek, bu durumda ölçüm sonucu “ $x \pm \Delta x$ ” olarak yazılır.

Hatalar bazı faktörler nedeniyle ortaya çıkabilir. En önemli faktörler; ölçüm cihazından, deneysel işleminden ve gözlenen niceliğin kendisinden kaynaklanmaktadır. Ölçüm sırasında yapılan hatalar “*sistematik hatalar*” ve “*rastgele hatalar*” olmak üzere ikiye ayrılır.

SİSTEMATİK HATALAR

Deney sırasında yapılan ölçümlerde sabit olan ve herhangi bir değişiklik göstermeyen hatalara “*sistematik hatalar*” denir. Sistematik hataların kaynağı ölçüm cihazlarının kusurları, ölçüm sırasında yapılan yanlış gözlemler, ölçüm öncesi ve ölçüm sırasında dikkate alınmayan dış etkilere dir. Bir deney yürütülürken, sistematik hataların olası tüm kaynaklarının düşünülmesi ve bu hata kaynaklarının ölçüm cihazlarının kurulumu ve kalibrasyonu sırasında ortadan kaldırılması için gerekli önlemlerin alınması önemlidir. Kullanılan ölçü aletinin bozuk ya da iyi kalibre edilmemiş olmasından kaynaklanan hata “*kalibrasyon hatası*” olarak bilinir. Ölçü aletinin kalibrasyonu düzeltilerek bu hata mümkün olduğunca azaltılabilir. Ölçümü yapan kişi, alışkanlıktan ya da bazı diğer etkenlerden dolayı sistematik hataya neden olabilir. Başka bir kişiye ölçüm yaptırılarak sistematik hata azaltılabilir. Ayrıca, sıcaklık, nem, rüzgar gibi dış etkenler de mümkün olduğu kadar kontrol altında tutularak sistematik hata azaltılabilir.

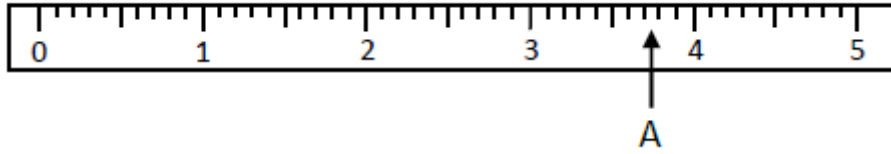
RASTGELE HATALAR

Tamamen rastlantıya bağlı olduğundan bu hatalar eşit olasılıkla pozitif ya da negatif şekilde sonuca etki edebilir. Sistematik hataların aksine bu hatalar, ölçüm yapılan aletlerin hassasiyetinden, deneysel çalışmalarda bilinmeyen ve öngörülemeyen değişimlerden kaynaklanmaktadır. Örneğin, bir elektrik devresinde gerilim ölçümü sırasında şehir gerilimindeki ani bir değişim rastgele bir hatadır. Rastgele hatalar bir ölçümün aynı şartlarda birkaç kez tekrarlanması ile belirlenebilir.

Konum Ölçümlerinde Rastgele Hatalar

Cetvel kullanarak bir ölçüm yaptığımızı düşünelim. Cetvel kullanımındaki hata cetvel ölçeği üzerindeki en küçük aralık değerine eşittir. Buna örnek olarak, Şekil 1’de “A” noktasının

cetvel üzerindeki konumunun ölçümü gösterilmiştir. Kullanılan cetvel “mm” uzunluğundaki bölümlere ayrılmış ölçeğe sahiptir ve ölçüm sonucu 3.7 cm olarak bulunmuştur. Fakat, bu okuma aslında 3.7 cm ve 3.8 cm arasında herhangi bir değer olabilir. Kullanılan cetvel ile yapılan her konum ölçümünde standart olan ölçülebilecek en küçük değer 1 mm olması nedeniyle bu ölçüm sonucu 3.7 ± 0.1 cm olarak yazılmalıdır. Böylece, milimetre aralıklara bölünmüş bir cetvelin santimetre aralıklara sahip bir cetvelden daha güvenilir sonuçlar vereceğini söyleyebiliriz.



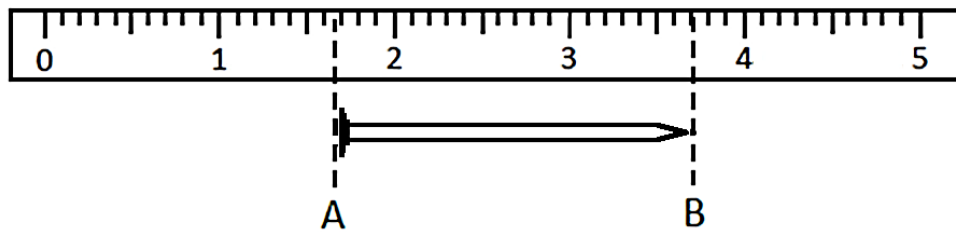
Şekil 1. Bir cetvel kullanarak “A” noktasının konumunun ölçülmesi.

Uzunluk Ölçümlerinde Rastgele Hatalar

Bu tür hatalar, bir boyutta iki nokta arasındaki mesafenin ölçümündeki hatalardır. Şekil 2’ de gösterildiği gibi bir çivinin cetvelle uzunluğunu ölçtüğümüzü düşünelim. Aslında, konum ölçümüne benzer şekilde çivinin uzunluğunun ölçülmesi, çivinin “A” ve “B” olarak adlandırılan iki uç noktası arasındaki mesafenin belirlenmesidir. Bu nedenle, bu iki noktanın aynı referans noktasına göre konumları ölçülmelidir. Daha önce de belirtildiği gibi, her konum ölçümü 1 mm hata ile yapılmaktadır. Bu durumda, iki konum ölçümünden toplam 2 mm ölçüm hatası gelmektedir. Şekil 2’de görüleceği üzere, A noktasının cetvelin 0 noktasına göre konumu 1.6 cm ve B noktasının konumu 3.7 cm olarak ölçüldüğünde, bu ölçümün sonucu;

$$L \pm \Delta L = (3.7 - 1.6) \pm 0.2 \text{ cm} = 2.1 \pm 0.2 \text{ cm}$$

olarak yazılır. Bu gibi rastgele hataların etkisi deneysel yöntemlerin iyileştirilmesi, ölçümün birçok kez tekrarlanması ve ortalamasının alınması ile azaltılabilir.



Şekil 2. Cetvel kullanarak bir çivinin boyunun ölçülmesi.

ÖLÇÜMÜN DOĞRULUĞU ve KESİNLİĞİ

Fizik laboratuvarlarında ölçümler cetvel, voltmetre, ampermetre gibi araçlar kullanılarak yapılır. Alınan tüm ölçümlerde her zaman bazı belirsizlikler vardır. Bu nedenle ölçümlerde temel amaç doğru ölçüm aletlerini kullanarak ve ölçümleri daha dikkatli yaparak, deney öncesi beklenen ya da deneysel durumlar göz önüne alındığında kabul edilebilir olan gerçek değere en yakın deneysel değeri elde etmektir. Bu hataların etkisi altında, ölçülen değerlerin güvenilirlikleri bu deneysel sonuçların “*doğruluğu*” ve “*kesinliği*” ile analiz edilir. Doğruluk ve kesinlik, ölçümlerden veri alırken dikkate alınması gereken iki önemli faktördür. Ölçüm sonucunun gerçek değere olan yakınlığına “*ölçümün doğruluğu*” ve ölçüm sonuçlarının birbirine yakınlığına ise “*ölçümün hassasiyeti*” denir.

Bir deneyin doğruluğu, genellikle sistematik ve rastgele hatalara bağlıdır. Deneyde kesinlik ise genel anlamda rastgele hatalara bağlıdır. Deney sonucunda gerçek değeri bulduğumuzu hiçbir zaman söyleyemeyeceğimize göre, ölçümdeki hataları en aza indirmemiz ve ölçüm sonucunda ölçümün doğruluğu ve kesinliği hakkında bilgi vermemiz gereklidir. Deney sırasında bir defa ölçüm alınırsa yapılacak en büyük hata (mutlak hata), kullanılan aletin göstergesi üzerindeki en küçük bölme kadardır. Bu durumda ölçüm sonucu;

$$X = X_{ölçülen} \pm (\text{En küçük bölme değeri})$$

$$X = X_{ölçülen} \pm \Delta X$$

şeklinde verilir.

Deney sırasında birden fazla ölçüm yapıldığında istatistik hesaplamalar kullanılır:

Ortalama Değer ($\bar{X}$): Gerçek değeri X_0 olan bir büyüklük için n defa ölçüm yapıldığını ve $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ değerlerinin bulunduğunu düşünelim. Bu ölçümlerin ortalama değeri $\bar{X}$;

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

ile verilir. Birden fazla ölçüm yapılarak ölçüm sonuçlarının ortalaması alındığında, her ölçüm sonucu ile ortalama değer arasında bir fark oluşacaktır. Bu fark “*ölçü sapması*” veya “*sapma miktarı*” olarak adlandırılır ve;

$$d_i = |X_i - \bar{X}|$$

şeklinde verilir. Ölçü sapmasının mutlak değer içinde olduğuna dikkat edilmelidir.

Ortalama mutlak hata ise;

$$\Delta X = \sqrt{\frac{d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2}{n(n-1)}}$$

bağıntısıyla verilir. Böylece sonuç,

$$X = \bar{X} \pm \Delta X$$

şeklinde gösterilir. Bu ifade; X değerinin $(X - \bar{X})$ ile $(X + \bar{X})$ arasında kalması gerektiğini ifade eder.

Bağıl hata ise;

$$\text{Bağıl Hata} = \frac{\Delta X}{\bar{X}}$$

oranına denir ve % olarak ifade edilir.

Deneylerde alınan ölçümler bir formüle uygulanarak sonuç hesaplanabilir. Bu durumda, formüldeki bütün terimlerin ölçümünde hata söz konusu olduğundan sonucun hata hesabı formüle bağlı olacaktır. Aşağıda bazı örnekler verilmektedir:

Örnek 1.

$$r = x \pm y$$

$$\Delta r = \Delta x + \Delta y$$

$$r = (x \pm y) \pm \Delta r$$

Örnek 2.

$$r = x.y$$

$$\Delta r = (\Delta x)y + (\Delta y)x$$

$$r = (x.y) \pm \Delta r$$

$$\frac{\Delta r}{r} = \frac{(\Delta x)y + (\Delta y)x}{(x.y)} = \frac{(\Delta x)}{x} + \frac{(\Delta y)}{y}$$

Örnek 3.

$$r = \frac{x}{y}$$

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

$$r = \frac{x}{y} \pm \Delta r$$

$$\frac{\Delta r}{r} = \frac{(\Delta x)}{x} + \frac{(\Delta y)}{y}$$

ANLAMLI SAYILAR

Bir fiziksel verinin hassaslığı sürekli olarak mutlak hatasıyla verilmeyebilir. Bazen veri, anlamlı hane sayısı ile de anlaşılabilir. Ölçümdeki anlamlı sayı basamakları belirsizlik hakkında bir şeyler ifade etmek için kullanılabilir. Örneğin, bir cismin kütlesi 26.4 g olarak verilmişse, anlamlı hane sayısı 3 olur. Bunu kilogram olarak 0.0264 kg şeklinde ifade ettiğimizde, anlamlı hane sayısı değişmez. Bir sayının anlamlı hane sayısı soldaki sıfırları dikkate almadan belirlenir. 1.2468 değerinde anlamlı hane sayısı 5 iken, 0.00082 değerinde anlamlı hane sayısı 2 olur. Anlamlı hane sayısı ne kadar çok ise o nicelik daha hassas biliniyor demektir.

Sayıların Yuvarlanması

Hesaplamalarda ölçümlerin sonucu istenen anlamlı sayı basamağına yuvarlanabilir. Sayıların yuvarlamasında izlenen kurallar şunlardır:

- Son rakam 5'ten küçük (0, 1, 2, 3 veya 4) ise, diğer rakamlar değiştirilmeden bu basamak kaldırılabilir.
- Son rakam 5'e eşit veya 5'ten büyük (5, 6, 7, 8 veya 9) ise bu rakam kaldırılır ve sayısal değer 1 artırılır.

Örnek olarak;

- 5.321 en yakın yüzde birler basamağına 5.32 olarak yuvarlanabilir.
- 5.321 en yakın onda birler basamağına 5.3 olarak yuvarlanabilir.
- 5.321 en yakın tam sayı değerine 5 olarak yuvarlanabilir.
- 7.678 en yakın onda birler basamağına 7.7 olarak yuvarlanabilir.
- 7.678 en yakın tam sayı değerine 8 olarak yuvarlanabilir.

Toplama ve çıkarma işlemlerinde ondalık basamak sayısı en az olan basamak değerine yuvarlama yapılır.

$$2.2339+6.4=8.6339=8.6$$

$$12.12-8.4317=3.6883=3.69$$

Çarpma ve bölme işlemlerinde ise anlamlı hane sayısı en az olan hane sayısına yuvarlama yapılır.

$$4.4567 \times 3.56 = 15.865852 = 15.87$$

$$8.56 \times 0.00028 = 0.0023968 = 0.0024$$

GRAFİKLER

Grafik; çeşitli nicelikler, parametreler ya da ölçülebilir değişkenler arasındaki ilişkiyi açık bir şekilde göstermenin bir yoludur. Basitçe grafik, bir niceliğin kendisine bağlı (ölçüm içinde değişen) bir diğer nicelik ile nasıl değiştiğini tanımlayan sayısal ilişkinin görsel halidir. Genellikle temel fizik deneylerinde, birbiri ile ilişkili iki değişken fiziksel nicelik arasındaki ilişkiyi temsil etmek için iki-boyutlu grafik gösterimi yeterlidir. Bu tür grafiklerde yatay eksen bağımsız değişken, dikey eksen ise bağımlı değişkendir. Şekil 3' te hareketli bir cismin konum-zaman grafiği verilmektedir. Burada zamana bağlı ölçümler yapıldığı için, sonuçta bulunan nicelik (bağımlı değişken) bağımsız değişken zaman üzerinden incelenecektir. Tüm grafik çizimi işlemlerinde, ölçümden elde edilen veri noktalarının konumları orijin olarak isimlendirilen referans noktasına göre tanımlanmalıdır. Bu, $(0,0)$ orijin noktasına göre iki-boyutlu grafik üzerindeki herhangi bir veri noktasının x ve y -eksenlerindeki koordinatlarının (x, y) olarak sembolize edilmesidir.

Arasında doğrusal bağıntı olan x ve y değişkenleri,

$$y = mx + b$$

gibi bir cebirsel denkleme sahiptir. Bu denklemde m ve b sabit sayılardır. Çizilecek x 'e karşı y grafiği, eğimi m olan bir doğru olarak elde edilir. Genellikle doğrunun eğiminden bulunacak bu m değeri ölçümlerde fiziksel bir niceliğe karşılık gelir.

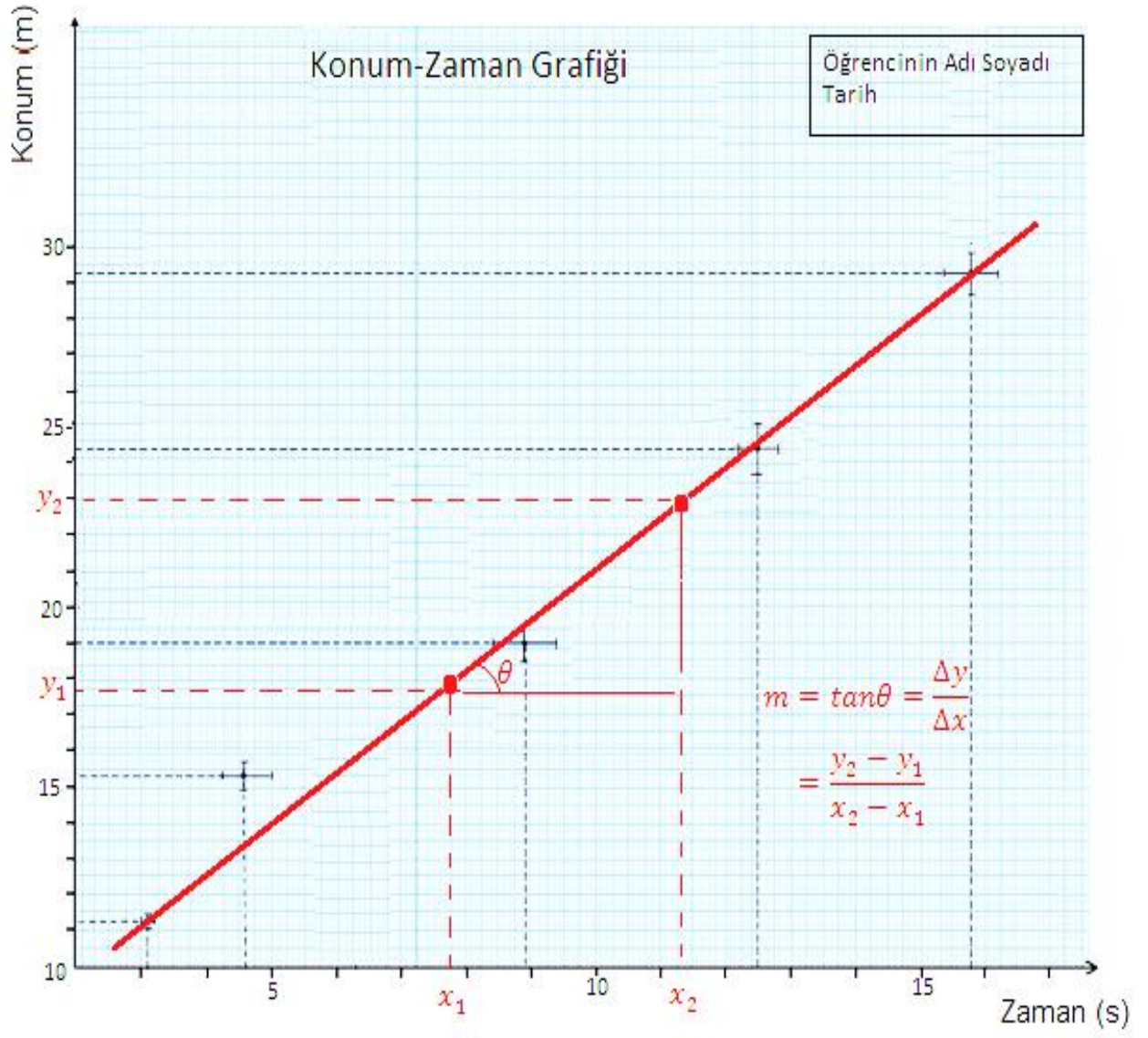
x ve y -eksenleri kullanılarak çizilen bir grafikte doğru üzerinde bulunan (x_1, y_1) ve (x_2, y_2) şeklinde iki veri noktasını ele alalım. Bu iki veri noktası arasındaki x ve y -eksenleri üzerindeki değişimler, $\Delta x = x_2 - x_1$ ve $\Delta y = y_2 - y_1$ olacaktır. Buradan yola çıkarak, Şekil 3' te görüldüğü gibi doğrunun eğimi,

$$m = \tan \theta = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

şeklinde ifade edilebilir.

Deneyisel çalışmalarda grafik çiziminde izlenmesi gereken yol aşağıda listelenmiştir:

- Grafiğin başlığı yazılmalıdır.
- x ve y -eksen etiketleri açıkça gösterilmelidir.
- Eksenler üzerindeki birimler belirtilmelidir.
- Eksenler uygun şekilde ölçeklendirilmelidir.
- Veri noktaları açıkça tanımlanmalıdır.



Şekil 3. Konum-zaman grafiği.

DENEYİN YAPILIŞI:

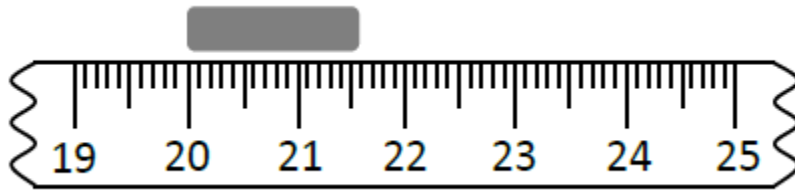
DENEY SETİNİN TANITIMI



Şekil 4. Fizikte ölçme deney seti.

CETVEL

Cetvel, uzunluk ölçümleri ve düz çizgi çizmek için kullanılan en yaygın ölçüm aletlerinden biridir. Cetvel üzerinde bölmeler arasında en küçük mesafe bir milimetredir. Cetvel üzerindeki milimetrik işaretler arasında okuma yaparken en iyi tahmini yapmak gerekir. Dik bir görüş çizgisinin sağından ya da solundan bakıldığında, cetvele yakın bir noktanın konumu farklı görünebilir. Bu durum “*paralaks hatası*” olarak adlandırılır. Şekil 5’ te bir cismin cetvel yakınındaki pozisyonunu gösteren bir çizim örnek olarak verilmiştir.



Şekil 5. Bir cismin uzunluğunun ölçülmesi.

Şekil 5’te gösterildiği gibi, cetvel kullanarak cismin iki kenar noktası tahmin edilebilir. Ölçümler yapılırken, cetvel üzerindeki milimetre çizgilerinin kalınlığı ve gözlemlerdeki paralaks etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle cetvel üzerindeki bir milimetrelik en

küçük bölme için hata tahmini sınırı, bu bölme aralığına (1 mm) eşittir. Buna göre, cismin iki uç noktasının cetvelde karşılık gelen pozisyonları 20.0 cm ve 21.6 cm olarak yazılabilir.

$$d_1 = 20.0 \pm 0.1 \text{ cm}$$

$$d_2 = 21.6 \pm 0.1 \text{ cm}$$

Burada, d_1 ve d_2 değerleri cismin iki uç noktasından yapılan konum ölçümleridir. Bu iki uç nokta arasındaki bir fark olarak, cismin uzunluğu;

$$d = d_2 - d_1 = (21.6 \pm 0.1 \text{ cm}) - (20.0 \pm 0.1 \text{ cm}) = 1.6 \pm 0.2 \text{ cm}$$

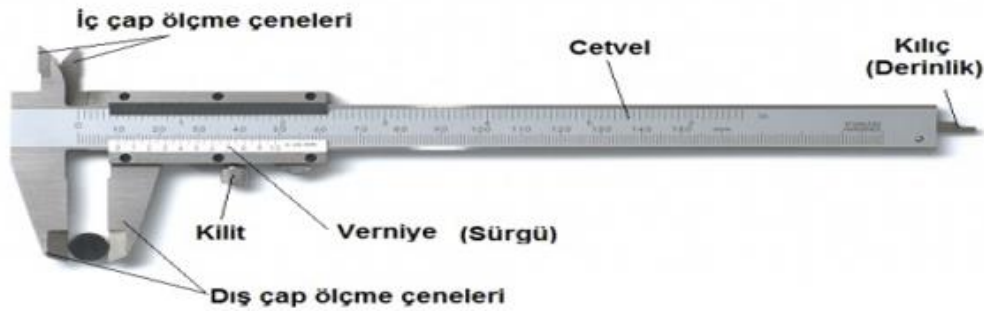
$$d = 16 \pm 2 \text{ mm}$$

olarak yazılabilir.

VERNİYELİ KUMPAS

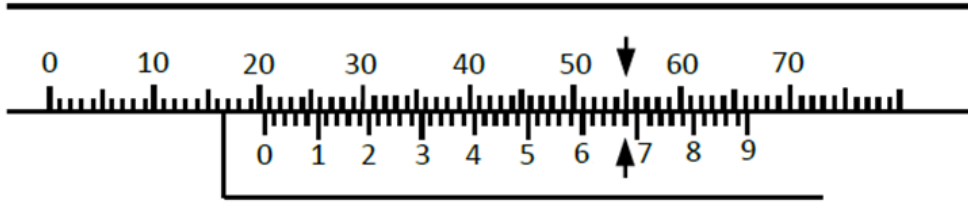
Kumpas, en küçük bölmenin kesir kısmını doğru olarak belirlemek için laboratuvarlarda ve sanayide yaygın olarak kullanılan bir araçtır. Bir cetvelin aksine, kumpas en küçük bölmenin kesir kısmının sadece tahminle değil, doğru olarak tespit edilmesini sağlar. Bu yüzden kumpas, daha hassas okumalar yapmak için standart bir alettir. Kumpas, bir cismin uzunluğunu, üzerinde bulunan deliğin iç/dış çapını ve deliğin derinliğini belirlemede kullanılabilir.

Şekil 6’ da görüldüğü gibi, bir verniyeli kumpasın temel parçaları; ana cetvel, verniye ölçeği, sabit ve hareketli çenelerdir.



Şekil 6. Kumpas ve bölümleri.

Verniyeli kumpas, ölçülecek uzunluğu 1/10 mm (bazı kumpaslarda 0.5/10 mm) hassaslıkla ölçmeye yarar. Verniyeli kumpas milimetre bölmeli bir cetvel ile bu cetvel üzerinde kayabilen bir verniyeden oluşur. 1/10 mm lik bir verniye 9 mm boyunda olup, bu uzunluk 10 eşit parçaya bölünmüştür. Kumpasın “mm” bölmesi ile verniye bölmesi arasında 0.1 mm fark vardır. Ölçü alınırken verniye sıfır çizgisi hangi milimetre bölmeleri arasında ise bu bölmelerden küçük olanı tam milimetre sayısı olarak alınır.

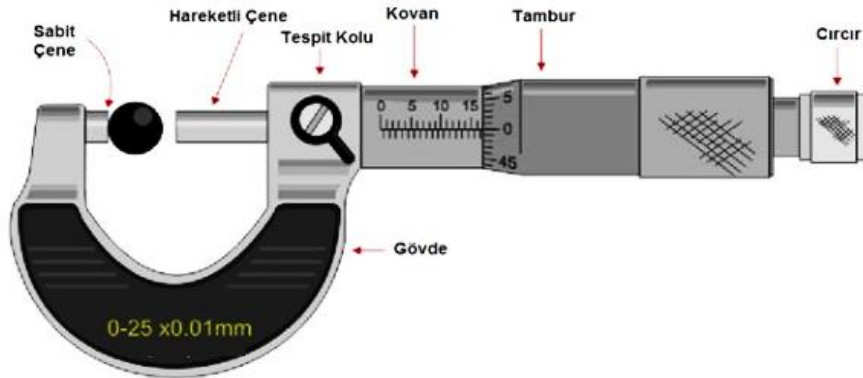


Şekil 7. Kumpas okunması.

Şekil 7’ deki değeri okuyalım. Verniye üzerindeki sıfır noktası ana cetveldeki 20 ile 21 sayılarına karşılık gelen bölme çizgilerinin arasında hizalıdır. Bu nedenle, ana cetvel ölçeğinden yapılacak doğru okuma değeri 20 mm’dir. Şimdi verniye ya da hareketli cetvel ölçeği üzerinde gözlem yaptığımızda hangi bölme çizgisinin ana cetvel ölçeği üzerindeki bir bölme çizgisi ile hizalandığını belirlemeliyiz. Bu değer verniye ölçeği üzerinde 6.8’dir ve bu ölçeğin çözünürlüğünün 0.1 olduğunu hatırlayalım. Sonuç olarak, yukarıda verilen ölçümde okunan değer $20 \text{ mm} + 6.8 \times 0.1 \text{ mm} = 20.68 \text{ mm}$ olur.

MİKROMETRE

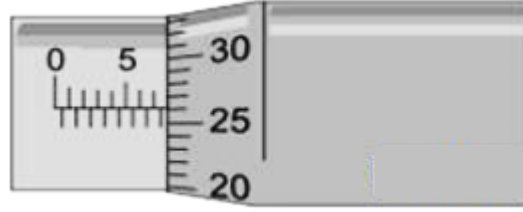
Mikrometre, çok küçük uzunlukları 1/100 mm hassaslıkla ölçmeye yarayan bir ölçü aletidir. Şekil 8’ de bir mikrometre ve bölümleri verilmektedir.



Şekil 8. Mikrometre ve bölümleri.

Bir mikrometrede kovan kısmı ortada düz bir çizgi, alt ve üst tam ve yarım milimetreleri gösterecek şekilde bölmelendirilmiştir. Tambur üzerinde ise 50 bölme (bazı mikrometrelerde 100 bölme) bulunmaktadır. Tamburun tam bir devir yapması ile çeneler arasında 0.5 mm (bazı mikrometrelerde 1 mm) lik bir açıklık sağlanır. Çenelerin çakışık olması halinde kovan

kısımındaki 0 çizgisi ile tambur üzerindeki düz çizgi çakışık konumdadır. Şimdi Şekil 9’ da verilen mikrometredeki değeri okuyalım.



Şekil 9. Mikrometre okunması.

Kovan üzerinde geçilen tam ölçü = 7 mm

Kovan üzerinde geçilen 0.5 ölçü = $1 \times 0.5 = 0.5$ mm

Tambur üzerinde çakışan çizgi = $26 \times 0.01 = 0.26$ mm

Okunan değer = $7 + 0.5 + 0.26 = 7.76$ mm

EŞİT KOLLU TERAZİ

Eşit kollu terazi kütle ölçümü için en yaygın kullanılan alettir. Bilinen standart bir kütle ile bilinmeyen bir kütlenin dengelenmesi prensibine göre çalışmaktadır. Tipik bir eşit kollu terazi Şekil 10’ da gösterilmiştir.



Şekil 10. Eşit kollu terazi.

Eşit kollu terazi, terazi kolu olarak adlandırılan düzgün bir çubuğun iki ucuna asılmış iki kefedен oluşur. Terazi kolu, merkezinden bıçak ağzı şeklindeki bir desteğe oturtulmuştur. Bu terazi kolunun dayanak noktasına “*destek noktası*” denir. Bir kefeye konan cismin kütlesini

dengelemek için diğerk kefeye yerleştirilen kütlelerin toplamı, o cismin kütlesini verir. Çoğu eşit kollu terazide, terazi kolu üzerinde serbestçe hareket edebilen ve kalibre edilmiş en küçük kütleden daha yüksek bir hassasiyet sağlayan biniciler mevcuttur. Bu lm aletlerinde, ölçüm sonucundaki doğruluk binici duyarlılığına bağlıdır.

Bir lm yapmadan önce eşit kollu terazinin dengesi kontrol edilmelidir. Bunun için terazi koluna bağlı ibrenin destek kolu üzerindeki ölçekte sıfır noktasında olup olmadığına bakılır. Kesin doğru ölçümler için yeterince mkemmek bir denge kurmak fiziksel olarak imkansızdır. Eşit kollu terazide doğruluk, kefelere üzerindeki toz ve nemden bile kolayca etkilenebilir. lm sırasında dikkatli gözlem yapılması sonuçların doğruluğu için önemlidir.

DİJİTAL TERAZİ

Dijital terazi ile bir cismin kütlesinin belirlenmesi en uygun ve hızlı yoldur. Bu tür terazilerin kullanılmasının temel nedeni daha doğru ve güvenilir ölçüm sonuçlarının hızlı ve basit bir ölçümle elde edilmesidir. Ayrıca, bu teraziler ile ölçüm yapmak, kütlenin gram, ons gibi farklı birimler cinsinden bulunmasını da sağlar. Bu yüzden, dijital terazi açıldıktan sonra, bir cismin kütlesinin tercih edilen birimde ölçülmesi için, bu birimin tanımlanması gerekir. Cisim terazi tablasına yerleştirildiğinde kütle değeri ekranda görülecektir. Dijital okuma yapıldığından okuma belirsizliği yoktur. Fakat kullanılan terazinin hassasiyeti bilinmelidir.



şekil 11. Dijital Terazi.

DENEYİN YAPILIŞI

Bu deneyde Şekil 12’ de verilen cisimlerin yoğunlukları hesaplanacaktır.



Şekil 12. Farklı geometrik şekillere sahip cisimler.

Bu cisimlerin kütlelerini belirlemek için eşit kollu terazi ve dijital terazi kullanılacaktır. Cisimlerin boyutları; cetvel, kumpas ya da mikrometre yardımıyla ölçülecektir ve bu ölçümler kullanılarak cisimlerin hacimleri hesaplanacaktır.

$$V_{\text{dikdörtgen}} = WLh$$

$$V_{\text{silindir}} = \pi r^2 L$$

$$V_{\text{koni}} = \frac{1}{3} \pi r^2 h$$

$$V_{\text{küre}} = \frac{4}{3} \pi r^3$$

Burada;

W, L ve h : Dikdörtgenin eni, boyu ve yüksekliği

r ve L : Silindirin yarıçapı ve uzunluğu

r ve h : Koninin taban yarıçapı ve tabandan tepe noktasına kadar olan yüksekliği

r : Kürenin yarıçapı

olarak bilinir.

Deneye başlamadan önce yoğunluk kavramını kısaca ele alalım. Yoğunluk malzemelerin karakteristik bir özelliği olup, cisimlerin miktarından bağımsızdır. Böylece, şekli ve boyutu önemli olmaksızın cismin yoğunluğu aynı kalır. Bir cismin kütlesi hacmine düzenli (homojen olarak) ya da düzensiz (homojen olmadan) dağılabilir. Eğer bir kütle hacmine düzenli dağılırsa cismin yoğunluğu, ρ , toplam kütlenin (m) toplam hacme (V) bölünmesiyle bulunur:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

SI sisteminde kgm^{-3} yoğunluk için kullanılan birimdir. Ancak, gcm^{-3} bir cismin yoğunluğunu tanımlarken daha yaygın kullanılır.

Bu deneyde yapılacak işlemler aşağıda listelenmiştir:

1. Dikdörtgenin boyutlarını (W, L, h) cetvel, silindir ve koninin boyutlarını ($r_{\text{silindir}}, L, r_{\text{koni}}, h$) kumpas ve kürenin yarıçapını ($r_{\text{küre}}$) mikrometre ile ölçünüz. Bulduğunuz değerleri Tablo 3' e kaydediniz.
2. Her bir geometrik cismin hacmini ilgili bağıntıları kullanarak ($V_{\text{dikdörtgen}}, V_{\text{silindir}}, V_{\text{koni}}, V_{\text{küre}}$) hesaplayınız ve Tablo 3' e kaydediniz.
3. Her bir geometrik cismin kütesini ($m_{\text{dikdörtgen}}, m_{\text{silindir}}, m_{\text{koni}}, m_{\text{küre}}$) terazide tartarak ölçtüğünüz değerleri Tablo 3' e kaydediniz.
4. Her bir geometrik cismin yoğunluğunu ($\rho_{\text{dikdörtgen}}, \rho_{\text{silindir}}, \rho_{\text{koni}}, \rho_{\text{küre}}$) hesaplayınız, Tablo 3' e kaydediniz ve sonuçları yorumlayınız.

DENEY VERİLERİ:

TABLO 3			
Dikdörtgen	Silindir	Koni	Küre
$W=$ $L=$ $h=$	$r_{silindir}=$ $L=$	$r_{koni}=$ $h=$	$r_{küre}=$
$V_{dikdörtgen}=$	$V_{silindir}=$	$V_{koni}=$	$V_{küre}=$
$m_{dikdörtgen}=$	$m_{silindir}=$	$m_{koni}=$	$m_{küre}=$
$\rho_{dikdörtgen}=$	$\rho_{silindir}=$	$\rho_{koni}=$	$\rho_{küre}=$

SABİT İVMELİ HAREKET ve DOĞRUSAL MOMENTUMUN KORUNUMU



M1

SABİT İVMELİ HAREKET ve DOĞRUSAL MOMENTUMUN KORUNUMU

M1

DENEYİN AMACI:

1. Eğik düzlemde sabit ivmeli hareketi öğrenmek.
2. İki boyutta iki cismin çarpışma olayını gözlemleyerek doğrusal momentumun korunumunu incelemek.

DENEYDE KULLANILAN ARAÇLAR:

Hava masası deney seti
Ark kronometresi ve ayak pedalı
Hava kompresörü ve ayak pedalı
Diskler
Karbon kâğıdı

TEORİK BİLGİ:

1.1. SABİT İVMELİ HAREKET

Düzgün doğrusal bir yolda hareket eden bir cisim üzerine etki eden net kuvvet sıfır ise cisim sabit hızla hareketine devam eder. Cismin başlangıç konumu $\vec{x} = \vec{x}_0$ olarak kabul edildiğinde her t anı için cismin hızında bir değişim olmadığından herhangi bir t anında cismin $\vec{x}$ yerdeğiştirmesi;

$$\vec{x} = \vec{x}_0 + \vec{V}t \quad (1.1)$$

şeklinde olur ve başlangıç konumu $\vec{x}_0 = \vec{0}$ alınırsa;

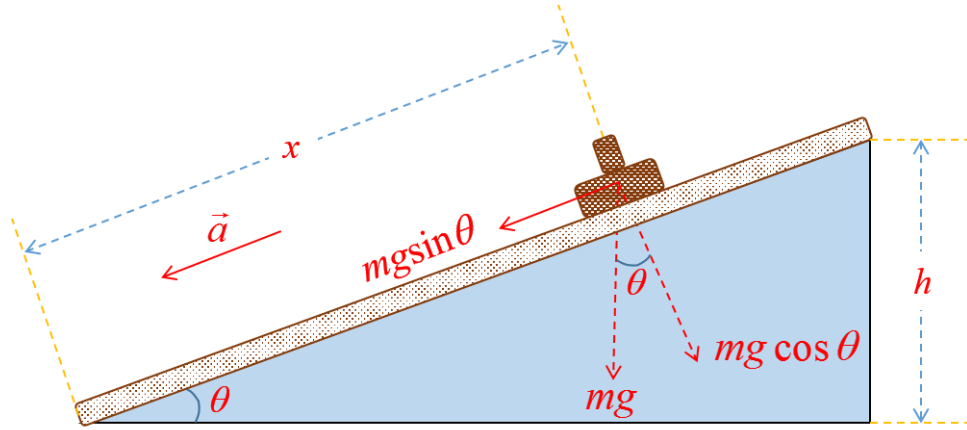
$$\vec{x} = \vec{V}t \quad (1.2)$$

elde edilir. Burada $\vec{V}$ cismin hızı olup, SI sisteminde birimi ms^{-1} dir. Sabit hızlı düzgün doğrusal harekette cisim doğrusal bir yol boyunca eşit zaman aralıklarında eşit yol alır.

Cismin hızının büyüklüğünde, yönünde ya da her ikisinde de bir değişim olursa, cisim ivmeli hareket yapar. Şekil 1.1' de görüldüğü gibi, bir cisim sürtünmesiz bir eğik düzlemde

aşağı doğru kayarken sabit ivmeli doğrusal hareket yapar. Cismin ivmesinin büyüklüğü hareket ettiği eğik düzlemin yatay düzlemle yaptığı eğim açısına (θ) bağlıdır.

Cismin sürtünmesiz bir eğik düzlemin en üst noktasından aşağı doğru kaymasına izin verilirse, cisim doğrusal bir yol boyunca artan bir hızla hareket eder. Cismin hızındaki değişim oranı bu cismin ivmesini verir.



Şekil 1.1. Sürtünmesiz bir eğik düzlemden aşağı doğru kayan bir cisim.

Cismin Δt zaman aralığındaki ortalama ivmesi;

$$\vec{a}_{ort} = \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t} = \frac{\vec{V}_2 - \vec{V}_1}{t_2 - t_1} \quad (1.3)$$

olarak tanımlanır. Burada $\vec{V}_1$ cismin t_1 anında x_1 konumundaki hızı, $\vec{V}_2$ cismin t_2 anında x_2 konumundaki hızı ve $\Delta \vec{V}$ cismin x_1 ve x_2 noktaları arasındaki hız değişimidir. İvmenin SI sistemine göre birimi ms^{-2} dir.

Cismin herhangi bir t anındaki anlık ivmesi ise;

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t} = \frac{d\vec{V}}{dt} \quad (1.4)$$

ile verilir. Düzgün doğrusal harekette anlık ivme, hızın zamanla anlık değişimine eşittir.

Sabit ivmeli düzgün doğrusal harekette $t=0$ başlangıç anında cismin hızının $\vec{V}_0$ ve konumunun $\vec{x}_0$ olduğunu kabul edersek, herhangi bir t anındaki hızı ve konumu;

$$\vec{V} = \vec{V}_0 + \vec{a}t \quad (1.5)$$

$$\vec{x} = \vec{x}_0 + \vec{V}_0 t + \frac{1}{2} \vec{a}t^2 \quad (1.6)$$

ile verilir. Eğer cisim başlangıç konumu $\vec{x}_0 = \vec{0}$ olan noktadan durgun halden harekete başlarsa, herhangi bir t anındaki konumu;

$$\vec{x} = \frac{1}{2} \vec{a} t^2 \quad (1.7)$$

olarak elde edilir. Eşitlik 1.7' ye göre, $x = f(t^2)$ değişim grafiği çizildiğinde bir doğru elde edilir ve bu doğrunun eğimi;

$$m = \tan \theta = \frac{1}{2} a \quad (1.8)$$

ifadesini verir. Böylece deneysel olarak cismin a ivmesi belirlenebilir.

Şekil 1.1' de eğimli bir hava masası üzerinde aşağı doğru hareket eden bir cisim görülmektedir. Bu cisim için serbest cisim diyagramı çizilirse, cismin hareket yönü boyunca cisme etki eden kuvvetin büyüklüğünün $F = mg \sin \theta$ olduğu görülür. Newton'un II. Hareket Yasasına göre sabit kütle için $F = ma$ bağıntısı geçerlidir. Buna göre cismin ivmesi;

$$F = mg \sin \theta = ma \quad (1.9)$$

$$a = g \sin \theta \quad (1.10)$$

olarak bulunur ve yerçekimi ivmesinin yatay bileşenidir. Eğik düzlemin eğim açısı θ bilinirse ve cismin ivmesi belirlenirse, o noktadaki yerçekimi ivmesi deneysel olarak bulunabilir. $\theta=90^\circ$ ise, cismin ivmesinin büyüklüğü yerçekimi ivmesinin büyüklüğüne eşit olacaktır. Eğer θ eğim açısı ve g yerçekimi ivmesi bilinirse, Eşitlik 1.10' dan yararlanarak cismin ivmesi de hesaplanabilir.

1.2. DOĞRUSAL MOMENTUMUN KORUNUMU

Kütlesi m ve hızı $\vec{V}$ olan bir cismin momentumu;

$$\vec{P} = m\vec{V} \quad (1.11)$$

ile verilir. Momentum vektörünün yönü cismin hareket yönü ile aynıdır. Kütlesi kg ve hızı ms^{-1} cinsinden alınan bir cismin momentumunun SI sisteminde birimi kgms^{-1} dir.

Bir cisim üzerine etki eden net kuvvet sıfır ise cismin momentumu sabit kalır. Bu durum “**momentumun korunum yasası**” olarak bilinir. Bu yasa evrendeki temel korunum yasalarından biridir.

Bir cisim için Newton'un II. Hareket Yasası momentum cinsinden;

$$\vec{F}_{net} = \frac{d\vec{P}}{dt} \quad (1.12)$$

ile verilir. Eşitlik 1.12' ye göre, cismin momentumunun zamanla değişimi cisim üzerine etki eden net kuvveti verir. Sabit kütleli bir cisim üzerine etki eden net kuvvet sıfır ise, cismin toplam momentumu korunur yani sabit kalır.

$$\vec{F}_{net} = \vec{0} \text{ ise } \vec{P} = \text{sabit} \quad (\text{Momentumun Korunumu Yasası}) \quad (1.13)$$

Eşitlik 1.13' e göre cismin ilk momentumunun son momentumuna eşit olduğu ortaya çıkar. Momentum vektörel bir nicelik olduğu için, momentumun korunumu yasası yazılırken cismin momentumunun bileşenlerine dikkat etmek gerekir.

Kütlesi m ve hızı $\vec{V}_1$ olan bir cisim üzerine $\vec{F}$ kuvvetinin kısa bir Δt süresince etki ettiğini ve bunun sonucunda cismin hızının $\vec{V}_2$ olduğunu düşünelim. Newton'un II. Hareket Yasasına göre;

$$\vec{F} = \frac{m(\vec{V}_2 - \vec{V}_1)}{\Delta t}$$

$$\vec{F}\Delta t = m(\vec{V}_2 - \vec{V}_1) = m\vec{V}_2 - m\vec{V}_1 = \vec{P}_2 - \vec{P}_1 = \Delta\vec{P} \quad (1.14)$$

eşitliği elde edilir. Burada $\vec{F}\Delta t$ terimi, cisim üzerine $\vec{F}$ kuvvetinin Δt zaman aralığında uyguladığı “**itme (impuls)**” olarak adlandırılır. Eşitlik 1.14' ten görüldüğü gibi, bir cisim üzerindeki itme cismin momentumunun değişimine eşittir. İtmenin SI sisteminde birimi kgms^{-1} ya da Ns 'dir.

İki veya daha fazla cismin yörüngelerinin kesiştiği noktada buluşmaları olayına “**çarpışma olayı**” denir. Çarpışmalar esnek ve esnek olmayan çarpışmalar olarak ikiye ayrılır. Her iki çarpışma olayında da momentum korunur yani cisimlerin çarpışmadan önceki momentumları çarpışmadan sonraki momentumlarına eşittir. Esnek çarpışmada toplam kinetik enerji, çarpışmadan önceki ve sonraki durumlarda birbirine eşittir. Kinetik enerjinin korunmadığı çarpışmalar esnek olmayan çarpışmalar olarak adlandırılır. Kaybedilen kinetik enerji, başka bir enerji türüne genellikle ısı enerjisine dönüşür ve sonuç olarak toplam enerji her zaman korunur.

İki cisimli bir sistem için sürtünme ihmal edilirse çarpışma öncesindeki toplam momentum ($\vec{P}_{ilk}$) çarpışmadan sonraki toplam momentuma ($\vec{P}_{son}$) eşit olacaktır.

$$\vec{P}_{ilk} = \vec{P}_{son}$$

$$m_1\vec{V}_{1ilk} + m_2\vec{V}_{2ilk} = m_1\vec{V}_{1son} + m_2\vec{V}_{2son} \quad (1.15)$$

$\vec{V}_{1ilk}$: m_1 kütleli cismin çarpışmadan önceki hızı

$\vec{V}_{2ilk}$: m_2 kütleli cismin çarpışmadan önceki hızı

$\vec{V}_{1son}$: m_1 kütleli cismin çarpışmadan sonraki hızı

$\vec{V}_{2son}$: m_2 kütleli cismin çarpışmadan sonraki hızı.

İki cismin kütleleri özdeş ($m_1 = m_2 = m$) olduğunda, momentumun korunumunu veren Eşitlik 1.15 aşağıdaki gibi hız vektörleri ilişkisini verir.

$$\vec{V}_{1ilk} + \vec{V}_{2ilk} = \vec{V}_{1son} + \vec{V}_{2son} \quad (1.16)$$

Esnek çarpışmada çarpışan her cismin kinetik enerjisi değişebilir, ancak toplam kinetik enerji değişmez yani korunur. Esnek olmayan çarpışmada ise bu iki cisimli sistemin kinetik enerjisi korunmaz.

İki cisimli sistem için esnek çarpışma durumunda çarpışmadan önceki toplam kinetik enerji (K_{ilk}), çarpışmadan sonraki toplam kinetik enerjiye (K_{son}) eşittir.

$$K_{ilk} = K_{son} \quad (1.17)$$

$$\frac{1}{2} m_1 V_{1ilk}^2 + \frac{1}{2} m_2 V_{2ilk}^2 = \frac{1}{2} m_1 V_{1son}^2 + \frac{1}{2} m_2 V_{2son}^2 \quad (1.18)$$

Esnek olmayan çarpışmada momentum korunur, ancak kinetik enerji korunmaz. Bu durumda kinetik enerjinin **“oransal kaybı”**;

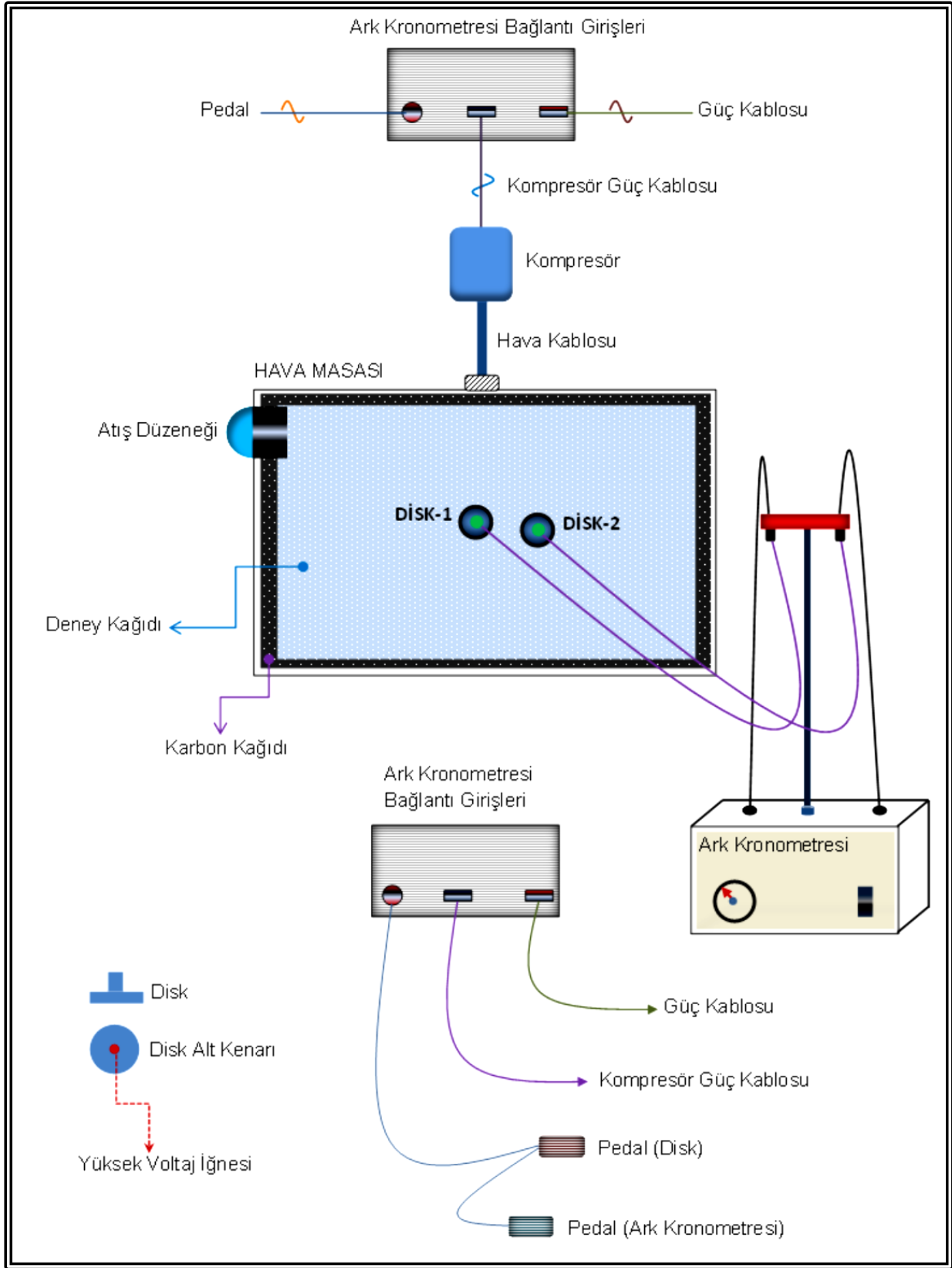
$$\text{Oransal Kayıp} = \frac{K_{ilk} - K_{son}}{K_{ilk}} \quad (1.19)$$

olarak tanımlanır ve yüzde kayıp;

$$\% \text{Kayıp} = \frac{K_{ilk} - K_{son}}{K_{ilk}} \times 100 \quad (1.20)$$

şeklinde ifade edilir.

DENEYİN YAPILIŞI:



Şekil 1.2. Hava masası deney setinin şematik gösterimi.

A. SABİT İVMELİ HAREKET

- A1. Deney veri kâğıdını hava masasındaki karbon kâğıdının üzerine yerleştiriniz.
- A2. Hava masasını düz seviyeye getiriniz ve daha sonra bir yükseltici blok ile belirli bir θ eğim açısı olacak şekilde bir kenarını yükseltiniz.
- A3. Metal disklerden birisini hava masasının sağ alt köşesinde karbon kâğıdının üzerinde hareketsiz bırakınız.
- A4. Kompresörü çalıştırınız. Diğer metal diski eğik düzlemin tepe noktasına koyunuz ve kompresör pedalına basınız. Diskin, düzlemden serbestçe kayıp kaymadığını kontrol ediniz.
- A5. Ark kronometresini açınız ve ark frekansını $f=20$ Hz olarak ayarlayınız.



Ark kronometresi çalışırken; iletken bölümlere, yüksek gerilim uçlarına, metal disklerin hortumlarına ve deney veri ya da karbon kâğıdına dokunmayınız!

- A6. Metal diski, eğik hava masasının yükseltilmiş ucuna, orta noktaya yerleştiriniz.
- Ark kronometresi ve hava kompresörü pedallarına aynı anda basınız ve metal diski ilk hızsız olacak şekilde serbest bırakınız.
 - Disk eğik düzlemin alt noktasına ulaştığında pedallara basmayı bırakınız.
 - Diskin düz bir yolda ilerlediğini gözlemleyiniz.
 - Ark kronometresini kapatınız.
- A7. Veri kâğıdını çıkarınız.
- Pozitif x-ksenini metal diskin hareket yönü olarak alınız.
 - Birinci noktadan başlayacak şekilde 0,1,2,...,10 şeklinde noktaları numaralandırınız.
 - İlk veri noktası olarak $x=0$ ve $t=0$ olan ilk noktayı alınız.
 - Cetvel kullanarak, sıfıncı nokta ile diğer noktalar arasındaki mesafeleri (x) ölçünüz ve Tablo 1.1' e kaydediniz.
 - Her bir nokta için zamanı (t) belirleyiniz ve Tablo 1.1' e kaydediniz.

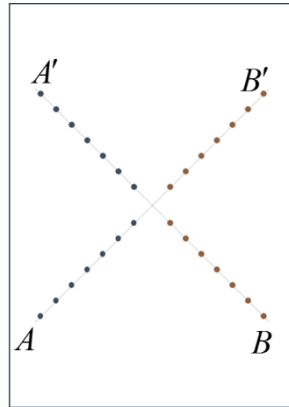
Ark kronometresinin frekansı $f=20$ Hz olarak ayarlandığı için, metal disk deney kâğıdı üzerine bir saniyede 20 nokta üretir. Bu yüzden iki ardışık nokta arasındaki zaman aralığı $1/20=0.05$ s olacaktır.

- t^2 değerlerini hesaplayınız ve Tablo 1.1' e kaydediniz.

- A8.** $x = f(t^2)$ değişim grafiğini çiziniz ve veri noktalarınıza göre doğruyu elde ediniz. Bu doğrunun eğimini ve Eşitlik 1.8' i kullanarak diskin deneysel ivmesini (a) belirleyiniz ve Tablo 1.1' e kaydediniz. Bu hesaplamaları grafik üstünde açık bir şekilde gösteriniz.
- A9.** Eşitlik 1.10' u kullanarak beklenen ivme (a') değerini hesaplayınız, Tablo 1.1' e kaydediniz ve deneysel ivme (a) ile karşılaştırınız. ($g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$).

B. DOğRUSAL MOMENTUMUN KORUNUMU

- B1.** Hava masası yatayda hizalanacak şekilde masanın ayaklarını ayarlayınız.
- B2.** Kompresörü çalıştırınız ve hava masası üzerinde iki metal diski birbirlerine çapraz olarak itiniz. Tatmin edici bir çarpışma elde edinceye kadar bu işlemi birkaç kez tekrarlayınız.
- B3.** Ark kronometresini açınız ve frekansını $f = 20 \text{ Hz}$ olacak şekilde ayarlayınız.
- B4.** Kompresör ve ark kronometresi pedallarına aynı anda basınız ve iki metal diski hava masasının orta noktasına yakın bir yerde çarpışacak şekilde çapraz olarak itiniz.
- B5.** arpışmadan sonra pedallara basmayı bırakınız.
- B6.** Ark kronometresini kapatınız ve güvenlik için metal diskleri hava masasından kaldırınız.
- B7.** Veri kâğıdını çıkarınız.
- Metal disklerin noktaları şekil 1.3' te gösterildiği gibi olmalıdır.
 - Her metal disk için çalışma kâğıdı üzerindeki noktaları 0, 1, 2, 3, 4, 5...10 şeklinde numaralandırınız.
 - şekil 1.3' te verildiği gibi, metal diskler tarafından üretilen yörüngeleri, çarpışmadan önceki durum için A , B ve çarpışmadan sonraki durum için A' ve B' şeklinde etiketleyiniz.

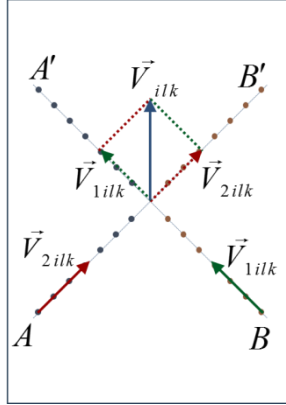


şekil 1.3. Metal disklerin yörüngesi.

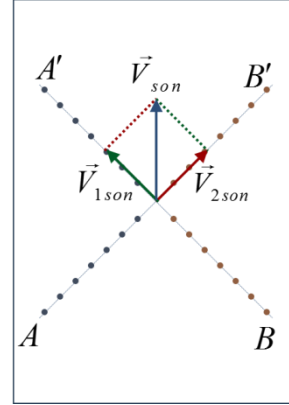
B8. Her yörüngedeki iki veya üç aralığın uzunluklarını ölçerek ve zamana bölerek, her iki metal diskin çarpışmadan önceki ve sonraki hızlarının büyüklüğünü bulunuz ve Tablo 1.2' ye kaydediniz.

B9. $\vec{V}_{ilk} = \vec{V}_{1ilk} + \vec{V}_{2ilk}$ vektör toplamını bulunuz.

- Vektör toplamını bulmak için, A ve B yörüngelerini Şekil 1.4 (a)' da gösterildiği gibi kesişinceye kadar uzatınız.



(a)



(b)

Şekil 1.4. (a) Çarpışma öncesi (b) Çarpışma sonrası hızların vektörel toplamı.

- Kesişim noktasından başlayarak $\vec{V}_{1ilk}$ ve $\vec{V}_{2ilk}$ hız vektörleri yönünde ve bu vektörlerin büyüklükleri V_{1ilk} ve V_{2ilk} ile orantılı uzunlukta olacak şekilde vektörleri grafik kağıdına çiziniz.
- Çarpışmadan önceki $\vec{V}_{1ilk} + \vec{V}_{2ilk}$ vektör toplamını paralelkenar yöntemini kullanarak bulunuz, büyüklüğünü hesaplayınız ve sonuçlarınızı Tablo 1.2' ye kaydediniz.

B10. Şekil 1.4 (b)' de gösterildiği gibi $\vec{V}_{son} = \vec{V}_{1son} + \vec{V}_{2son}$ vektör toplamını bulunuz, bu vektörün büyüklüğünü hesaplayınız ve sonuçlarınızı Tablo 1.2' ye kaydediniz.

B11. Çarpışmadan önceki ve sonraki hız vektör toplamlarını karşılaştırınız ve sonucunuzu yorumlayınız.

B12. Çarpışma öncesi ve sonrası için toplam kinetik enerjileri bulunuz, Tablo 1.2' ye kaydediniz ve sonuçlarınızı yorumlayınız.

DENEY VERİLERİ:

[illegible]

BALİSTİK SARKAÇ ve EĞİK ATIŞ



M2

BALİSTİK SARKAÇ ve EĞİK ATIŞ

M2

DENEYİN AMACI:

1. Balistik sarkaç kullanarak fırlatılan bir cismin (bilyenin) ilk hızını belirlemek.
2. Balistik sarkaç sisteminde kinetik ve potansiyel enerjiler arasındaki ilişkiyi incelemek.
3. Momentum ve mekanik enerjinin korunumu yasalarını öğrenmek.
4. İki boyutta hareketin kinematik denklemlerini anlamak.
5. Yatay atış hareketini inceleyerek, yatay olarak fırlatılan bir cismin ilk hızını belirlemek.
6. Eğik atış hareketini inceleyerek, yatay eksene göre belirli bir açı yapacak şekilde ilk hızla atılan bir cismin aldığı yatay mesafeyi belirlemek.

DENEYDE KULLANILAN ARAÇLAR:

Balistik sarkaç

Eğik atış fırlatıcısı (Eğik atış mekanizması)

Zamanlayıcı

Kuvvet plakası

Işık kapısı (Photogate)

Çelik bilye

Cetvel

Beyaz ve karbon kâğıtlar

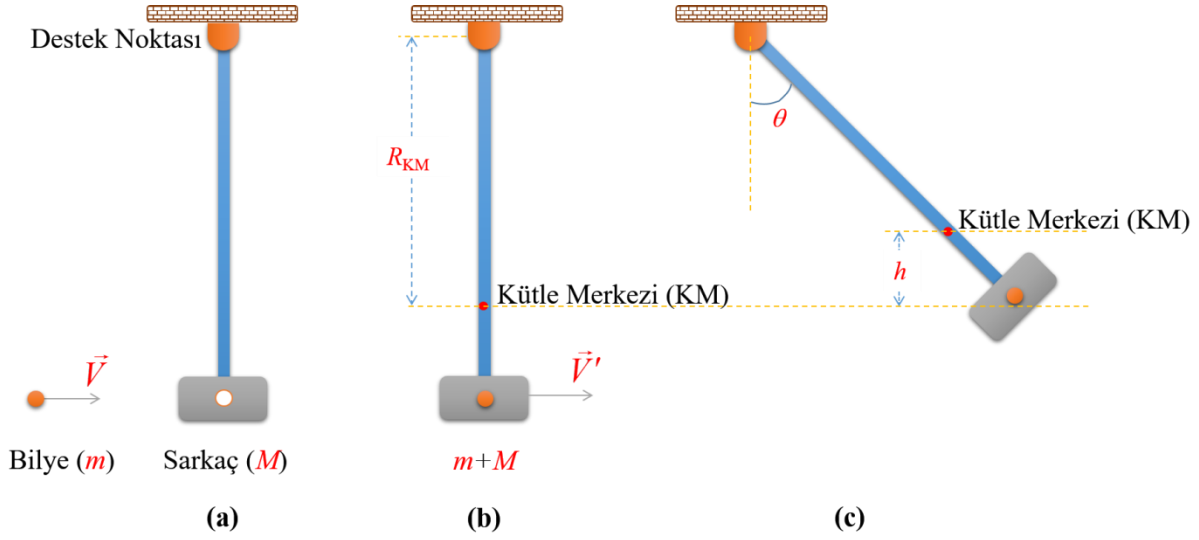
TEORİK BİLGİ:

2.1. BALİSTİK SARKAÇ

Balistik sarkaç, mermi gibi hızlı hareket eden bir cismin ilk yatay hızını (atış hızı) belirlemek için kullanılan bir sistemdir. Balistik sarkaç, düşey konumda asılı ve destek noktası etrafında sürtünmesiz dönebilen bir çubuk ve bloktan (tutucu) oluşur.

Şekil 2.1 (a)' da görüldüğü gibi, yatay olarak fırlatılan m kütleli cisim $\vec{V}$ ilk yatay hızı ile dengede duran balistik sarkaca doğru hareket eder. Sarkaç sisteminde atış mekanizmasından yatay olarak fırlatılan cisim m kütleli bir metal bilyedir. Cisim balistik sarkaca çarpar ve bu çarpmanın etkisi sonucunda Şekil 2.1 (b)' de gösterildiği gibi balistik sarkaç m kütleli cisim ile

birlikte ileri doğru $\vec{V}'$ hızı ile hareket etmeye başlar. Bu durumda bilye balistik sarkaçtaki M kütleli bloğa saplanır ve esnek olmayan bir çarpışma gerçekleşir. Şekil 2.1 (c)' de görüldüğü gibi, bu çarpışma sonucunda bilye-sarkaç sistemi h kadar maksimum bir yüksekliğe çıkar. Deneysel düzenek ile sarkacın çıktığı maksimum yükseklikteki θ açısı belirlenir. Mekanik enerji ve momentumun korunumu yasaları da kullanılarak fırlatılan cismin ilk atıldığı yatay hızı hesaplanır.



Şekil 2.1. m kütleli bir bilye ile balistik sarkacın (a) çarpışmadan önceki durumları (b) çarpışma anı (c) çarpışmadan sonraki durumları.

Şimdi Şekil 2.1 (b)' de verilen çarpışma anını inceleyelim. Çarpışma zamanının çok kısa olduğu düşünülürse, M kütleli blok denge konumundan hareket etmeden hemen önce fırlatılan m kütleli bilye, blok içerisinde hareketsiz hale gelir. Bir başka deyişle, bilye çarpışma sırasında bloğa saplanır ve $m + M$ kütleli $\vec{V}'$ hızı ile hareket eden tek bir cisim oluşur. Esnek olmayan bu çarpışma olayında momentum korunur.

$$\vec{P}_{ilk} = \vec{P}_{son}$$

$$m\vec{V} = (m + M)\vec{V}' \quad (2.1)$$

m : Fırlatılan cismin (bilyenin) kütlesi

$\vec{V}$: Fırlatılan cismin çarpışmadan önceki yatay hızı

M : Sarkaçtaki bloğun kütlesi

$\vec{V}'$: Sarkaç-bilye kütle sisteminin çarpışmadan hemen sonraki hızı

Eşitlik 2.1' e göre, cismin çarpışmadan önceki doğrusal momentumu, sarkaç-bilye kütle sisteminin $(m+M)$ çarpışmadan hemen sonraki doğrusal momentumuna eşittir.

Şekil 2.1 (c)' de görüldüğü gibi, çarpışmadan sonra sarkaç kütle merkezi (KM) tek bir cisimmiş gibi yerçekimi kuvvetinin etkisi altında düşey pozisyona doğru çekilmeye başlar. Bu yüzden çarpışmadan sonra momentumun korunumu kullanılamaz, ancak yerçekimi korunumlu bir kuvvet olduğu için mekanik enerjinin korunumu kullanılabilir. Çarpışmadan sonra sistemin kütle merkezi maksimum yüksekliğine ($y=h$) ulaştığında, kütle sisteminin kinetik enerjisinin (K) tamamı potansiyel enerjiye (U) dönüşür.

Bir cismin veya sistemin mekanik enerjisi (E), kinetik enerji (K) ve potansiyel enerjinin (U) toplamına eşittir. Bir cisme sadece korunumlu kuvvetler etki ederse, hareket boyunca cismin kinetik ve potansiyel enerjileri değişebilir; ancak mekanik enerjisi sabit kalır. Bu durum, “**mekanik enerjinin korunumu**” olarak bilinir. Bu nedenle, sürtünmeden kaynaklı enerji kayıpları ihmal edilirse, enerjinin korunumuna göre sistemin toplam mekanik enerjisi sabit kalır yani mekanik enerji korunur.

$$E = K + U \quad (2.2)$$

Kinetik enerji bir cismin hareket durumu ile ilişkili olup, $\vec{V}$ hızı ile hareket eden m kütleli bir cismin kinetik enerjisi;

$$K = \frac{1}{2} mV^2 \quad (2.3)$$

ile verilir. Eğer, m kütleli cismin referans noktasından olan yüksekliği h ise, cismin sahip olacağı potansiyel enerji;

$$U = mgh \quad (2.4)$$

olur. Potansiyel enerji bir cismin veya sistemin konumundan dolayı sahip olduğu enerjidir ve SI sisteminde enerjinin birimi *Joule* (J)' dür.

Kinetik ve potansiyel enerji ifadeleri Eşitlik 2.2' de yerine yazılırsa, sistemin herhangi bir zamandaki mekanik enerjisi;

$$E = \frac{1}{2} mV^2 + mgh \quad (2.5)$$

olur. Mekanik enerjinin korunumuna göre, cismin hareketi boyunca kinetik enerjisi artarsa potansiyel enerjisinin de aynı miktarda azalması gerekir. Bunun tersi de olabilir. Böylece sistemin toplam mekanik enerjisi sabit kalır.

Şekil 2.1 (c)' de görüldüğü gibi, balistik sarkaç hareketinde bilyenin sarkaca çarpışmasından sonra sarkaç ve bilyeden oluşan sistemin kütle merkezi $y=h$ maksimum yüksekliğine kadar çıkar. Bu durumda sarkaç-bilye sisteminin kinetik enerjisinin tamamı

potansiyel enerjiye dönüşür. Yani bu potansiyel enerji, çarpışma anında sistemin $(m+M)$ sahip olduğu kinetik enerjiye eşittir. Bu açıklamalara göre mekanik enerjinin korunumu;

$$\frac{1}{2}(m+M)V'^2 = (m+M)gh \quad (2.6)$$

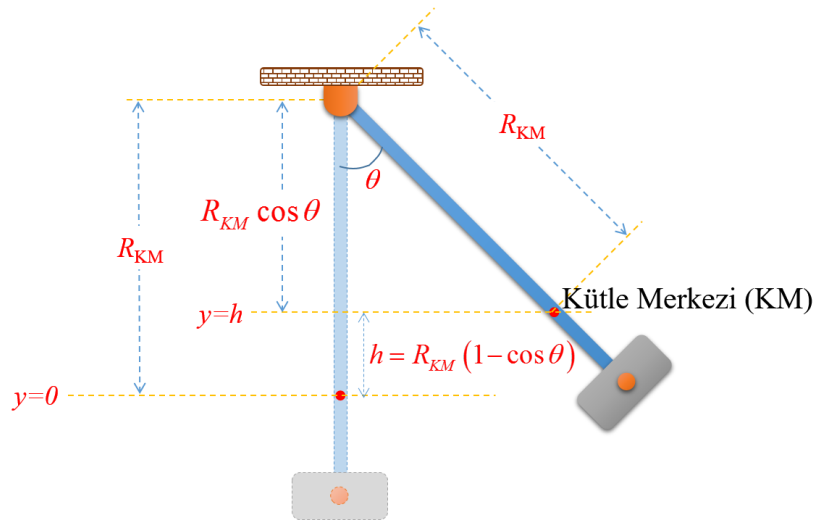
şeklinde olacaktır. Burada h , bilye-sarkaçtan oluşan sistemin kütle merkezinin düşey pozisyonundaki maksimum değişimini, g ise yerçekimi ivmesini göstermektedir. Eşitlik 2.6' dan sarkaç – bilye sisteminin çarpışmadan hemen sonraki V' hızı;

$$V' = \sqrt{2gh} \quad (2.7)$$

olarak bulunur ve Eşitlik 2.1' de yerine konularak fırlatılan bilyenin ilk yatay hızının büyüklüğü;

$$V = \left(\frac{m+M}{m} \right) \sqrt{2gh} \quad (2.8)$$

şeklinde elde edilir.



Şekil 2.2. Balistik sarkacın çarpışmadan sonraki durumu.

Şekil 2.2' de görüldüğü gibi, çarpışmadan sonra sarkaç-bilye sitemi h kadar maksimum yüksekliğe çıktığında, maksimum açı θ ve kütle merkezinden destek noktasına kadar olan sarkacın uzunluğu R_{KM} kullanılarak maksimum yükseklik (h);

$$h = R_{KM} (1 - \cos \theta) \quad (2.9)$$

şeklinde elde edilir. Eşitlik 2.9, Eşitlik 2.8' de yerine konulursa bilyenin ilk yatay hızının büyüklüğü;

$$V = \left(\frac{m+M}{m} \right) \sqrt{2gR_{KM} (1 - \cos \theta)} \quad (2.10)$$

olarak bulunur. Deney düzeneği kullanılarak çarpışma sonrası sarkaç-bilye sisteminin h kadar maksimum yüksekliğe çıktığı duruma ait maksimum θ açısı göstergeden okunur ve Eşitlik 2.10 kullanılarak bilyenin ilk hızı hesaplanır.

2.2. YATAY ve EĞİK ATIŞ

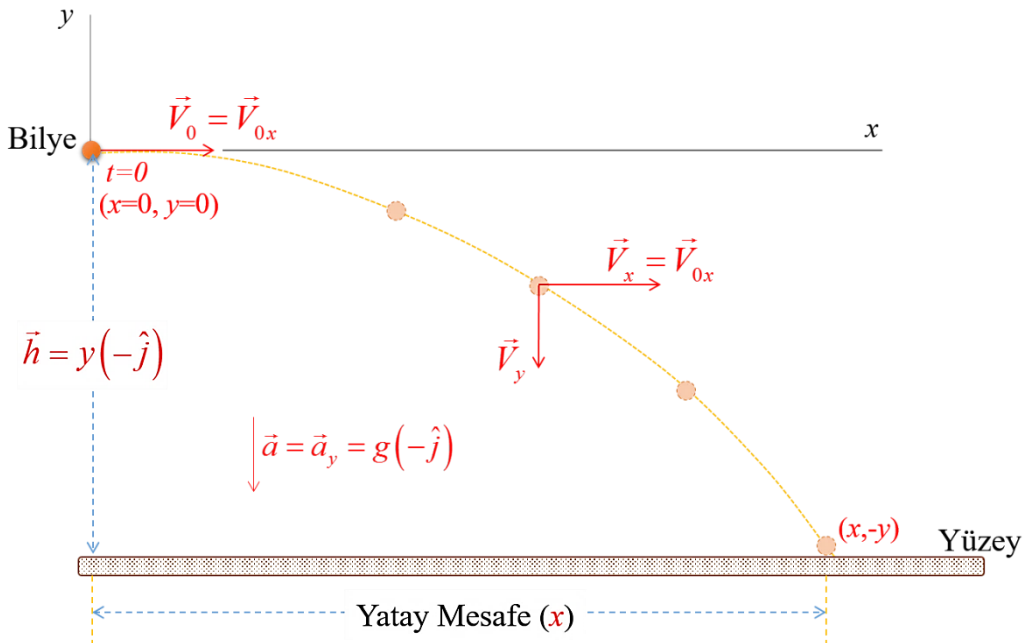
Bir cismin bulunduğu yerdeki yerçekimi ivmesi etkisi altında iki boyutlu hareketine “*eğik atış*” denir. Fırlatıcıdan belirli bir ilk hızla fırlatılan bir cisim, yerçekimi ivmesinin etkisi ile belirlenen bir yolu takip eder. Cismin izlediği bu yola “*yörünge*” adı verilir. Dünyadaki yerçekimi ivmesinin büyüklüğü;

$$g = 9.8 \text{ ms}^{-2} \quad (2.11)$$

olarak bilinir. Yerçekimi ivmesi hareket süresince sabit kabul edilir ve yönü aşağı doğru yani yerin merkezine doğrudur.

Cisim fırlatıcıdan yatay eksenle belirli bir açı (θ) yapacak şekilde bir hızla atıldığında, θ açısının değerine göre $\theta = 0^\circ$ ise yatay atış, $\theta = 90^\circ$ ise düşey atış ve $0^\circ < \theta < 90^\circ$ ise eğik atış hareketleri meydana gelir. Bu kısımda yatay atış, eğik atış ve yatay menzil konuları hakkında bilgi verilecektir.

2.2.1. Yatay Atış



Şekil 2.3. Yatay atış hareketi.

Yatay olarak $t = 0$ anında $\vec{V}_0$ ilk hızı ile fırlatılan bir cismin yörüngesi Şekil 2.3' te verilmektedir. Kesik çizgiler cismin yerçekimi ivmesinin etkisi ile izlediği yolu göstermektedir. Yatay atış hareketinde, cismin ilk hızının sadece x-bileşeni vardır ($\vec{V}_0 = \vec{V}_{0x}$). Cisim fırlatıldıktan sonra aşağı doğru düşey yerçekimi ivmesinin ($\vec{g}$) etkisinde kalır. Böylece, yatay atış hareketi yapan bir cismin herhangi bir t anında hızının x- ve y- bileşenleri olacaktır. Cismin hızının x-bileşeni ($\vec{V}_x$), herhangi bir kuvvet etki etmediği için yörünge boyunca sabittir. Böylece, x-ekseni boyunca cismin ivmesi sıfır ($\vec{a}_x = \vec{0}$) olur ve düzgün doğrusal hareket gözlenir. Cismin hızının y- bileşeni ($\vec{V}_y$) ise yerçekimi kuvvetinin etkisi ile zamana bağlı olarak değişir ve y-yönünde sabit ivmeli hareket gözlenir. Bu açıklamalara göre ivme vektörü;

$$\vec{a} = a_x \hat{i} + a_y \hat{j} = -g \hat{j} \quad (2.12)$$

$$a_x = 0$$

$$a_y = g = \text{sabit}$$

olur.

Herhangi bir t anında hız vektörü ise;

$$\vec{V} = V_x \hat{i} + V_y \hat{j} \quad (2.13)$$

$$V_x = V_{0x} \quad (2.14)$$

$$V_y = V_{0y} - g t \quad (2.15)$$

ile verilir. Yatay atış hareketinde cisim sadece y-ekseni boyunca hareket etmeyip, xy-düzleminde hareket eder. Bu durumda Şekil 2.3' e göre, cismin herhangi bir t anındaki konum vektörü;

$$\vec{r} = x \hat{i} + y \hat{j} \quad (2.16)$$

$$x = x_0 + V_{0x} t \quad (2.17)$$

$$y = y_0 + V_{0y} t - \frac{1}{2} g t^2 \quad (2.18)$$

şeklinde verilir. Eğer y-yönü aşağı doğru pozitif seçilirse, g yerçekimi ivmesinin önündeki (-) işareti (+) olmalıdır.

Şekil 2.3' te görüldüğü gibi, x-y koordinat sisteminin orijini cismin fırlatıldığı ilk konum olarak alınırsa, $t=0$ anında $x_0 = 0$ ve $y_0 = 0$ olur. Yatay olarak ($\theta = 0^\circ$) fırlatılan cisim için ilk hızı yatay olup, ilk hızın düşey bileşeni sıfırdır:

$$V_{0_x} = V_0 \quad (2.19)$$

$$V_{0_y} = 0 \quad (2.20)$$

Herhangi bir t anında ise cismin hızının yatay ve düşey bileşenleri (V_x ve V_y) Eşitlik 2.14 ve 2.15' e göre;

$$V_x = V_{0_x} = V_0 = \text{sabit} \quad (2.21)$$

$$V_y = V_{0_y} - g t = 0 - g t = -g t \quad (2.22)$$

şeklinde elde edilir. Görüldüğü gibi, herhangi bir t anında hız vektörünün büyüklüğü (V) zamanla değişir. Ancak bu değişimde hızın x -bileşeni V_x sabit kalırken, y -bileşeni V_y zamanın bir fonksiyonudur.

Eşitlik 2.17' de ilk konum $x_0 = 0$ alındığında, cismin yere düştüğü anda yatayda aldığı mesafe (x);

$$x = V_{0_x} t = V_0 t \quad (2.23)$$

olarak elde edilir. Burada t , cismin havada kalma süresi ya da uçuş süresidir.

Eşitlik 2.18' de verilen ifadede $y_0 = 0$ ve $V_{0_y} = 0$ alındığında ise cismin düşeyde aldığı mesafe (y);

$$y = -\frac{1}{2} g t^2 \quad (2.24)$$

olur. Cismin havada kalma süresi düşey yerdeğiştirme y ile belirlenir. Eşitlik 2.24' ten t zamanı çekilirse;

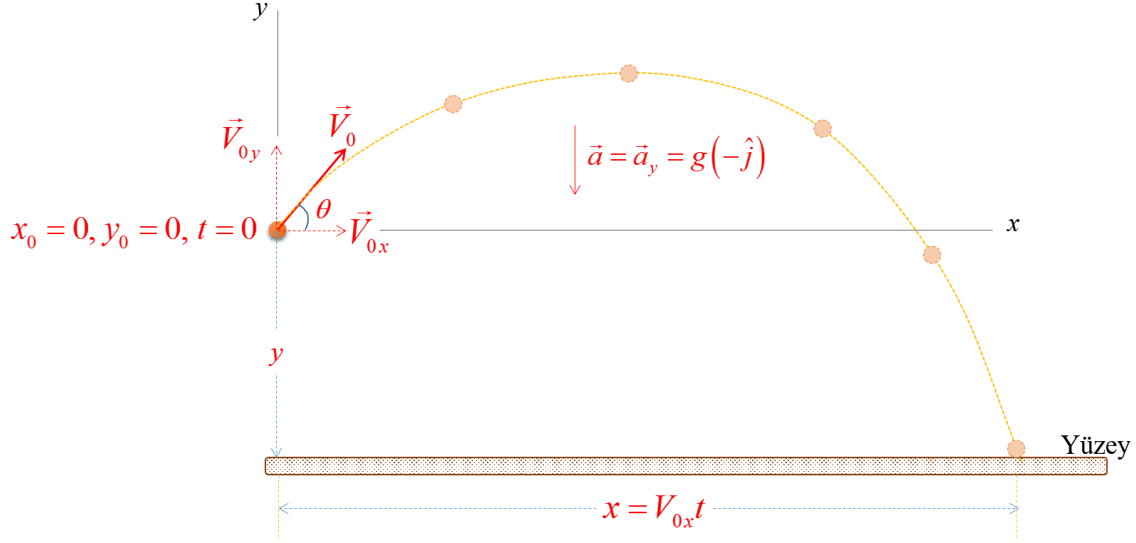
$$t = \sqrt{\frac{2y}{g}} \quad (2.25)$$

olarak elde edilir. Şekil 2.3' te görüldüğü gibi, belirli bir $h = -y$ yüksekliğinden yatay olarak fırlatılan cismin uçuş süresi (t) Eşitlik 2.25 yardımıyla hesaplanabilir. Ayrıca yatay mesafe (x) ölçülürse ve hesaplanan t değeri kullanılırsa, Eşitlik 2.23' e göre cismin ilk hızı V_0 ;

$$V_0 = V_{0_x} = \frac{x}{t} \quad (2.26)$$

ifadesinden bulunabilir.

2.2.2. Eğik Atış



Şekil 2.4. Eğik atış hareketi.

Yatayla θ açısı yapacak şekilde fırlatılan bir cismin dünyanın yerçekimi ivmesi etkisi altında yapmış olduğu harekete “**eğik atış hareketi**” denir. Şekil 2.4’ te görüldüğü gibi, bir cismin $x_0 = 0$ ve $y_0 = 0$ konumundan θ açısıyla ve $\vec{V}_0$ ilk hızıyla fırlatıldığı durumu ele alalım. Hava direncinin ihmal edilmesi halinde eğik atışta cismin ivme vektörü;

$$\vec{a} = a_x \hat{i} + a_y \hat{j} = -g \hat{j} \quad (2.27)$$

$$a_x = 0$$

$$a_y = g = \text{sabit}$$

şeklinde ifade edilir. Eğik atış hareketinde x -yönünde düzgün doğrusal hareket ve y -yönünde sabit ivmeli hareket gözlenir.

Cismin $\vec{V}_0$ ilk hızının bileşenleri büyüklük olarak;

$$V_{0x} = V_0 \cos \theta \quad (2.28)$$

$$V_{0y} = V_0 \sin \theta \quad (2.29)$$

olarak yazılabilir. Eğik atış hareketinde cismin düşeyde aldığı mesafe;

$$y = y_0 + V_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (2.30)$$

ile verilir. Burada y_0 cismin ilk düşey konumunu ve y yere düştüğü anda düşey yerdeğiştirmesini göstermektedir. Eşitlik 2.30’ da Eşitlik 2.29 yerine yazılırsa ve Şekil 2.4’ te olduğu gibi cismin $t=0$ anında $x_0 = 0$ ve $y_0 = 0$ konumundan fırlatıldığı düşünülürse, düşey mesafe;

$$y = (V_0 \sin \theta)t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (2.31)$$

şeklinde elde edilir. Burada t cismin uçuş süresidir. Eğer cismin V_0 ilk hızı ve θ açısı bilinirse, Eşitlik 2.31 kullanılarak cismin uçuş süresi hesaplanabilir.

Cisim yere çarptığı anda yatayda aldığı mesafe;

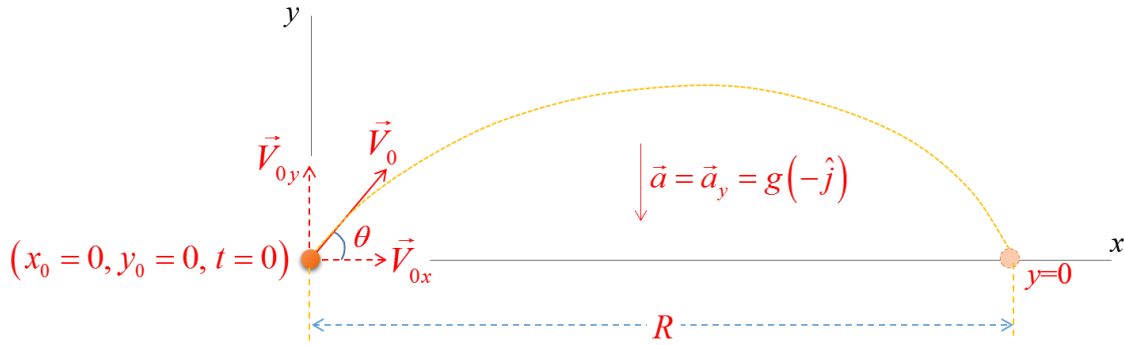
$$x = V_{0x}t \quad (2.32)$$

ile verilir. Eşitlik 2.28, Eşitlik 2.32’de yerine konulursa,

$$x = (V_0 \cos \theta)t \quad (2.33)$$

ifadesine ulaşılır. Eşitlik 2.33’ ten faydalanarak cismin yatayda aldığı mesafe bulunabilir.

2.2.3. Yatay Menzil



Şekil 2.5. Eğik atış hareketinde yatay menzil.

Cismin fırlatıldığı nokta ile yere düştüğü nokta arasındaki yatay mesafeye “**Menzil, R**” adı verilir. Menzil ifade olarak;

$$R = V_{0x}t \quad (2.34)$$

şeklindedir. Şekil 2.5’ te görüldüğü gibi, orijinden $\vec{V}_0$ ilk hızı ve θ açısıyla fırlatılan bir cisim belirli bir yatay mesafeyi (R) aldıktan sonra, tekrar aynı seviyeye yani $y = 0$ noktasına gelir. Buna göre Eşitlik 2.30 kullanılarak uçuş süresi;

$$t = \frac{2V_{0y}}{g} = \frac{2V_0 \sin \theta}{g} \quad (2.35)$$

şeklinde elde edilir. Eşitlik 2.35, Eşitlik 2.34’ te yerine konularak düzenleme yapılır ve trigonometriden faydalanılırsa, menzil ifadesi;

$$R = \frac{V_0^2 \sin 2\theta}{g} \quad (2.36)$$

olur. Bu bağıntı sadece atış noktası ile düşüş noktasına ait yüksekliklerin aynı olduğu durum için geçerlidir.

DENEYİN YAPILIŞI

A. Balistik Sarkaç

Veriler:

$R_{KM}=20.7$ cm (Destek noktasının kütle merkezine uzaklığı)

$d=1.585$ cm (Çelik bilyenin çapı)

$m=16$ g (Çelik bilyenin kütlesi)

$m_p=17$ g (Destek kütlesi)

$m_ç=24$ g (Çubuğun kütlesi)

$m_b=20$ g (Bloğun kütlesi)

$M= m_p + m_ç + m_b=61$ g (Sarkacın toplam kütlesi)

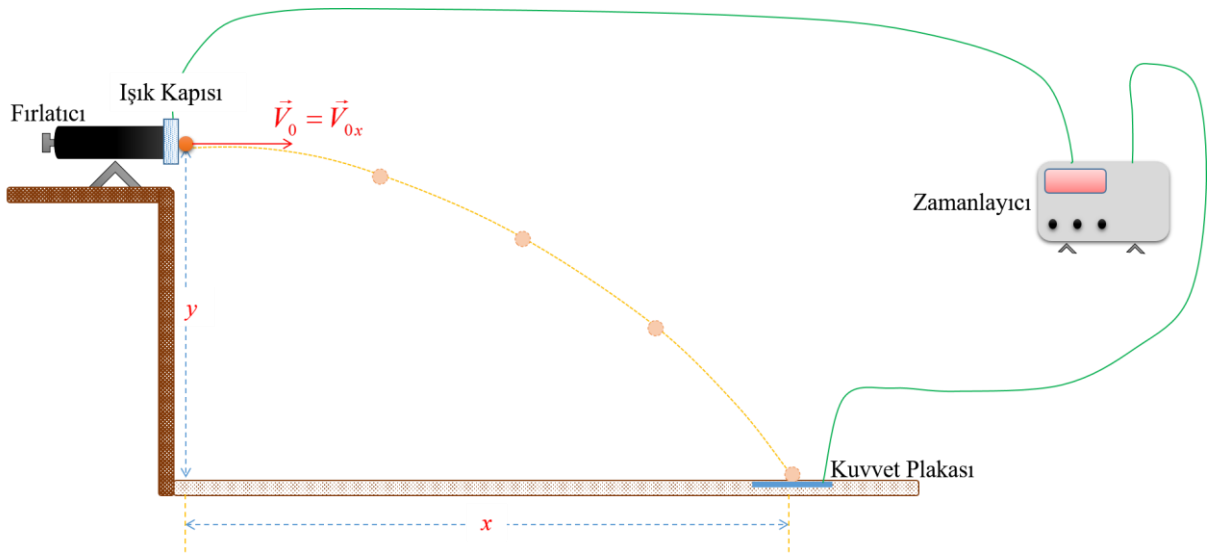
- A1.** Çelik bilyeyi fırlatıcıya yerleştiriniz ve yayı birinci konuma (kısa menzil) sıkıştırınız.
- A2.** Sarkaç denge konumundayken düzenekteki açı göstergesinin sıfır dereceyi göstermesini sağlayınız ($\theta = 0^\circ$).
- A3.** Fırlatıcı üzerindeki düğmeye basarak bilyeyi fırlatınız. Bu durumda bilye, bloğa saplanacak ve sarkaç maksimum noktaya kadar yükselecektir.
- A4.** Düzenekteki açı göstergesinden maksimum açı değerini (θ) okuyunuz ve Tablo 2.1' e kaydediniz.
- A5.** Eşitlik 2.9'u kullanarak kütle merkezinin yaptığı düşey yerdeğiştirme miktarını hesaplayınız ve Tablo 2.1' e kaydediniz.
- A6.** Eşitlik 2.7'yi kullanarak sistemin çarpışmadan hemen sonraki hızının büyüklüğünü hesaplayınız ($g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$) ve Tablo 2.2' ye kaydediniz.
- A7.** Eşitlik 2.8'i kullanarak bilyenin fırlatıcıdan çıkış hızının büyüklüğünü hesaplayınız ve Tablo 2.2' ye kaydediniz.
- A8.** Eşitlik 2.3'ü kullanarak bilyenin çarpışmadan önceki toplam kinetik enerjisini hesaplayınız ve Tablo 2.2' ye kaydediniz.
- A9.** $K' = \frac{1}{2}(m + M)V'^2$ eşitliğini kullanarak sistemin çarpışmadan hemen sonraki toplam kinetik enerjisini hesaplayınız ve Tablo 2.2' ye kaydediniz. Sonuçlarınızı yorumlayınız.
- A10.** Sistemin çarpışmadan önceki ve sonraki toplam E ve E' mekanik enerji değerlerini hesaplayınız ve Tablo 2.2' ye kaydediniz. Sonuçlarınızı yorumlayınız.
- A11.** $P = mV$ eşitliğini kullanarak bilyenin çarpışmadan önceki momentumunun büyüklüğünü hesaplayınız ve Tablo 2.2' ye kaydediniz.

A12. $P' = (m + M)V'$ eşitliğini kullanarak sistemin çarpışmadan hemen sonraki momentumunun büyüklüğünü hesaplayınız ve Tablo 2.2' ye kaydediniz. Sonuçlarınızı yorumlayınız.

A13. İşlemlerin tamamını, fırlatıcı düzeneğindeki yayın ikinci konumu için (uzun menzil) tekrarlayınız.

B. Yatay Atış

B1. Fırlatıcıyı Şekil 2.6' da görüldüğü gibi masanın kenarına bağlayınız. Bilyeyi fırlatıcıya yerleştirip mekanizmasını birinci konuma ayarlayınız.



Şekil 2.6. Yatay atış deney seti.

B2. Fırlatıcının açısını $\theta = 0^\circ$ olarak ayarlayınız.

B3. Süre ölçümü için kullanılacak olan “*uçuş süresi plakasını (kuvvet plakası)*” yerleştirmeniz gereken yeri tayin etmek için birkaç deneme atışı yapınız. Daha sonra bu plakayı tayin ettiğiniz noktanın üzerine yerleştiriniz ve plaka üzerine beyaz kâğıt ve onun üzerine de karbon kâğıdını yerleştiriniz. Böylece bilye beyaz kâğıt üzerine düştüğünde bir iz bırakacaktır.

B4. Fırlatıcı mekanizmasını tekrar kurduktan sonra çıkış noktasının ucuna ışık kapısını da yerleştirip kablolar yardımıyla zamanlayıcıyı sisteme bağlayınız.

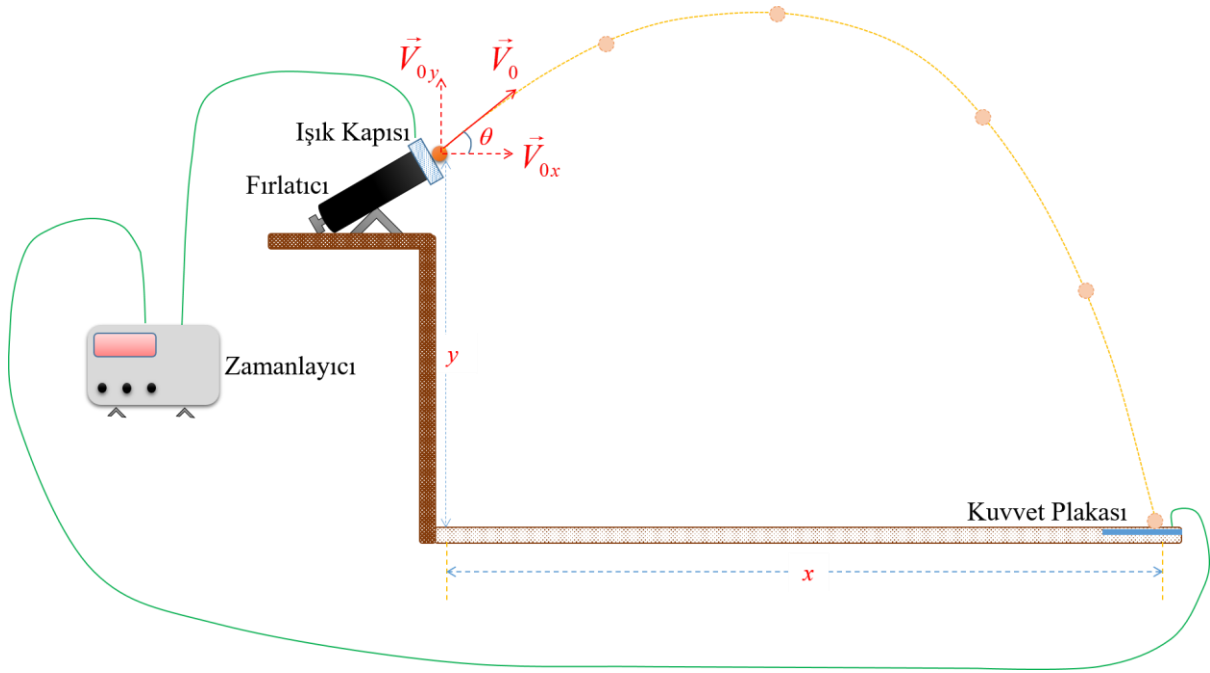
B5. Zamanlayıcının üzerindeki “*Başlat*” düğmesine basınız ve daha sonra bilyeyi fırlatınız.

B6. Zamanlayıcı üzerinden t_1 süresini okuyup Tablo 2.3' e kaydediniz. Bu süre bilyenin, kendi çapı kadar mesafeyi (d) alması için geçen süreyi verecektir.

- B7.** Zamanlayıcı üzerinden t_2 süresini okuyup Tablo 2.3' e kaydediniz. Bu süre, bilyenin toplam havada kalma süresini ($t_{uç}$) verecektir.
- B8.** $V_0 = \frac{d}{t_1}$ eşitliği yardımıyla bilyenin fırlatıcıdan çıkış hızını hesaplayıp Tablo 2.3' e kaydediniz.
- B9.** Bilyenin çıkış noktası ile yüzey arasındaki düşey mesafeyi (y) ve bilyenin yere çarptığı noktaya kadar olan mesafeyi (x) ölçünüz ve Tablo 2.3' e kaydediniz (Bakınız Şekil 2.6).
- B10.** Bilyenin uçuş süresini $t'_{uç} = \sqrt{\frac{2y}{g}}$ eşitliği yardımıyla teorik olarak hesaplayınız ve Tablo 2.3' e kaydediniz. Bu sonucunuzu zamanlayıcının ölçtüğü değer ile karşılaştırıp yorumlayınız.
- B11.** $x = V_0' t_{uç}$ eşitliğini kullanarak bilyenin çıkış hızını (V_0') hesaplayınız ve Tablo 2.3' e kaydediniz. Bu hızı, bilyenin çapı ve t_1 süresini kullanarak bulduğunuz hız (V_0) ile karşılaştırıp sonucunuzu yorumlayınız.
- B12.** Deneyin tüm basamaklarını fırlatıcının ikinci konumu için tekrarlayınız.

C. Eğik Atış

C1. Şekil 2.7’ de görülen deney düzeneğini kurunuz ve fırlatıcının açısını $\theta = 10^\circ$ olacak şekilde ayarlayınız.



Şekil 2.7. Eğik atış deney seti.

C2. Test atışlarından sonra ışık kapısını ve uçuş süresi plakasını yerlerine yerleştiriniz.

C3. Fırlatıcı birinci konumdayken bilyeyi fırlatınız ve zamanlayıcı üzerinden t_1 ve t_2 sürelerini okuyup Tablo 2.4’ e kaydediniz.

C4. $V_0 = \frac{d}{t_1}$ denklemini kullanarak bilyenin fırlatıcıdan çıkış hızının büyüklüğünü hesaplayıp Tablo 2.4’ e kaydediniz.

C5. $V_{0x} = V_0 \cos \theta$ ve $V_{0y} = V_0 \sin \theta$ eşitliklerini kullanarak hız bileşenlerini bulunuz ve sonuçlarınızı Tablo 2.4’ e kaydediniz.

C6. Fırlatıcının çıkış noktasının masa üzerindeki izdüşüm noktası ile bilyenin masaya çarptığı nokta arasındaki yatay x mesafesini ölçünüz ve Tablo 2.4’ e kaydediniz.

C7. $x' = V_{0x} t_{uç}$ eşitliği yardımıyla bilyenin yatayda aldığı yolu teorik olarak hesaplayınız ve Tablo 2.4’ e kaydediniz.

C8. Hesapladığınız x' değeri ile ölçtüğünüz x değerini karşılaştırınız ve sonuçlarınızı yorumlayınız.

C9. Deneyin tüm basamaklarını $\theta = 20^\circ$, $\theta = 30^\circ$ ve $\theta = 45^\circ$ için tekrarlayınız.

DENEY VERİLERİ:

TABLO 2.1									
m (kg)	M (kg)	R_{KM} (m)		Menzil	θ (°)		h (m)		
				Kısa					
				Uzun					
TABLO 2.2									
Menzil	V' (ms ⁻¹)	V (ms ⁻¹)	K (J)	K' (J)	E (J)	E' (J)	P (kgms ⁻¹)	P' (kgms ⁻¹)	
Kısa									
Uzun									
TABLO 2.3									
θ (°)	d (m)	Menzil	t_1 (s)	$t_2=t_{u\zeta}$ (s)	V_0 (ms ⁻¹)	y (m)	x (m)	$t'_{u\zeta}$ (s)	V'_0 (ms ⁻¹)
		Kısa							
		Uzun							
TABLO 2.4									
θ (°)	t_1 (s)	$t_2=t_{u\zeta}$ (s)	V_0 (ms ⁻¹)	V_{0x} (ms ⁻¹)	V_{0y} (ms ⁻¹)	x (m)	x' (m)		
10									
20									
30									
45									

SERBEST DÜŞME ve ATWOOD ALETİ



M3

SERBEST DÜŞME ve ATWOOD ALETİ

M3

DENEYİN AMACI:

1. Cisimlerin yerin merkezine doğru hareket etmesini sağlayan bir çekim kuvveti olduğunu gözlemlemek.
2. Yerçekimi kuvvetinin etkisi ile cisimlerin ivmeli hareketini incelemek.
3. Yerçekimi ivmesini hesaplamak.
4. Atwood aleti yardımıyla sabit ivmeli hareketi incelemek.
5. Newton'un ikinci hareket yasasını uygulamak.

DENEYDE KULLANILAN ARAÇLAR:

Farklı kütleli üç adet bilye

Bilye tutucusu

Işık kapısı (Photogate)

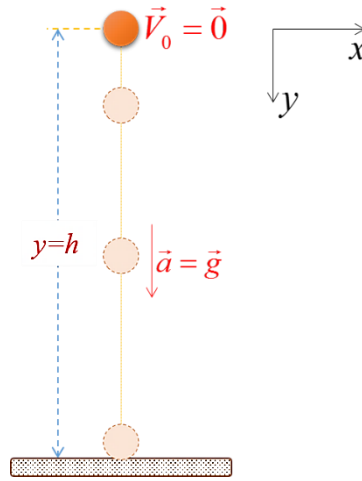
Kronometre

Atwood aleti

TEORİK BİLGİ:

3.1. SERBEST DÜŞME

Şekil 3.1' de görüldüğü gibi, belirli bir yükseklikte bulunan bir cisim durgun halden serbest bırakıldığında hızlanarak yere düşer. Cismin bu düşme hareketine “*serbest düşme*” adı verilir. Serbest düşme, cisimleri yerin merkezine doğru çeken bir kuvvetten kaynaklanır. Bu kuvvet, “*yerçekimi kuvveti*” olup, cismin ağırlığını verir. Bu durumda durgun halden serbest bırakılan cisim, ağırlığının etkisiyle yere doğru hareket eder ve havanın sürtünmesi ihmal edildiğinde hareketi boyunca sabit yerçekimi ivmesi ile hızlanarak yere düşer. Yerçekimi ivmesinin büyüklüğü $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$ ’dir ve yönü daima yerin merkezine doğrudur.



Şekil 3.1. Serbest düşme hareketi.

Cismin düştüğü yüksekliğin çok büyük olmadığı ve hava sürtünmesinin ihmal edildiği durumlarda g yerçekimi ivmesinin büyüklüğü sabit olarak alınır. Buna göre, serbest düşme hareketi “**tek boyutlu sabit ivmeli hareket**” olarak düşünülebilir. Böylece sabit ivmeli hareket formülleri, serbest düşme hareketinin düşey (y) doğrultuda olduğu dikkate alınarak ve sabit $\vec{a}$ ivmesi yerine aşağı doğru yönelmiş $\vec{g}$ yerçekimi ivmesi kullanılarak değerlendirilebilir. İfadelerde $\vec{g}$ yerçekimi ivmesinin işaretini $+y$ ekseninin seçimi belirler. y -ekseni yukarı yön seçilirse $\vec{a} = -\vec{g}$, aşağı yön seçilirse $\vec{a} = \vec{g}$ alınmalıdır.

Şekil 3.1’ de görüldüğü gibi, m kütleli bir cisim $t_1 = 0$ anında $y=h$ yüksekliğinden durgun halden serbest bırakılırsa, cisim $t_2 = t$ anında y kadar yol alır. y düşme mesafesi ile yerçekimi ivmesi arasında;

$$\vec{y} = \vec{y}_0 + \vec{V}_0 t + \frac{1}{2} \vec{g} t^2 \quad (3.1)$$

ilişkisi vardır. Burada $\vec{y}$, t anında cismin yerdeğiştirme vektörünü; $\vec{y}_0$, cismin ilk düşey konum vektörünü ve $\vec{V}_0$ cismin ilk hızını gösterir. Şekil 3.1’ e göre, cismin başlangıç konumu $\vec{y}_0 = \vec{0}$ ve ilk hız $\vec{V}_0 = \vec{0}$ ’dır. Buna göre;

$$\vec{y} = \frac{1}{2} \vec{g} t^2 \quad (3.2)$$

olur. Bu ifadeye göre y düşme mesafesi için geçen t zamanı ölçülürse;

$$g = \frac{2y}{t^2} \quad (3.3)$$

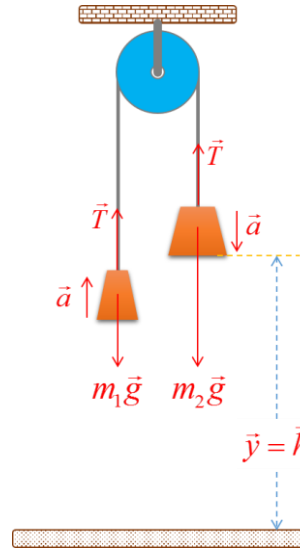
ifadesinden yerçekimi ivmesinin büyüklüğü hesaplanabilir. Ayrıca $y = f(t^2)$ grafiği çizilirse, eğimi;

$$m = \tan \theta = \frac{1}{2} g \quad (3.4)$$

olan ve orijinden geçen bir doğru elde edilir. Böylece $y = f(t^2)$ grafiğinin eğiminden g yerçekimi ivmesinin büyüklüğü deneysel olarak bulunabilir. Serbest düşme hareketinde $y = f(t)$ grafiği ise bir parabol verir.

3.2. ATWOOD ALETİ

Atwood aleti bir sistemin yerçekiminden kaynaklanan ivmesini belirlemek için kullanılan bir düzendir. Bu alet ile sistemin sabit ivmeli doğrusal hareketi incelenir. Şekil 3.2’ de verilen Atwood aleti; sürtünmesiz bir makara üzerinden geçirilen esnek olmayan ve kütlesi ihmal edilen bir ipin iki ucuna bağlı iki farklı cisimden ($m_2 > m_1$) oluşur.



Şekil 3.2. Atwood aleti ve her iki kütle üzerine etki eden kuvvetler. Atwood aletinde, ip ile makara kütsüz kabul edilir ve makara serbest dönüş yapabilme özelliğine sahiptir.

Başlangıçta durgun olan bir cismi hareket ettirebilmek için, o cisim üzerine bir kuvvet uygulamak gerekir. Şekil 3.2’ de görüldüğü gibi, Atwood düzeneğinde asılı olan m_1 ve m_2 kütleli cisimler üzerine etki eden kuvvetler ipteki $\vec{T}$ gerilme kuvveti ile cisimlerin ağırlıklarıdır ($m_1\vec{g}$ ve $m_2\vec{g}$). İki cismin kütleleri arasındaki fark ($m_2 - m_1$), sisteme etki eden net kuvveti belirler. Bu net kuvvet ise asılan kütleleri ivmelendirir. Sistemin iki kütlesi durgun halden

serbest bırakıldığında, her iki kütle de sabit ivmeli hareket yapar. Bu durumda ağır m_2 kütlesi sabit ivme ile aşağı doğru hareket ederken, m_1 kütlesi de aynı ivme ile yukarı doğru hareket eder.

Bir cisim üzerine etki eden kuvvetlerin bileşkesine “**net kuvvet**” denir. Sabit kütleli bir cisim üzerine net bir kuvvet etki ederse, cisim bu kuvvet yönünde ivme kazanır. Bu ifade “**Newton’un II. Hareket Yasası**” olarak bilinir.

$$\vec{F}_{net} = m\vec{a} \quad (3.5)$$

$\vec{F}_{net}$: Cisim üzerine etki eden net kuvvet

m : Cismin kütlesi

$\vec{a}$: Cismin ivmesi

Newton’un II. Hareket Yasası’na göre bir cismin ivmesi, cisme etki eden net kuvvetle doğru orantılı ve cismin kütlesi ile ters orantılıdır. Örneğin; net kuvvet iki katına çıkarsa ivme de iki kat artar.

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_{net}}{m} \quad (3.6)$$

Kuvvetin SI sisteminde birimi Newton (N) olarak verilir. 1 Newton; 1 kg kütleyle sahip bir cisme, 1 ms^{-2} ’lik ivme kazandıran net kuvvet miktarıdır ($1 \text{ N} = 1 \text{ kgms}^{-2}$).

Atwood düzeneğinde asılı olan m_1 ve m_2 kütleli cisimlere net kuvvetler etki ettiği için, bu iki cisme ayrı ayrı Newton’un II. Hareket Yasası uygulanabilir. Düzenekte iki cisim dengede değildir ve hızlanmaktadır. Eşitlik 3.5 her bir kütleyle uygulanarak cisimlerin hareket denklemleri;

$$F_{net1} = T - m_1g = m_1a \quad (3.7)$$

$$F_{net2} = m_2g - T = m_2a \quad (3.8)$$

şeklinde elde edilir. Eşitlik 3.7 ve Eşitlik 3.8 taraf tarafa toplanıp T gerilme kuvveti sadeleştirilerek sistemin ivmesi;

$$a = g \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} \right) \quad (3.9)$$

olarak bulunur. Eşitlik 3.9, m_1 ve m_2 kütlelerinin oluşturduğu sistem için teorik ivme değerini verir. Bu ifadede görüldüğü gibi, Newton’un II. Hareket Yasası kullanılarak bulunan ivmenin değeri; g yerçekimi ivmesi ile kütle farkının çarpımının toplam kütleyle oranına eşittir. Buna göre, Atwood aletinde kütle sistemi üzerindeki net kuvvet, yerçekimi ivmesi ile iki kütle

farkının çarpımı yani $g(m_2 - m_1)$ olacaktır. Bir başka deyişle $(m_2 - m_1)$ kütle farkı, bu iki sistem üzerinde oluşan net kuvveti belirler ve bu kuvvet de asılı kütleleri ivmelendirir. Böylece, ağır kütle (m_2) aşağı doğru sabit ivmeli hareket yaparken, hafif kütle (m_1) yukarı doğru ivmelenir. Eğer $m_1 = m_2$ ise, kütlelerin konumları ne olursa olsun sistem dengededir.

Şekil 3.2' de görüldüğü gibi, $t_1 = 0$ anında düşey yönde yere göre $y = h$ yüksekliğinde bulunan m_2 kütlesi durgun halden ($\vec{V}_0 = \vec{0}$) serbest bırakılırsa, $t_2 = t$ anında yerdeğiştirme vektörü $\vec{y}$ olur. Yerdeğiştirme vektörünün büyüklüğü;

$$y = y_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad (3.10)$$

ile verilir. Atwood düzeneğinde m_2 kütlelerinin başlangıç konumu $y_0 = 0$ ve ilk hızı $V_0 = 0$ alındığında;

$$y = \frac{1}{2} a t^2 \quad (3.11)$$

elde edilir. Yerdeğiştirme, yani alınan yol (y) zamanın karesi ile doğru orantılıdır. m_2 kütlelerinin aldığı y yolu ve bu yolu almak için geçen t zamanı ölçülürse, Eşitlik 3.11 kullanılarak sistemin ivmesi hesaplanabilir. Buna göre ivmenin büyüklüğü, ölçülen nicelikler olan yerdeğiştirme (y) ve zaman (t) cinsinden;

$$a = \frac{2y}{t^2} \quad (3.12)$$

şeklinde ifade edilir. Bu değer deneysel ivmeyi verir. $y = f(t^2)$ grafiği çizilirse orijinden geçen bir doğru elde edilir ve bu doğrunun eğimi de sistemin ivmesinin büyüklüğünü verir:

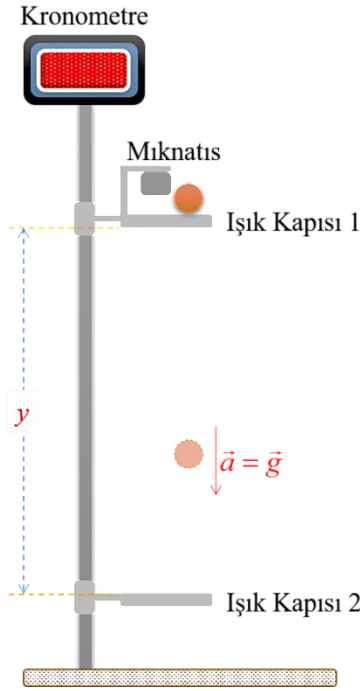
$$m = \tan \theta = \frac{1}{2} a \quad (3.13)$$

Farklı düşey y mesafeleri için m_2 kütlelerinin düşme süreleri ölçülerek bu veriler ile çizilen $y = f(t^2)$ grafiğinin eğiminden, sistemin ivmesinin büyüklüğü deneysel olarak bulunabilir.

DENEYİN YAPILIŞI

A. Serbest Düşme

A1. Düzenekteki ışık kapılarını hareket ettirerek aralarındaki mesafeyi (y) 25 cm olacak şekilde ayarlayınız.



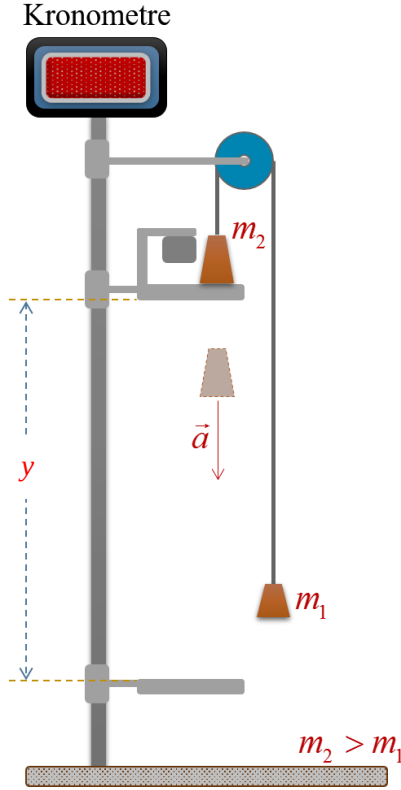
şekil 3.3. Serbest düşme deney düzeneği.

- A2.** Kullanacağınız bilyeyi tutucuya yerleştiriniz. Ardından mıknatıs kontrol butonuna basarak hareketi başlatınız.
- A3.** Düzenekteki kronometreden bilyenin y mesafesini alması için geçen süreyi (t_1) okuyup Tablo 3.1' e kaydediniz.
- A4.** Bu işlemleri iki kez daha tekrarlayarak t_2 ve t_3 sürelerini okuyunuz ve sonuçlarınızı Tablo 3.1' e kaydediniz.
- A5.** t_1 , t_2 ve t_3 sürelerinin aritmetik ortalamasını (t_{ort}) ve t_{ort}^2 değerini hesaplayıp, sonucunuzu Tablo 3.1' e kaydediniz.
- A6.** $a = 2y/t_{ort}^2$ ifadesinden ivmeyi hesaplayınız ve Tablo 3.1' e kaydediniz.
- A7.** Deneyin tüm adımlarını 50 cm ve 75 cm için tekrarlayınız ve sonuçlarınızı Tablo 3.1' e kaydediniz.

A8. Elde ettiğiniz ölçüm tablosu üzerinden $y = f(t^2)$ grafiğini çiziniz. Bu grafiğin eğimi yardımıyla bilyenin yaptığı hareketin ivmesinin büyüklüğünü (a') hesaplayınız ve Tablo 3.1'e kaydediniz. Sonuçlarınızı yorumlayınız.

B. Atwood Aleti

B1. Şekil 3.4' te görülen deney düzeneğini kurunuz.



Şekil 3.4. Atwood aleti deney düzeneği.

B2. Deneyde kullanacağınız biri hafif (m_1) diğeri ağır (m_2) olan kütleleri tartınız ve Tablo 3.2' ye kaydediniz.

B3. Kütleleri ihmal edilen esnek olmayan bir ip yardımıyla m_1 ve m_2 kütlelerini düzenekteki sürtünmesiz sabit makaraya bağlayınız. Bu durumda ağır olan kütle (m_2) birinci ışık kapısındaki mıknatısa tutturulmuş olmalıdır.

B4. Işık kapıları arasındaki mesafeyi (y) 40 cm olacak şekilde ayarlayınız.

B5. Kontrollerinizi tamamladıktan sonra, m_2 kütlesini başlangıç konumundan ($y = 0$) serbest bırakmak ($V_0 = 0$) için düzenekteki mıknatıs kontrol butonuna basınız. Bu esnada kütle

ışık kapıları arasındaki mesafeyi ($y = 40$ cm), Newton'un II. Hareket Yasası gereği sabit a ivmesi ile kat edecektir.

B6. Göstergede beliren düşme süresini (t_1) Tablo 3.2' ye kaydediniz.

B7. Hatayı en aza indirmek için 5 ve 6 numaralı adımları iki kez daha tekrarlayınız, t_2 ve t_3 sürelerini okuyunuz ve sonuçlarınızı Tablo 3.2' ye kaydediniz.

B8. t_1 , t_2 ve t_3 sürelerinin aritmetik ortalamasını (t_{ort}) ve t_{ort}^2 değerlerini hesaplayıp sonucunuzu Tablo 3.2' ye kaydediniz.

B9. $a = \frac{2y}{t_{ort}^2}$ eşitliği yardımıyla hareketin sabit olan ivmesinin büyüklüğünü deneysel olarak hesaplayınız ve Tablo 3.2' ye kaydediniz.

B10. Eşitlik 3.9' u kullanarak teorik ivme değerini (a') hesaplayınız ve Tablo 3.2' ye kaydediniz.

B11. Deneysel ve teorik ivme değerlerini karşılaştırıp sonuçlarınızı yorumlayınız.

B12. Deneyin tüm basamaklarını $y = 80$ cm için tekrarlayınız.

DENEY VERİLERİ:

TABLO 3.1									
y (cm)	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	t_{ort} (s)	t_{ort}^2 (s ²)	a (ms ⁻²)	a' (ms ⁻²)		
25									
50									
75									
TABLO 3.2									
y (cm)	m_1 (kg)	m_2 (kg)	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	t_{ort} (s)	t_{ort}^2 (s ²)	a (ms ⁻²)	a' (ms ⁻²)
40									
80									

BASİT SARKAÇ ve ENERJİNİN KORUNUMU



M4

BASİT SARKAÇ ve ENERJİNİN KORUNUMU

M4

DENEYİN AMACI:

1. Basit sarkaçtan yararlanarak yerçekimi ivmesinin büyüklüğünü bulmak.
2. Basit sarkacın periyodunu, frekansını ve açısal hızını incelemek.
3. Sarkaçta salınım yapan bir cismin denge konumundan geçiş hızını deneysel olarak belirlemek.
4. Potansiyel enerji-kinetik enerji dönüşümünü deneysel olarak inceleyerek enerjinin korunumunu öğrenmek.

DENEYDE KULLANILAN ARAÇLAR:

Sarkaç sistemi

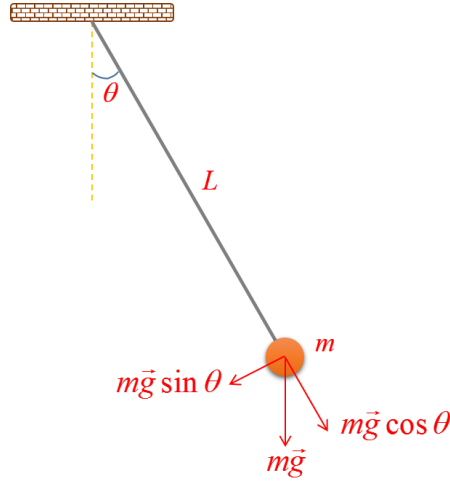
Kütleler

Fotosensörlü ışık kapısı (Photogate)

TEORİK BİLGİ:

4.1. BASİT HARMONİK HAREKET

Basit sarkaç periyodik salınım hareketi yapan mekanik bir sistemdir. Sabit uzunlukta (L) ağırlığı ihmal edilen bir tutucunun ucuna asılmış m kütleli bir cisimden oluşur. Bir sarkaç sisteminin basit sarkaç olabilmesi için, her türlü sürtünmenin ve m kütleli cismin bağlı olduğu esnek olmayan sarkaç tutucusu ağırlığının ihmal edilmesi gerekir. Sarkaç tutucusunun üst ucu sabit olup sarkaçta salınım yapan cismin harmonik hareketi düzlemde gerçekleşir. Denge konumu etrafında geri çağırıcı kuvvetin etkisi ile kendini belirli bir zaman aralığında tekrarlayan harekete “*salınım hareketi*” veya “*basit harmonik hareket*” denir. Basit sarkaç ile harmonik hareket Şekil 4.1’ de verilmektedir.



Şekil 4.1. Basit sarkaç ile harmonik hareket.

Harmonik hareket yapan bir cismin bir tam devrini tamamlaması için geçen süreye “**periyot**” denir ve T ile gösterilir. Cismin birim zamanda yaptığı devir sayısına ise “**frekans**” adı verilir ve f ile gösterilir. Periyot ve frekans arasındaki ilişki;

$$T = \frac{1}{f} \quad (4.1)$$

ile verilir. Periyodun birimi saniye (s), frekansın birimi s^{-1} veya Hertz’dir. Bir sarkacın açısal hızı (ω) birim zamandaki açısal yerdeğiştirme olup, frekans ya da periyoda bağlı olarak;

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad (4.2)$$

şeklinde ifade edilir. Açısal hızın birimi rads^{-1} ’ dir.

Basit sarkaç sisteminde m kütleli bir cismin harmonik hareket yapması geri çağırıcı kuvvetten kaynaklanır. Şekil 4.1’ de görüldüğü gibi, sarkaç sisteminde m kütleli cisim denge konumuna ($\theta = 0^\circ$) göre θ açısı kadar çekilip salınıma bırakılırsa, cismin tekrar denge konumuna gelmesinde etkin olan geri çağırıcı kuvvet varlığını hissettirir. Geri çağırıcı kuvvet, iki boyutlu düzlemde salınım yapan m kütleli cismin üzerine etki eden net kuvvetin x -bileşenidir (F_x). Bu kuvvetin geri çağırıcı kuvvet olduğunu, salınım yapan m kütleli cismin denge konumunu geçerken yön değiştirmesinden anlayabiliriz. Yani salınım boyunca cisme etki eden bu kuvvet, kütleli hareket yörüngesinde daima denge konumuna doğru yönelir.

Şekil 4.1’ de görüldüğü gibi, m kütleli cisme etki eden kuvvet cismin ağırlığıdır. Bu kuvvetin x -bileşeni (F_x) ise geri çağırıcı kuvvettir:

$$F_x = -mg \sin \theta \quad (4.3)$$

Burada (-) işareti kuvvetin geri çağırıcı kuvvet olduğunu gösterir. Küçük açılarda ($\theta \leq 10^\circ$) bir açının sinüsü kendisine eşit ($\sin \theta \approx \theta$) alınabildiği için, F_x kuvveti;

$$F_x = -mg\theta \quad (4.4)$$

olur. Şekil 4.1' de verilen L uzunluklu sarkaç tutucusunun düşeyle küçük bir açı yaptığı düşünülürse, cismin x yerdeğiştirmesi;

$$x = L \sin \theta \approx L\theta \quad (4.5)$$

kadar olur. Bu ifadeye göre θ açısal yerdeğiştirme;

$$\theta = \frac{x}{L} \quad (4.6)$$

şeklinde elde edilir. Eşitlik 4.6, Eşitlik 4.4' te yerine konulursa, F_x kuvveti;

$$F_x = -\frac{mg}{L}x = -kx \quad (4.7)$$

olarak elde edilir. Burada k , kuvvet sabiti olup;

$$k = \frac{mg}{L} \quad (4.8)$$

şeklinde ifade edilir. Eşitlik 4.7' den açıkça görüldüğü gibi, küçük açılarda geri çağırıcı kuvvet (F_x), basit harmonik hareket yapan bir cismin x yerdeğiştirmesi ile doğru orantılıdır. Ancak, bir sarkaç sisteminde büyük açılar için geri çağırıcı kuvvet (F_x), x yerdeğiştirmesi ile doğru orantılı olmayacağından, hareket basit harmonik hareket olarak ifade edilemez.

Basit harmonik hareket yapan bir cismin açısal hızı (ω), cismin kütlesine ve kuvvet sabitine bağlı olarak;

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (4.9)$$

şeklinde ifade edilir. Eşitlik 4.8, Eşitlik 4.9' da yerine konur ve düzenlenirse, hareketin açısal hızı;

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{L}} \quad (4.10)$$

olarak bulunur. Eşitlik 4.2 ve Eşitlik 4.10 kullanılarak, sarkacın frekansı (f);

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (4.11)$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{L}} \quad (4.12)$$

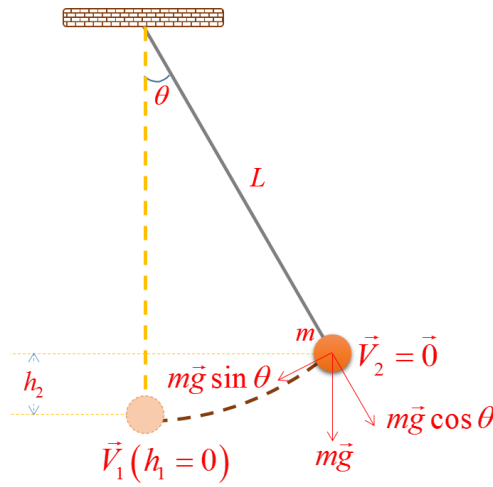
şeklinde elde edilir. Bu durumda sarkacın periyodu (T) ise;

$$T = \frac{1}{f} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (4.13)$$

olur. Basit sarkacın periyodu, sarkaç uzunluğu (L) ve yerçekimi ivmesine (g) bağlı olarak değişir. Ayrıca bir basit sarkaçta T periyodu ve L sarkaç uzunluğu bilinirse, Eşitlik 4.13 kullanılarak g yerçekimi ivmesinin değeri hesaplanabilir.

4.2. BASİT SARKAÇTA ENERJİNİN KORUNUMU

Bir sistemin mekanik enerjisi, kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamına eşittir. Ortamdaki sürtünme ihmal edilirse ısı şeklinde enerji kaybı olmayacağı için, mekanik enerji değişmez yani sabit kalır. Cisim hareket ettikçe, potansiyel enerji kinetik enerjiye ya da kinetik enerji potansiyel enerjiye dönüşür. Bu ifadeye “*enerjinin korunumu yasası*” denir.



Şekil 4.2. Basit sarkaçta kinetik enerji-potansiyel enerji dönüşümü.

Şekil 4.2’ de basit sarkaca asılı olan m kütleli bir cisim salınıma bırakılmıştır. Cismin ilk hareketine $V_2 = 0$ olan h_2 yüksekliğinden başladığını düşünelim. Bu durumda, cismin bu noktadaki toplam enerjisi (E) potansiyel enerjisine (U) eşittir. Cisim geri çağırıcı kuvvetin etkisi ile $h_1 = 0$ olan noktaya geldiğinde ise, cismin potansiyel enerjisi sıfır ve kinetik enerjisi (K) maksimum olur. Yani bu noktada cismin toplam enerjisi kinetik enerjisine eşittir. Cisim tekrar h_2 noktasına geldiğinde ise potansiyel enerjisi tekrar maksimum olur. Böylece sarkacın salınım hareketi boyunca toplam enerjisi sabit kalır.

Şekil 4.2’ ye göre, basit sarkaçta m kütleli cismin h_2 yüksekliğinde sahip olduğu toplam enerji E_i cismin potansiyel enerjisine eşittir.

$$E_i = U = mgh_2 \quad (4.14)$$

Cismin $\vec{V}_1$ hızı ile sarkacın $h_1 = 0$ olan denge noktasından ($\theta = 0^\circ$) geçerken sahip olduğu potansiyel enerjisi sıfırdır ve bu noktadaki toplam enerji (E_s) salınım yapan cismin kinetik enerjisine eşittir.

$$E_s = K = \frac{1}{2} m V_1^2 \quad (4.15)$$

Enerjinin korunumuna göre, ilk E_i ve son E_s mekanik enerjiler birbirine eşit olmalıdır. Buna göre;

$$mgh_2 = \frac{1}{2} m V_1^2 \quad (4.16)$$

olur. Böylece basit harmonik hareket yapan mekanik bir sistemde herhangi bir m kütleli cismin denge noktasından geçiş hızı (V_1) deneysel olarak hesaplanabilir.

DENEYİN YAPILIŞI:

A. Yerçekimi İvmesi Değerinin Deneysel Olarak Bulunması

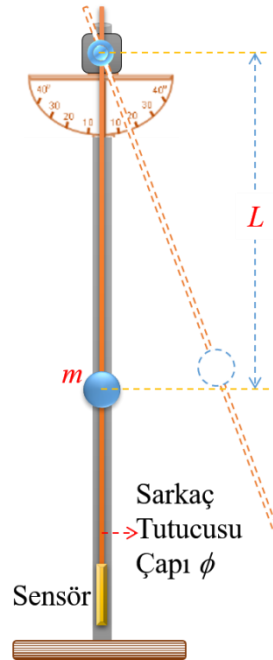
Mod 1: Sarkaç tutucusu çapının denge noktasından (fotosensörden) geçiş süresini (t) verir.

Mod 2: Sarkaçta yarım periyot ($T/2$) değerini verir.

Mod 3: Sarkaçta salınım yapan m kütleli bir cismin 10 salınımdaki periyodunu (T) ve denge noktasından geçiş hızını (V) verir.

Hafıza ($\leftarrow \rightarrow$): 10 periyotluk salınım sonucunda alınan periyot ve hız verilerini ileri ve geriye doğru gösterir.

A1. Şekil 4.3' te verilen deney düzeneğini kurunuz.

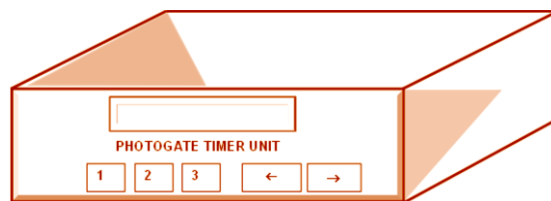


Şekil 4.3. Basit sarkaç deney seti düzeneği.

A2. Cismnin kütleini ölçünüz ve Tablo 4.1' e kaydediniz. Sarkaç tutucusuna bu cismi takınız.

A3. Sarkaç tutucusuna takılan m kütleinin kütle merkezinden (orta noktasından) sarkaç tutucusunun sabitlendiği noktaya kadar olan mesafeyi $L=50$ cm olarak ayarlayınız.

A4. Fotosensörlü zaman sayacını çalıştırınız (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Fotosensörlü zaman sayacı.

- A5.** Sarkacı denge noktasından ($\theta = 0^\circ$), $\theta = 10^\circ$ kadar açı yapacak şekilde saptırınız ve zaman sayacı üzerindeki *Mod 3* tuşuna bastıktan sonra sarkacı serbest bırakınız.
- A6.** Sarkacın 10 tam salınım yapmasından sonra zaman sayacının ekranında periyot (T) ve cismin sarkaç denge noktasından geçiş hızı (V) değerleri belirecektir. Bu değerleri okuyunuz ve Tablo 4.1' e kaydediniz.
- A7.** Eşitlik 4.13' ten yerçekimi ivmesini (g) deneysel olarak hesaplayınız ve Tablo 4.1' e kaydediniz.
- A8.** Deneysel hesaplanan yerçekimi ivmesini (g) beklenen değeriyle (g') karşılaştırınız ve yorumlayınız.
- A9.** Deneysel okunan periyot (T) değerinden sarkacın açısal hızını (ω) hesaplayınız ve Tablo 4.1' e kaydediniz.
- A10.** Açısal hız değerini kullanarak sarkacın frekansını (f) bulunuz ve Tablo 4.1' e kaydediniz.
- A11.** Sarkaç tutucusunun çap uzunluğunu (ϕ) mekanik olarak ölçünüz ve Tablo 4.1' e kaydediniz.
- A12.** Sarkacı tekrar $\theta = 10^\circ$ olacak şekilde saptırınız ve zaman sayacında *Mod 1* tuşuna bastıktan sonra sarkacı serbest bırakınız. Ekranda beliren, sarkaç tutucusu çap genişliğinin (ϕ) sarkaç denge noktasından geçiş süresini (t) okuyunuz ve Tablo 4.1' e kaydediniz.
- A13.** Sarkaç çap genişliği (ϕ) değerini ve sarkaç tutucusu geçiş süresini (t) kullanarak, sarkaç tutucusunun denge noktasından geçiş hızını (V') hesaplayınız, Tablo 4.1' e kaydediniz ve 6 nolu basamakta okunan hız değeriyle karşılaştırınız.
- A14.** Aynı işlemleri sapma açısı $\theta = 10^\circ$ iken farklı sarkaç uzunlukları ($L=60$ cm ve $L=65$ cm) için yapınız ve ölçüm verilerini Tablo 4.1' e kaydediniz.
- A15.** Aynı işlemleri sapma açısı $\theta = 5^\circ$ iken tekrarlayınız ve Tablo 4.2' ye kaydediniz.

B. Basit Sarkaçta Enerjinin Korunumu

- B1.** Cismin kütesini ölçünüz ve Tablo 4.2' ye kaydediniz. Sarkaç tutucusuna bu cismi takınız. Cismin sarkaç tutucusunun sabitlendiği noktaya olan mesafesini $L=50$ cm olarak ayarlayınız.

- B2.** Sarkacı denge noktasından 10° kadar açı yapacak şekilde saptırınız. Bu konumdayken sahip olduğu h_2 yüksekliğini $h_2 = R_{KM} (1 - \cos \theta)$ denklemini kullanarak hesaplayınız ve Tablo 4.3' e kaydediniz.
- B3.** Cismin h_2 yüksekliğinde sahip olduğu potansiyel enerjisini hesaplayınız ve Tablo 4.3' e kaydediniz.
- B4.** Zaman sayacı üzerindeki *Mod 1* tuşuna basarak cismi serbest bırakınız ve ekranda beliren t_1 süresi ve sarkaç tutucusu çap genişliği (ϕ) yardımıyla sarkacın denge noktasından ($h_1 = 0, \theta = 0^\circ$) geçerken sahip olduğu hızı (V') hesaplayınız ve Tablo 4.3' e kaydediniz.
- B5.** Dördüncü basamaktaki işlemleri zaman sayacının *Mod 3* tuşuna basarak tekrarlayınız ve ekranda beliren cismin denge konumundan geçiş hızını (V) okuyunuz ve Tablo 4.3' e kaydediniz. V ve V' hız değerlerini karşılaştırınız.
- B6.** Beşinci adımda bulduğunuz hız değerlerini kullanarak kinetik enerjileri bulunuz ve Tablo 4.3' e kaydediniz.
- B7.** Üçüncü ve altıncı adımlarda bulduğunuz enerji değerlerini karşılaştırarak enerjinin korunumunu inceleyiniz.
- B8.** Aynı işlemleri sapma açısı $\theta = 10^\circ$ iken farklı sarkaç uzunlukları ($L=60$ cm ve $L=65$ cm) için yapınız ve ölçüm verilerini Tablo 4.3' e kaydediniz.

DENEY VERİLERİ:

TABLO 4.1											
θ (°)	m (kg)	L (m)	T (s)	V (ms ⁻¹)	g (ms ⁻²)	g' (ms ⁻²)	ω (rads ⁻¹)	f (s ⁻¹)	ϕ (m)	t (s)	V' (ms ⁻¹)
10		0.50									
		0.60									
		0.65									

TABLO 4.2											
θ (°)	m (kg)	L (m)	T (s)	V (ms ⁻¹)	g (ms ⁻²)	g' (ms ⁻²)	ω (rads ⁻¹)	f (s ⁻¹)	ϕ (m)	t (s)	V' (ms ⁻¹)
5		0.50									
		0.60									
		0.65									

TABLO 4.3								
θ (°)	m (kg)	L (m)	h_2 (m)	U (J)	V' (ms ⁻¹)	V (ms ⁻¹)	K (J)	K' (J)
10		0.50						
		0.60						
		0.65						

SÜRTÜNMELİ EĞİK DÜZLEMDE HAREKET



M5

SÜRTÜNMELİ EĞİK DÜZLEMDE HAREKET

M5

DENEYİN AMACI:

1. Sürtünmeli eğik düzlemde hareket yapan bir cismin ivmesini bulmak.
2. Statik ve kinetik sürtünme katsayılarını bulmak.
3. Yuvarlanma hareketi yapan katı bir cismin (diskin) öteleme ve dönme kinetik enerjilerini incelemek.

DENEYDE KULLANILAN ARAÇLAR

Eğik düzlem deney düzeneği

Fotosensörlü ışık kapısı (Photogate)

LabQuest-2 ölçüm cihazı

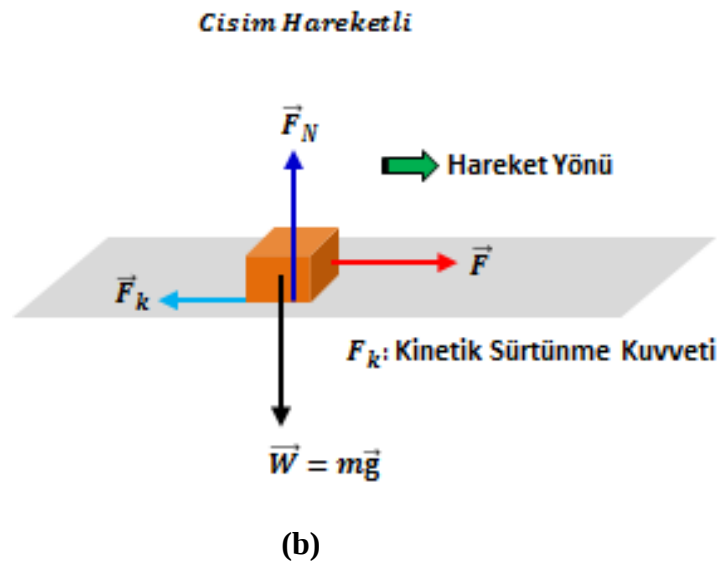
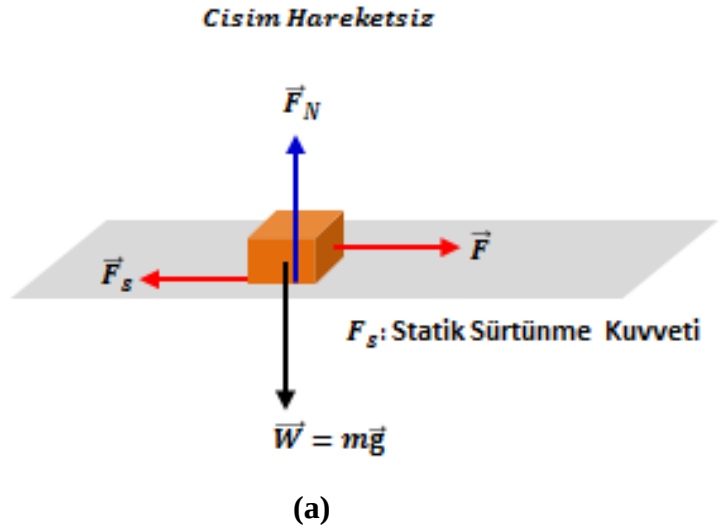
Blok ve silindir

TEORİK BİLGİ:

5.1. SÜRTÜNME KUVVETİ

Temas halindeki iki yüzey arasında harekete karşı koyacak şekilde oluşan ve değme yüzeyine paralel olan kuvvetlere “**sürtünme kuvveti**” denir. Sürtünme kuvveti, statik (durgun) ve kinetik olmak üzere iki çeşittir. Bu nedenle cismin hareketsiz ve hareketli durumları için cisim ile yüzey arasındaki sürtünme katsayısı değerleri farklı olur. Birbirlerine göre hareketsiz yüzeyler arasındaki sürtünme kuvvetine “**statik sürtünme kuvveti, $\vec{F}_s$** ” denir. Cismi harekete geçirebilmek için üzerinde bulunduğu yüzeye paralel doğrultuda uygulanması gereken $\vec{F}$ kuvveti, statik sürtünme kuvvetine eşit ve ters yönlü olmalıdır. Cisim tam hareket sınırında olduğunda statik sürtünme kuvveti maksimum değere sahip olur. Cisim hareketine başladıktan sonra yüzeyler arasındaki sürtünme kuvveti en düşük değere iner. Birbirlerine göre hareket halindeki yüzeyler arasındaki bu sürtünme kuvveti “**kinetik sürtünme kuvveti, $\vec{F}_k$** ” olarak adlandırılır. Kinetik sürtünme kuvveti harekete zıt yönde olup, statik sürtünme kuvvetinden daha küçüktür. Şekil 5.1’ de yatay bir düzlem üzerinde cisim ile yüzey arasındaki statik ve kinetik sürtünme kuvvetleri gösterilmektedir. Şekil 5.1(a)’ da m kütleli bir cisim kendi $\vec{W}$

ağırlığı ve üzerinde durduğu yatay yüzeyin uyguladığı $\vec{F}_N$ tepki kuvveti (normal kuvvet) etkisi altında dengede kalır. m kütleli cismi harekete geçirebilmek için cisim üzerine bir $\vec{F}$ kuvveti uygulanmalıdır. Kuvvet belirli bir değeri aşacak kadar artırılırsa, cisim düzlem üzerinde hareket etmeye başlar. Hareketin gözlenebilmesi için düzleme paralel doğrultuda cisme uygulanacak minimum $\vec{F}$ kuvvetinin büyüklük olarak statik sürtünme kuvvetinin büyüklüğünde olması gerekir.



Şekil 5.1. Yatay bir düzlem üzerinde cisim ile yüzey arasındaki (a) statik sürtünme kuvveti, (b) kinetik sürtünme kuvveti.

Statik sürtünme kuvvetinin büyüklüğünün normal kuvvetin büyüklüğüne oranı, yüzeyin “*statik sürtünme katsayısı*” olarak tanımlanır ve μ_s ile gösterilir. Statik sürtünme kuvvetinin büyüklüğü statik sürtünme katsayısına bağlı olarak;

$$F_s = \mu_s F_N \quad (5.1)$$

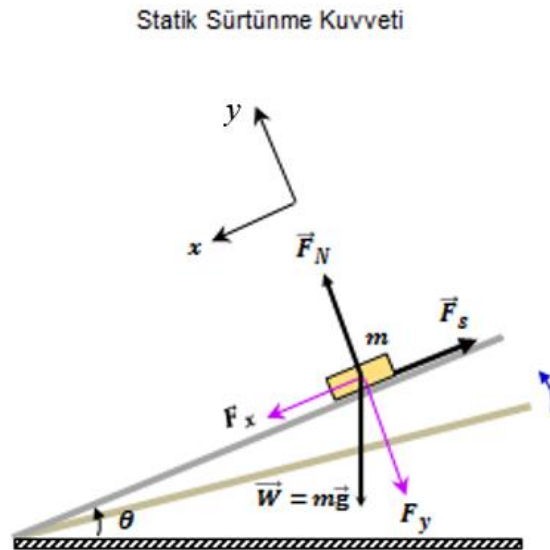
ile verilir. Cisim harekete başladıktan sonra, cisim ile yüzey arasındaki kinetik sürtünme kuvvetinin büyüklüğü ise;

$$F_k = \mu_k F_N \quad (5.2)$$

olur. Burada μ_k kinetik sürtünme katsayısıdır. Sürtünme katsayıları birimsiz olup sürtünen yüzeylerin cinsine bağlıdır.

5.2. SÜRTÜNMELİ EĞİK DÜZLEMDE HAREKET

Şekil 5.2’ de gösterildiği gibi eğim açısı θ olan bir eğik düzlem üzerine bırakılan bir cisim, bu açının belirli bir değerine kadar dengede kalır. Sürtünmeli eğik düzlemde duran m kütleli cismin üzerine x -yönünde kütle ağırlığının düzleme paralel bileşeni ($\vec{F}_x$) ve cismin aşağı doğru hareketini engelleyen ters yönlü statik sürtünme kuvveti ($\vec{F}_s$) etki eder. Ayrıca m kütleli cisim üzerine eğik düzleme dik doğrultuda (y -yönünde) kütle ağırlığının düzleme dik bileşeni ($\vec{F}_y$) ve düzlemin kütleye uyguladığı tepki kuvveti ($\vec{F}_N$) etki eder.



Şekil 5.2. Sürtünmeli eğik düzlemde dengede duran bir kütlenin üzerine etki eden kuvvetler.

Statik sürtünme katsayısını (μ_s) deneysel olarak belirlemek için eğik düzlemin eğim açısı, m kütleli cisim hareket sınırına ulaşınca kadar yavaş yavaş artırılır. Hareket sınırında

(cisim tam harekete başladığı anda) eğik düzlemin eğim açısı (sınır açısı, θ_s) ölçülür. Bu ölçülen θ_s değerinden statik sürtünme katsayısı hesaplanabilir.

Cismin sürtünmeli eğik düzlemde tam kaymaya başladığı andaki sınır açısı değerinde, x-yönünde sisteme etki eden net kuvvet sıfır olur;

$$\begin{aligned}\sum F_x &= F_x - F_s = 0 \\ \sum F_x &= F_x - \mu_s F_N = 0 \\ \sum F_x &= mg \sin \theta_s - \mu_s mg \cos \theta_s = ma_x = 0\end{aligned}\quad (5.3)$$

Eşitlik 5.3 düzenlendiğinde eğik düzlem ile cisim arasındaki statik sürtünme katsayısı ifadesi;

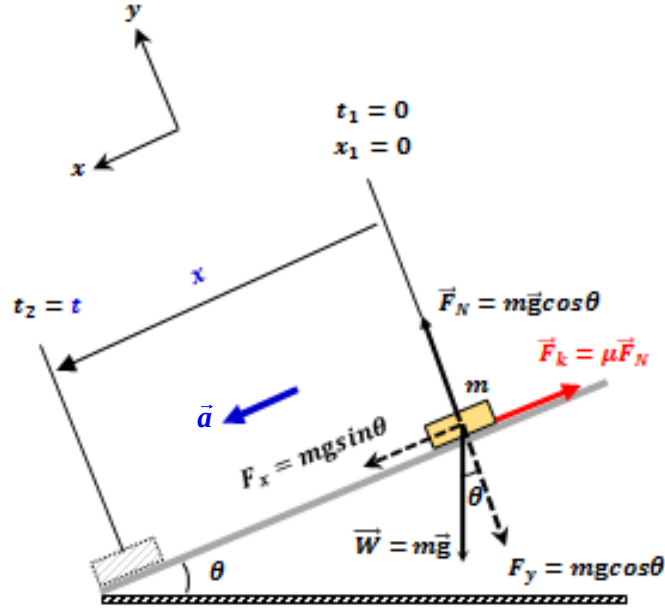
$$\mu_s = \tan \theta_s \quad (5.4)$$

şeklinde elde edilir. Statik sürtünme katsayısının bulunması durumunda Eşitlik 5.1 kullanılarak statik sürtünme kuvvetinin büyüklüğü (F_s) de hesaplanabilir.

Cisim tam harekete başladığı anda statik sürtünme kuvveti maksimum değerindedir. Cisim harekete başladıktan sonra sürtünme kuvvetinin değeri bir miktar düşer ve sonrasında sabit bir değerde kalır. Cismin hareketi halinde oluşan bu sürtünme kuvvetine “**kinetik sürtünme kuvveti**” denir.

Kinetik sürtünme katsayısını (μ_k) deneysel olarak belirlemek için eğik düzlemde bir cismin ivmeli hareketi incelenir. Bu nedenle eğik düzlemin eğim açısı (θ) sınır açısı (θ_s) değerinden yüksek bir değere ($\theta > \theta_s$) ayarlanarak cismin sabit ivmeli hareket yapması sağlanır. Şekil 5.3’ te eğim açısı θ olan eğik düzlem üzerinde ilk hızsız hareketine başlayan ve eğik düzlem boyunca aşağı doğru hareket eden bir cisim gösterilmektedir.

Kinetik Sürtünme Kuvveti



Şekil 5.3. Sürtülmeli eğik düzlemde kayma hareketi ve cisme etki eden kuvvetler.

Cismin sürtülmeli eğik düzlem üzerindeki hareketini sağlayan $\vec{F}_x$ kuvvetinin büyüklüğü;

$$F_x = mg \sin \theta \quad (5.5)$$

ile verilir. Bu harekete etki eden sürtünme kuvvetinin büyüklüğünü ise $\vec{F}_y$ kuvveti belirler:

$$F_y = mg \cos \theta \quad (5.6)$$

Cismin ağırlığının düzleme paralel bileşeni ($mg \sin \theta$), cismi eğik düzlem boyunca aşağı doğru harekete zorlar. Düzleme dik bileşen ($mg \cos \theta$) ise bloğu düzleme doğru bastırmak isterken, düzlem de bloğa $\vec{F}_N$ tepki kuvveti ile karşılık verir. Hareket başladığında iki yüzey arasındaki sürtünmeden dolayı hareket doğrultusuna zıt yönde kinetik sürtünme kuvveti ortaya çıkar. Cisim düzleme dik doğrultuda hareket etmediği için cismin bu yöndeki ivmesi sıfırdır ($\vec{a}_y = \vec{0}$). Bu nedenle sisteme y-yönünde etki eden net kuvvetin büyüklüğü;

$$\sum F_y = F_N - F_y = F_N - mg \cos \theta = ma_y = 0 \quad (5.7)$$

bağıntısı ile verilir. Eşitlik 5.7' ye göre, eğik düzlemin temas yüzeyinin m kütleli cisme uyguladığı $\vec{F}_N$ tepki kuvvetinin büyüklüğü;

$$F_N = mg \cos \theta \quad (5.8)$$

olarak yazılır. Buna göre harekete başladıktan sonra cisme etki eden kinetik sürtünme kuvvetinin büyüklüğü;

$$F_k = \mu_k F_N = \mu_k mg \cos \theta \quad (5.9)$$

şeklinde ifade edilir. Eğik düzlem üzerinde cismi harekete geçiren net kuvvet, x-yönünde sisteme etki eden kuvvetler tarafından belirlenir:

$$\sum F_x = mg \sin \theta - F_k = mg \sin \theta - \mu_k mg \cos \theta = ma_x \quad (5.10)$$

Sürtünmeli eğik düzlemde m kütlesi aşağı doğru ivmelendiği için kinetik sürtünme kuvvetinin büyüklüğü (F_k), m kütlesinin ağırlığının $F_x = mg \sin \theta$ bileşeninden daha küçüktür. Eşitlik 5.10' dan cismin ivmesinin büyüklüğü;

$$a = a_x = g (\sin \theta - \mu_k \cos \theta) \quad (5.11)$$

ve kinetik sürtünme katsayısı;

$$\mu_k = \frac{(g \sin \theta - a)}{g \cos \theta} \quad (5.12)$$

şeklinde elde edilir. Eşitlik 5.12' de hareketin ivmesi;

$$a = \frac{2x}{t^2} \quad (5.13)$$

ifadesi ile deneysel olarak belirlenir. Burada t , cismin x yerdeğiştirmesi için geçen zamandır ve deneysel olarak ölçülür.

5.3. DİSKİN YUVARLANMA HAREKETİ

Bir katı cisim kütle merkezi (KM) etrafında ω açısal hızıyla dönerek ilerlediğinde, cismin yaptığı bu harekete “**yuvarlanma hareketi**” adı verilir. Düzgün bir yüzey üzerinde kaymadan yuvarlanan cisim “**dönme kinetik enerjisi, K_d** ” ve “**öteleme kinetik enerjisi, K_o** ” olmak üzere iki tip kinetik enerjiye sahip olur.

$\vec{V}$ hızı ile hareket eden m kütleli katı cismin kütle merkezinin ötelenmesinden kaynaklanan öteleme kinetik enerjisi;

$$K_o = \frac{1}{2} m V_{KM}^2 \quad (5.14)$$

şeklinde verilir.

Kütle merkezi etrafında ω açısal hızı ile dönen katı cismin dönme kinetik enerjisi ise eylemsizlik momentine (I_{KM}) bağlı olarak ifade edilir:

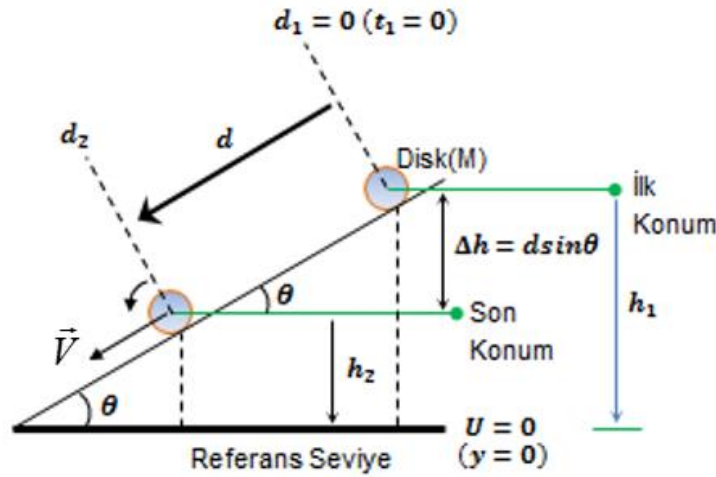
$$K_d = \frac{1}{2} I_{KM} \omega^2 \quad (5.15)$$

Şekil 5.4' te eğik düzlemde kaymadan yuvarlanma hareketi yapan M kütleli bir disk gösterilmektedir. Disk, ilk hızsız h_1 yüksekliğinden serbest bırakıldığında yerçekimi kuvvetinin etkisi ile aşağı doğru hareket eder. Diskin eğik düzlemin tepesinde iken sahip olduğu enerji, potansiyel enerjisine ($U = Mgh_1$) eşittir. Cisim eğik düzlem üzerinde herhangi bir t anında $y = \Delta h$ kadar dikey mesafe yerdeğiştirirse, bu cismin potansiyel enerjisi;

$$\Delta U = Mg(\Delta h) \quad (5.16)$$

kadar azalır. Potansiyel enerjideki bu kayıp diske kinetik enerji olarak aktarılır. Δh , diskın eğik düzlem üzerindeki d yerdeğiştirmesine bağlıdır:

$$\Delta h = h_1 - h_2 = d \sin \theta \quad (5.17)$$



Şekil 5.4. Eğik düzlemde diskın yuvarlanma hareketi.

Sürtünmenin olmadığı veya ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu bir sistemde cisim üzerine dışarıdan bir kuvvet uygulanmadığı sürece mekanik enerji korunur. Şekil 5.4' te verilen diskın yuvarlanma hareketine göre; ilk düşey konumu $y = h_1$, ilk düşey hızı $V_i = 0$ ve ilk açısal hızı $\omega_i = 0$ iken, yuvarlanan cismin son konumunda bu değişkenler $y = h_2$, $V_s = V$ ve $\omega_s = \omega$ olur. Enerjinin korunumuna göre diskın ilk ve son konumlarındaki toplam enerjilerinin eşit olması gerekir:

$$Mgh_1 = \frac{1}{2} MV^2 + \frac{1}{2} I\omega^2 + Mgh_2 \quad (5.18)$$

$$Mg(h_1 - h_2) = \frac{1}{2} MV^2 + \frac{1}{2} I\omega^2$$

$$Mg(\Delta h) = \frac{1}{2}MV^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 \quad (5.19)$$

Burada V , kütle merkezinin hızı; I , diskin dönme eksenine göre eylemsizlik momenti ve $Mg(\Delta h)$, eğik düzlemde yuvarlanma hareketi yapan diskin potansiyel enerjisindeki değişimdir.

Eğik düzlemde yuvarlanan R yarıçaplı ve M kütleli diskin merkezinden geçen ve disk düzlemine dik olan bir eksene göre eylemsizlik momenti;

$$I = \frac{1}{2}MR^2 \quad (5.20)$$

ifadesi kullanılarak hesaplanır. Dönme hareketinde katı cisimlerin eylemsizlik momenti zamandan bağımsız bir sabittir ve dönme eksenine, katı cismin kütlesine, cismin geometrik şekline bağlıdır.

Yuvarlanan diskin V öteleme hızı ile ω açısal hızı arasındaki ilişki;

$$V = \omega R \quad (5.21)$$

şeklinde verilir. Eşitlik 5.20 ve 5.21 kullanılarak Eşitlik 5.19' dan katı diskin kütle merkezinin hızı (V);

$$V = \sqrt{\frac{4}{3}g(\Delta h)} \quad (5.22)$$

şeklinde bulunur. Eğer düzlemde yuvarlanan disk d mesafesi kadar yerdeğiştirirse, yükseklik değişimi $\Delta h = d \sin \theta$ kadar olur. Buna göre Eşitlik 5.22 yeniden düzenlenirse kütle merkezinin hızı;

$$V = \sqrt{\frac{4}{3}g(d \sin \theta)} \quad (5.23)$$

şeklinde elde edilir. Katı cismin kütle merkezinin hızı deneysel olarak;

$$V = \frac{\phi}{t} \quad (5.24)$$

ifadesinden belirlenir. Burada ϕ , yuvarlanan diskin ışık kapısı (Photogate) içinden geçiş uzunluğu olan disk çapı ve t , diskin ışık kapısı sensörü içinden geçiş zamanıdır.

Eşitlik 5.21' e göre yuvarlanan diskin açısal hızı (ω) ise;

$$\omega = \sqrt{\frac{4}{3R^2}g(d \sin \theta)} \quad (5.25)$$

şeklinde elde edilir. Yuvarlanma hareketinde M kütleli diskin kaybettiği potansiyel enerjinin bir kısmı kinetik enerjiye dönüşür ve disk eğik düzlem boyunca hızlanır. Potansiyel enerjinin

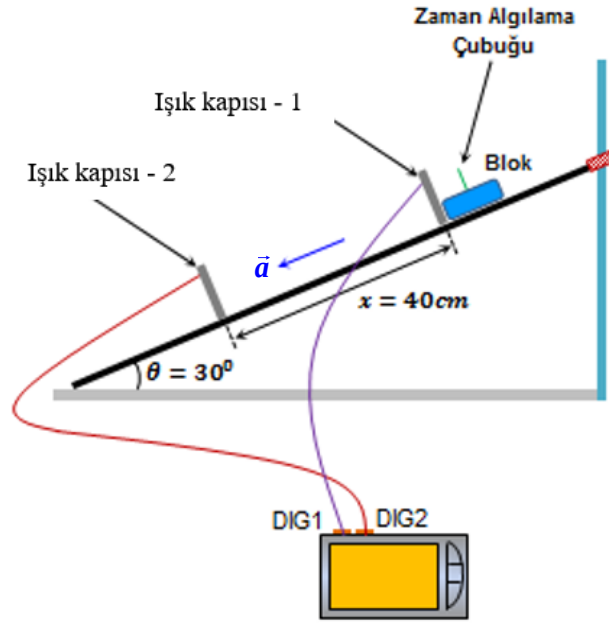
bir kısmı ise dönme kinetik enerjisi olarak diske aktarılır ve diskin açısal hızı (ω) Eşitlik 5.25’te verilen bağıntıya göre artar.

DENEYİN YAPILIŞI

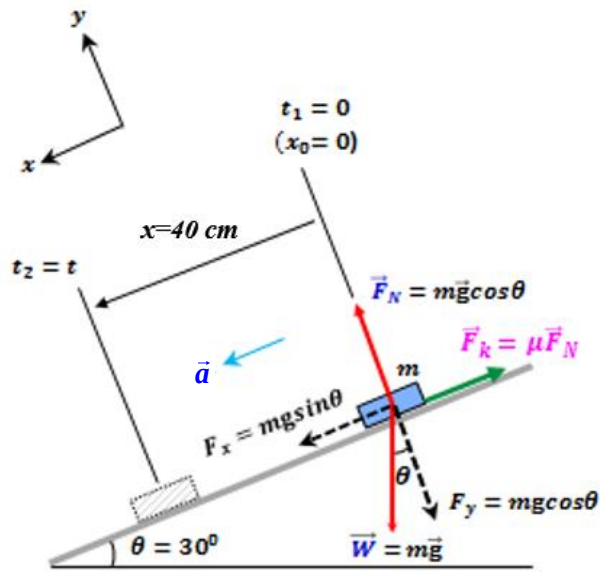
A. Sürtünme Katsayısı Ve Sürtünme Kuvvetinin Bulunması

A1. Şekil 5.5 (a)' da verilen deney düzeneğini kurunuz.

- LabQuest-2 cihazının *DIG 1* ve *DIG 2* girişlerine *Işık kapısı 1* ve *Işık kapısı 2*' yi bağlayınız.
- Açı ölçer yardımı ile eğik düzlemi yatay olarak ($\theta = 0^\circ$) ayarlayınız.



(a)



(b)

Şekil 5.5. (a) Sürtülmeli eğik düzlemde hareket deney düzeneği (b) eğik düzlem üzerinde hareket eden m kütleli cisme (bloğa) etki eden kuvvetler.

A2. Sürtünmeli eğik düzlemde sınır açısını (θ_s) belirleyiniz ve Tablo 5.1' e kaydediniz.

- Bloğu yatay konumda olan eğik düzlem üzerinde bir konuma yerleştiriniz.
- Blok harekete başlayana kadar eğik düzlemin açısını yavaş yavaş arttırınız.
- Bloğun sürtünmeli eğik düzlemde tam kaymaya başladığı andaki açığı “**sınır açısı**” olarak ölçünüz.

A3. $\mu_s = \tan \theta_s$ ve $F_s = \mu_s mg \cos \theta_s$ ifadelerini kullanarak statik sürtünme katsayısını ve statik sürtünme kuvvetini hesaplayınız ve Tablo 5.1' e kaydediniz.

A4. Açılış ölçer yardımıyla eğik düzlemin eğim açısını $\theta = 30^\circ$ olarak ayarlayınız.

A5. Eğik düzlem üzerinde Işık kapısı 1 ve Işık kapısı 2 sensörleri arası uzaklığı $x = 40$ cm olarak ayarlayınız. (Bu mesafe sürtünmeli eğik düzlem üzerinde serbest bırakılan bloğun yerdeğiştirmesidir).

A6. LabQuest-2 ölçüm cihazını çalıştırınız. Açılış ekranında aşağıdaki ölçüm parametreleri görüntülenir:

DIG-1: Kapı Durumu

Blokesiz

DIG-2: Kapı Durumu

Blokesiz

Mod: Photogate Zamanlama

Zamanlama: Hareket

A7. LabQuest-2 açılış ekranında “Mod” seçeneğine tıklayınız ve deney kodlarını aşağıdaki gibi giriniz:

Mod: Zaman Tabanlı

Hız: 100 örnek/s

Aralık: 0,01 s/örnek

Süre: 10 s

Photogate Modu: Atım (pulse)

Kapılar arası mesafe: 0,4 m

A8. Açılış ekranına dönmek için “Tamam” butonuna basınız. Açılış ekranında “Mod” bölümü “Zaman tabanlı” olarak değişecektir. LabQuest-2 cihazının veri toplama işlemi, ölçüm zamanı 10 s olduğunda otomatik olarak duracaktır.

A9. Zaman algılama çubuğunu bloğun üst kısmındaki girişe takınız.

- A10.** Bloğun toplam kütleini $m = 0.16$ kg olarak Tablo 5.2' ye yazınız (Toplam kütle=Bloğun kütle+ zaman algılama çubuğunun kütle).
- A11.** Bloğu eğik düzlem üzerinde Işık kapısı 1' in önüne yerleştiriniz (Blok ile eğik düzlem arasında sürtünme vardır).
- A12.** LabQuest-2 açılış ekranından tablo ekranına geçmek için “*Tablo*” sembolüne tıklayınız.
- A13.** Veri toplama işlemini başlatmak için tablo ekranı alt kısmında görülen “*BAŞLAT*” butonuna tıklayınız.
- A14.** Bloğu, eğik düzlem üzerinde iki ışık kapısı arasında hareket etmesi için serbest bırakınız. (Veri toplama işlemi, ölçüm süresi dolduğunda otomatik olarak durur).
- A15.** LabQuest-2 ekranından “*Tablo*” butonuna basarak bloğun eğik düzlem üzerinde 40 cm' lik mesafeyi ne kadar zamanda (t) katettiğini belirleyiniz ve Tablo 5.2' ye kaydediniz.
- A16.** Eşitlik 5.13'ü kullanarak eğik düzlem üzerinde hareket eden bloğun ivmesini hesaplayınız ve Tablo 5.2' ye kaydediniz.
- A17.** Eşitlik 5.12'yi kullanarak kinetik sürtünme katsayısını hesaplayınız ve Tablo 5.2' ye kaydediniz.
- A18.** Eşitlik 5.9'u kullanarak kinetik sürtünme kuvvetini hesaplayınız ve Tablo 5.2' ye kaydediniz.
- A19.** Aynı işlemleri $x = 60, 80$ ve 100 cm için tekrarlayınız, ortalama ivmeyi (a_{ort}) hesaplayınız ve Tablo 5.2' ye kaydediniz.
- A20.** $x = f(t^2)$ grafiğini çizin ve eğim yardımıyla hareketin ortalama ivmesini hesaplayınız ve Tablo 5.2' ye kaydederek sonuçlarınızı yorumlayınız.

B. Diskin Yuvarlanma Hareketi

Deney verileri:

Disk çapı $\phi = 6$ cm

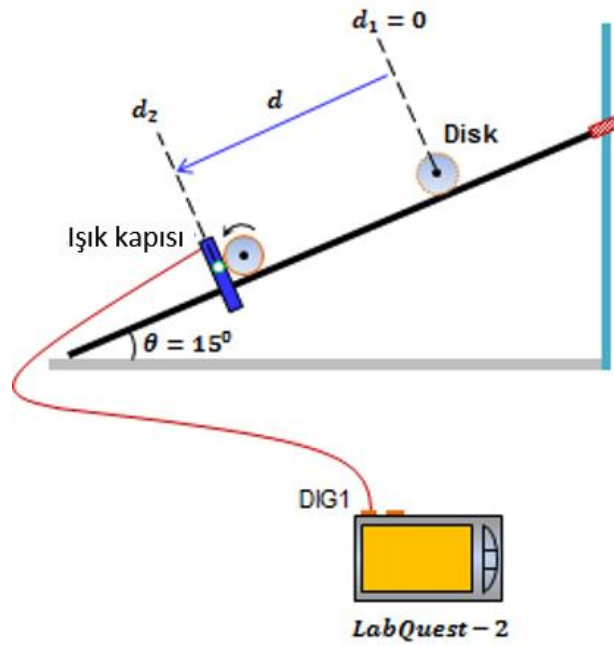
Disk yarıçapı $R = 3$ cm

Disk kütlesi $M = 60$ g

Disk eylemsizlik momenti $I = 27 \times 10^{-6} \text{ kgm}^2$

B1. Şekil 5.6’ da görülen deney düzeneğini kurunuz.

- Eğik düzlemi yatay olarak hizalayınız ve ardından eğim açısını $\theta = 15^\circ$ olarak ayarlayınız.
- Işık kapısını (photogate) eğik düzlemin alt ucuna gelecek şekilde tutucusuna yerleştiriniz.
- Eğik düzlem üzerinde yuvarlanma hareketi yapacak olan disk kütlesi (diskin orta noktası) ışık kapısı ile aynı yükseklikte olacak şekilde ayarlayınız. Bu durumda disk geçiş uzunluğu disk çap uzunluğuna (ϕ) eşit olacaktır.



Şekil 5.6. Mekanik enerjinin korunumu deney düzeneği.

B2. Işık kapısı sensöründen itibaren $d = 30$ cm uzaklığı belirleyiniz ve disk kütlesi için “başlangıç noktası” olarak işaretleyiniz. Böylece yuvarlanma hareketi yapacak disk kütlesi merkezinin yer değiştirmesi $d = 30$ cm olacaktır.

B3. LabQuest-2 ölçüm cihazını çalıştırınız ve “Mod” butonuna tıklayınız. Ekrana gelen pencereden:

Mod: Photogate Zamanlama

Photogate mod: Kapı

Nesnenin uzunluğu: 0,06 m

olarak giriniz ve

Veri toplamayı sonlandır: Durdur tuşu ile.

kısmını seçip “Tamam” butonuna basarak açılış ekranına dönünüz.

- B4.** Diskin kütle merkezini eğik düzlem üzerine önceden işaretlenmiş “başlangıç noktasına” gelecek şekilde yerleştiriniz ve sabit tutunuz.
- B5.** LabQuest-2 ölçüm cihazının “Tablo” sembolüne tıklayınız. Tablo ekranında görülen “Başlat” butonuna basınız ve diski serbest bırakınız.
- B6.** Disk eğik düzlem üzerinde ray boyunca $d = 30$ cm kadar aşağıya doğru yuvarlanma hareketi yaparak ışık kapısı içinden geçtiğinde “Durdur” butonuna basınız.
- B7.** LabQuest-2 “Tablo” ekranından disk geçiş uzunluğu olan disk çapının ışık kapısı içinden geçiş zamanını (t) okuyunuz ve Tablo 5.3’ e kaydediniz.
- B8.** Diskin eğik düzlem üzerinde 30 cm yol alması durumunda, düşey mesafedeki değişimi $\Delta h = d \sin \theta$ ifadesinden hesaplayınız ve Tablo 5.3’ e kaydediniz.
- B9.** Diskin kütle merkezinin son hızının deneysel değerini Eşitlik 5.24’ü kullanarak hesaplayınız ve Tablo 5.3’ e kaydediniz.
- B10.** Diskin kütle merkezinin beklenen hız değerini Eşitlik 5.22’yi kullanarak hesaplayınız ve Tablo 5.3’ e kaydediniz.
- B11.** $\omega = \frac{V}{R}$ ifadesinden diskın açısal hızını hesaplayınız ve Tablo 5.3’ e kaydediniz.
- B12.** Diskin kütle merkezinin öteleme kinetik enerjisini $K_o = \frac{1}{2}MV^2$ ve dönme kinetik enerjisini $K_d = \frac{1}{2}I\omega^2$ ifadelerinden hesaplayınız ve Tablo 5.3’ e kaydediniz.
- B13.** Yuvarlanan diskın toplam kinetik enerjisini K_T bulunuz ve Tablo 5.3’ e kaydediniz.
- B14.** Yuvarlanan diskın potansiyel enerjisindeki azalmayı Eşitlik 5.16’yı kullanarak hesaplayınız ve Tablo 5.3’ e kaydediniz. Sonuçlar yardımıyla mekanik enerjinin korunumunu irdeleyiniz.
- B15.** Aynı işlemleri $\theta = 20^\circ$ ve $\theta = 30^\circ$ için tekrarlayınız ve sonuçlarınızı yorumlayınız.

DENEY VERİLERİ:

TABLO 5.1		
θ_s (°)	μ_s	F_s (N)

TABLO 5.2						
					$\theta = 30^\circ$	$m = 0.16 \text{ kg}$
x (cm)	t (s)	a (ms ⁻²)	a_{ort} (ms ⁻²)	μ_k	F_k (N)	a_{grf} (ms ⁻²)
40						
60						
80						
100						

TABLO 5.3									
θ (°)	t (s)	Δh (m)	V_d (ms ⁻¹)	V (ms ⁻¹)	ω (rads ⁻¹)	$K_{\dot{\theta}}$ (J)	K_d (J)	K_T (J)	ΔU (J)
15									
20									
30									

YAYLAR, MAKARALAR ve PALANGALAR



M6

YAYLAR, MAKARALAR ve PALANGALAR

M6

DENEYİN AMACI:

1. Yay sabiti değerinin Hooke yasası ve salınım periyodu ile bulunmasını öğrenmek.
2. Yayların seri ve paralel bağlanmasını öğrenmek.
3. Yaya bağlı bir kütlenin basit harmonik hareketini incelemek.
4. Sabit-hareketli makaraların ve palanga sistemlerinin önemini kavramak.

DENEYDE KULLANILAN ARAÇLAR:

Yaylar ve makaralar deney düzeneği

Farklı yay sabitine sahip yaylar

Makaralar (tekli, ikili ve üçlü)

Farklı kütleler

Kronometre

Dinamometre

Yükseklik ölçer

TEORİK BİLGİ:

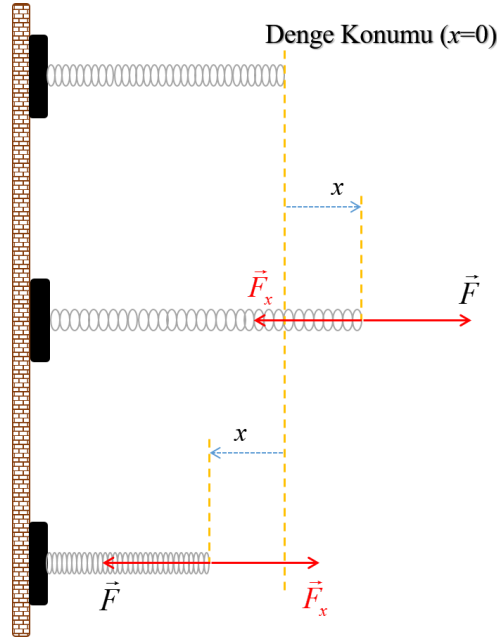
6.1. YAYLAR

Şekil 6.1’de görüldüğü gibi, herhangi bir yaya bir $\vec{F}$ kuvveti uygulandığında, yayda gerilme veya sıkışma meydana gelir. Yayda oluşan gerilme veya sıkışma miktarını (x) yayın türü ve kuvvetin büyüklüğü belirler. Örneğin, aynı kuvvetin etkisinde kalan sert bir yay yumuşak bir yaya oranla daha az sıkışır.

Bir yayı denge konumuna göre x kadar sıkıştırmak (ya da germek) için;

$$\vec{F} = k\vec{x} \quad (6.1)$$

kadar bir kuvvet uygulamak gerekir. Burada k , yayın kuvvet sabiti (yay sabiti) olup; yayın sertliğinin bir ölçüsüdür ve her yay türü için farklı bir değere sahiptir. Yay sabiti her zaman pozitiftir ve SI sistemine göre birimi Nm^{-1} ’dir.



Şekil 6.1. Denge durumuna göre $\vec{F}$ kuvvetinin etkisi ile gerilmiş ve sıkıştırılmış bir yay.

$\vec{F}$ kuvvetinin etkisi ile denge durumundan x kadar ayrılan yay, tekrar denge durumuna (normal uzunluğuna) geri dönmek ister. Bu yüzden yay, $\vec{F}$ kuvvetine ters yönde bir geri çağırıcı kuvvet ($\vec{F}_x$) uygular.

$$\vec{F}_x = -k\vec{x} \text{ (Hooke Kanunu)} \quad (6.2)$$

Buradaki (-) işareti, kuvvetin bir geri çağırıcı kuvvet olduğunu gösterir.

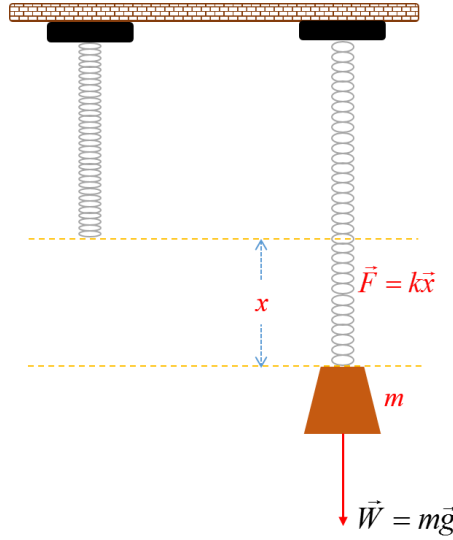
Hooke kanunu, x yerdeğiştirmesinin çok büyük olmadığı veya yayda kalıcı deformasyon meydana gelmediği sürece geçerlidir. Bu kanuna göre, yayın uyguladığı geri çağırıcı kuvvet her zaman yayın denge konumuna doğrudur.

Şekil 6.2’de görüldüğü gibi, düşey doğrultuda hareketsiz durumdaki bir yaya m kütleli bir cisim bağlandığında yay x kadar gerilir. Yayın gerilmesinin kaynağı, kütle üzerine etki eden yerçekimi kuvveti (ağırlık) olur. Yerçekimi kuvvetinin yönü aşağıya doğrudur. Sistem dengede iken, asılı kütlelerin ağırlığı yayın geri çağırıcı kuvveti ile dengelenir. Yani yay, bu iki kuvvetin büyüklüğü birbirine eşit olana kadar gerilebilir.

Kütlesi m olan bir cisme etki eden yerçekimi kuvveti;

$$\vec{F} = \vec{W} = m\vec{g} \quad (6.3)$$

ile verilir. Burada g yerçekimi ivmesidir.



Şekil 6.2. Düşey doğrultuda bir yaya m kütleli cisim bağlanması ile yayın gerilmesi ve denge durumu.

Düşey doğrultudaki kütle-yay sisteminde yayın ucuna takılı olan cisim üzerine etki eden kuvvetler:

- 1) Cisme etki eden yerçekimi kuvveti (mg) (aşağı doğru)
- 2) Yay tarafından uygulanan geri çağırıcı kuvvet (kx) (yukarı doğru)

şeklinde olur. Şekil 6.2’ de verilen sistemde yay, bu iki ters yönlü kuvvetin birbirine eşit olduğu noktaya kadar uzar ve bu nokta “**denge noktası**” olarak adlandırılır. Bu durumda,

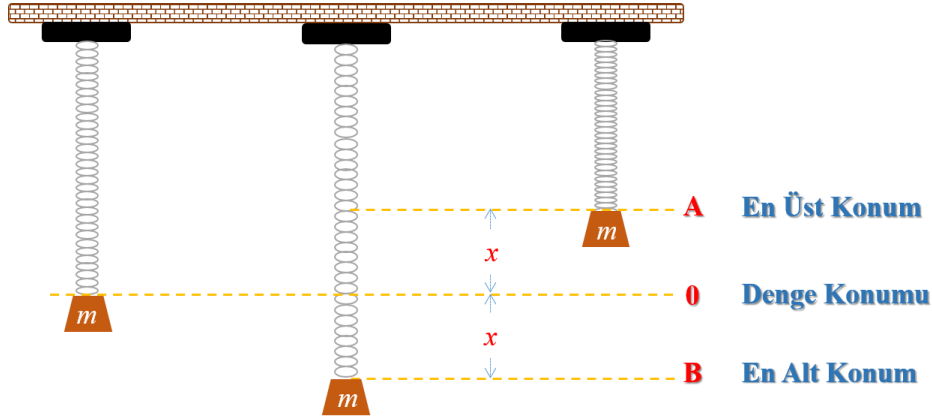
$$mg = kx \quad (6.4)$$

yazılabilir. Eşitlik 6.4’e göre, herhangi bir ek dış kuvvet uygulanmadığı sürece kütle-yay sistemi dengede kalır. Esneklik sınırının aşılması koşuluyla, yaya uygulanan kuvvet ile yayın uzama miktarı doğru orantılıdır. Örneğin; bir yaya 1 kg kütleli bir cisim asıldığında yay $x = 10$ cm uzuyorsa, aynı yaya 2 kg kütleli bir cisim asıldığında yay $x = 20$ cm uzayacaktır. Kuvvet-uzama miktarı ($F = f(x)$) grafiği çizildiğinde ise bir doğru elde edilir ve bu doğrunun eğimi yay sabitini (k) verir.

6.1.1. Basit Harmonik Hareket

Şekil 6.3’te görüldüğü gibi, m kütleli bir cisim $x = 0$ konumunda dengede iken x kadar aşağı çekilip serbest bırakılırsa cisim A-B noktaları arasında “**basit harmonik hareket**” yapmaya başlar. Geri çağırıcı kuvvetin etkisi altında denge konumu etrafında kendisini belirli bir zaman aralığında tekrarlayan bu harekete “**salınım hareketi**” ya da “**basit harmonik hareket**” denir. m kütleli cismin basit harmonik hareket yapmasının kaynağı, yayın uyguladığı

geri çağırıcı kuvvetin denge konumuna doğru bir ivmelenmeye neden olmasıdır. Böylece kütle, geri çağırıcı kuvvetin etkisi altında ileri-geri salınır.



Şekil 6.3. m kütleli cismin $A - B$ noktaları arasında yaptığı basit harmonik hareket.

Basit harmonik hareket yapan bir cismin bir tam salınımı için geçen süreye “**periyot, T** ” ve cismin birim zamanda yaptığı salınım (tur) sayısına “**frekans, f** ” denir. Periyot ve frekans arasındaki ilişki;

$$T = \frac{1}{f} \quad (6.5)$$

ile verilir. Periyot, yay sabiti ve yaya bağlanan toplam kütle ile belirlenir:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \quad (6.6)$$

Bu eşitliğe göre cismin kütlesi (m);

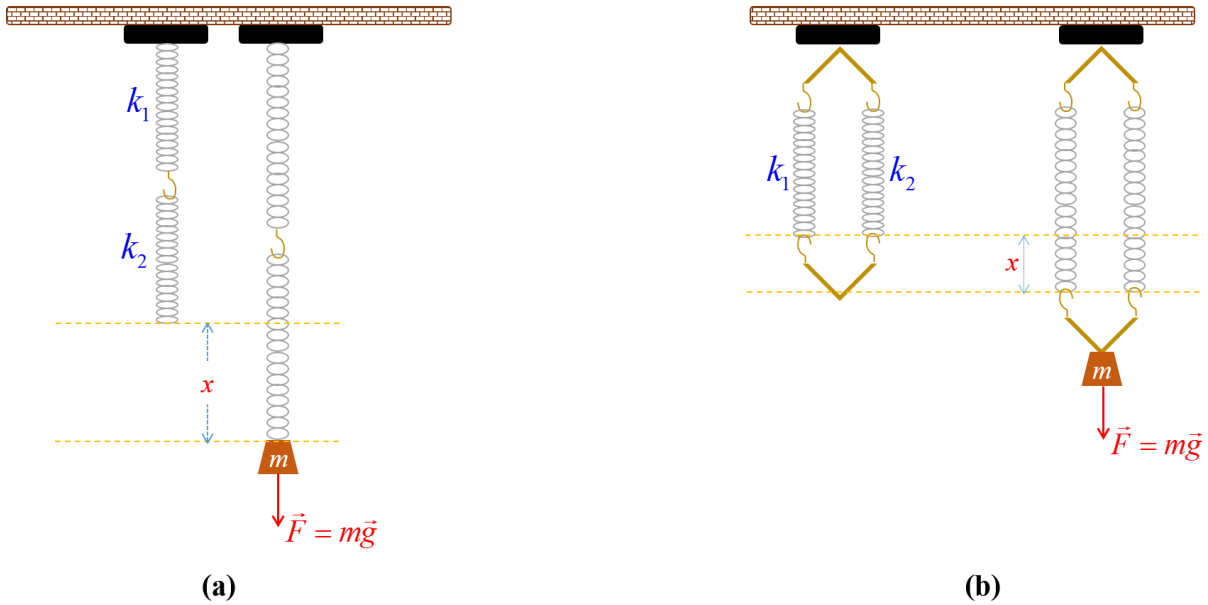
$$m = \frac{k}{4\pi^2} T^2 \quad (6.7)$$

olarak bulunur. Eşitlik 6.7’ye göre, $m = f(T^2)$ grafiği çizilirse değişim bir doğru şeklinde elde edilir ve bu doğrunun eğiminden faydalanılarak k yay sabiti deneysel olarak bulunabilir.

$$m = \tan \alpha = \frac{k}{4\pi^2} \quad (6.8)$$

6.1.2. Yayların Seri ve Paralel Bağlanması

Şekil 6.4'te görüldüğü gibi, yaylar seri ve paralel bağlanarak farklı bir k yay sabitine sahip yeni bir mekanik yay sistemi oluşturulabilir. Yay sabitleri k_1 ve k_2 olan iki yayın uç uca bağlanmasına “*seri bağlama*”; iki yayın uçları yan yana gelecek şekilde bağlanmasına ise “*paralel bağlama*” adı verilir.



Şekil 6.4. (a) Yayların seri bağlanması (b) Yayların paralel bağlanması.

Şekil 6.4 (a)'da görüldüğü gibi, seri bağlamada her bir yaya etki eden kuvvet aynıdır ve yay sisteminin toplam uzaması (ya da sıkışması) her bir yayın uzama (ya da sıkışma) miktarlarına bağlıdır. Bu durumda, m kütleli cisim $x = x_1 + x_2$ kadar aşağıya doğru yer değiştirir.

$$F = F_1 = F_2 \quad (6.9)$$

$$x = x_1 + x_2 \quad (6.10)$$

Eşitlik 6.1'e göre;

$$x = \frac{F}{k} ; \quad x_1 = \frac{F_1}{k_1} ; \quad x_2 = \frac{F_2}{k_2} \quad (6.11)$$

olarak yazılabilir. Eşitlik 6.11, Eşitlik 6.10'da yerine konularak düzenleme yapıldığında, seri bağlı yay sisteminin eşdeğer yay sabiti (k);

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \quad (6.12)$$

ya da

$$k = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2} \quad (6.13)$$

olarak elde edilir.

Şekil 6.4 (b)'de görüldüğü gibi, iki yay paralel bağlandığında her bir yaya etki eden kuvvetler farklıdır (F_1 ve F_2) ve sistemin boyu x kadar uzadığında yayların her birindeki uzama miktarı da x kadar olur:

$$F = F_1 + F_2 \quad (6.14)$$

$$x = x_1 = x_2 \quad (6.15)$$

Eşitlik 6.1'e göre;

$$F = kx ; \quad F_1 = k_1 x ; \quad F_2 = k_2 x \quad (6.16)$$

yazılabilir. Eşitlik 6.16, Eşitlik 6.14'te yerine konularak düzenleme yapıldığında, paralel bağlı yay sisteminin eşdeğer yay sabiti (k);

$$k = k_1 + k_2 \quad (6.17)$$

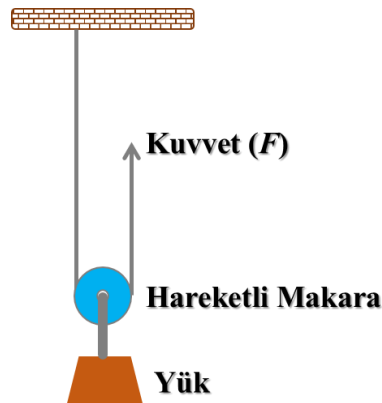
olarak elde edilir. Bu ifadeye göre, yaylar paralel bağlandığında sistemin eşdeğer yay sabiti (k), her bir yayın yay sabitinden (k_1 ve k_2) büyük olacaktır.

6.2. HAREKETLİ MAKARALAR

Çevresinden ip geçirildiğinde hem dönebilen hem de yükselip alçalabilen makaralara “**hareketli makara**” denir. Hareketli makaraya bağlı bir yük makara ile birlikte yükselir. Makaranın ağırlığı ihmal edilirse ipe uygulanan kuvvet, yük ağırlığının yarısı kadardır:

$$F = \frac{W}{2} \quad (6.18)$$

Burada F ; uygulanan kuvveti, W ; yükün ağırlığını göstermektedir.



Şekil 6.5. Hareketli makarada asılı olan yükün makara ile birlikte hareket etmesi.

Hareketli makara sisteminde yük ağırlığının uygulanan kuvvete oranı “**kuvvet kazancı**” olarak bilinir:

$$\text{Kuvvet Kazancı} = \frac{W}{F} \quad (6.19)$$

Hareketli makarada uygulanan F kuvvetinin bağlı olduğu ipin çekilme miktarı, yükün yerdeğiştirme miktarının iki katı kadardır:

$$\text{İpin Çekilme Miktarı} = 2 (\text{Yükün Aldığı Yol}) \quad (6.20)$$

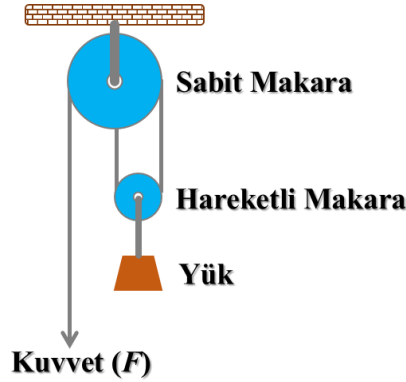
Eşitlik 6.20’ye göre, hareketli makaraya bağlı bir yükü h kadar yükseltmek için kuvvetin uygulandığı ipi $2h$ kadar çekmek gerekir. Hareketli makaralar kuvvetten iki kat kazanç sağlarken yoldan iki kat kayba sebep olurlar.

6.3. PALANGALAR

Şekil 6.6’da görüldüğü gibi, sabit ve hareketli makaralardan oluşan sistemlere “**palanga**” denir. Palanga sisteminde kullanılan ip tüm makaraların çevresinden geçer. Palanga sisteminin sağlayacağı kuvvet kazancı, sabit ve hareketli makaralar arasındaki ip sayısına bağlı olarak;

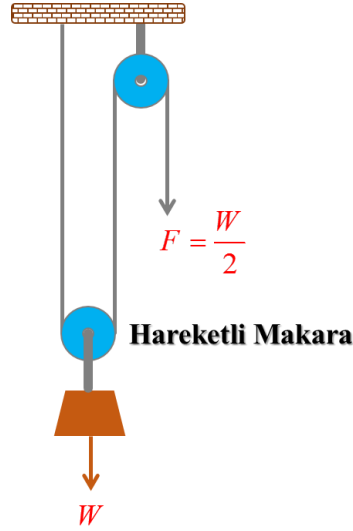
$$F = \frac{W}{n} \quad (6.21)$$

şeklinde verilir.



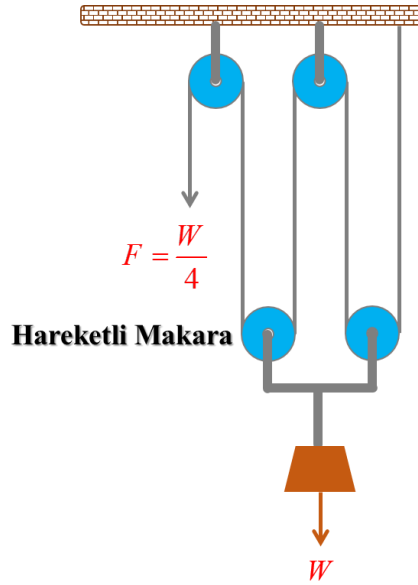
Şekil 6.6. İki makaradan oluşan bir palanga sistemi.

Burada F ; uygulanan kuvveti, W ; yük ağırlığını ve n ; sabit ve hareketli makaralar arasındaki ip sayısını göstermektedir. Eşitlik 6.21, makara ağırlıkları ve sürtünmelerin ihmal edildiği palanga sistemlerinde geçerlidir. Makara ağırlıkları ihmal edilmezse hareketli makaraların ağırlıkları yüke ilave edilir.



Şekil 6.7. $\vec{F}$ kuvveti ile dengede tutulan hareketli makara sistemi.

Şekil 6.7’de verilen bir sabit ve bir hareketli makaradan oluşan palanga sisteminde sabit ve hareketli makaralar arasındaki ip sayısı 2 olduğundan dengeleyici kuvvet (F) yükün yarısı kadardır.



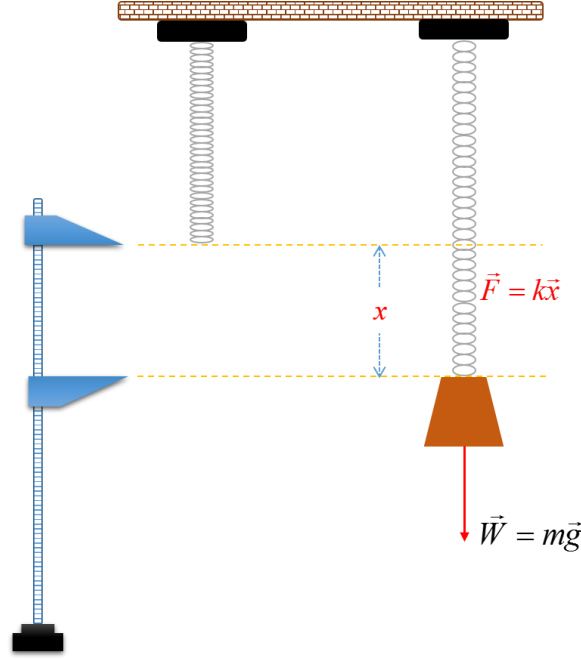
Şekil 6.8. İki sabit ve iki hareketli makaradan oluşan bir palanga sistemi.

Şekil 6.8’de verilen palanga sisteminde yükü dengede tutan kuvvet, sabit ve hareketli makaralar arasındaki ip sayısı 4 olduğu için yükün dörtte biri kadardır. Buna göre, yükün alacağı yol (h), kuvvet uygulanan ipin çekilme miktarının (x) dörtte biri kadar olur ($x = 4h$). Sonuç olarak palanga sistemlerinde kuvvetten kazanç, yoldan ise kayıp vardır.

DENEYİN YAPILIŞI

A. Tek Yay

A1. Kullanacağınız yayı düzenekte sabit bir noktaya asınız ve Şekil 6.9’da görüldüğü gibi yaya herhangi bir kütle takmadan önce yayın serbest ucunun alt kısmını referans noktası olarak seçiniz.

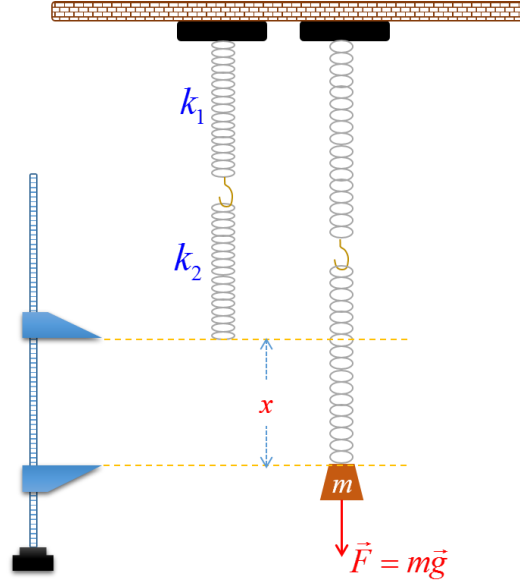


Şekil 6.9. Yay sabiti belirleme deney seti.

- A2.** Yayın ucuna 200 g’lık kütle asınız. Kütle-yay sisteminin denge konumunda durmasını bekleyiniz, yaydaki uzama miktarını (x) ölçünüz ve Tablo 6.1’e kaydediniz.
- A3.** Aynı işlemleri yayın ucuna 100 g ve 50 g’lık kütleleri asarak tekrarlayınız ve ölçüm sonuçlarınızı Tablo 6.1’e kaydediniz.
- A4.** Eşitlik 6.3’ü kullanarak her bir kütlenin yaya uyguladıkları F kuvvetlerini (kütlelerin ağırlıkları) hesaplayınız ve Tablo 6.1’e kaydediniz.
- A5.** Denge şartları gereği elde edilen Eşitlik 6.4’ü kullanarak 50, 100 ve 200 g’lık kütlelerin asıldığı durumlar için k yay sabiti değerlerini ayrı ayrı hesaplayınız ve Tablo 6.1’e kaydediniz. Sonuçlarınızı karşılaştırınız.
- A6.** 2-4. adımlarda elde ettiğiniz değerleri kullanarak $F = f(x)$ grafiğini çiziniz. Grafiğin eğiminden yayın k' yay sabitini hesaplayınız ve Tablo 6.1’e kaydediniz.
- A7.** k ve k' yay sabiti değerlerini karşılaştırınız ve yorumlayınız.

B. Seri Bağlı Yay Sistemi

B1. Yay sabiti farklı olan iki yay seçiniz. Önce birinci yayı düzenekte sabit bir noktaya asınız ve yaya herhangi bir kütle takmadan önce yayın serbest ucunun alt kısmını referans noktası olarak seçiniz.



Şekil 6.10. Seri bağlı yay sistemi deney seti.

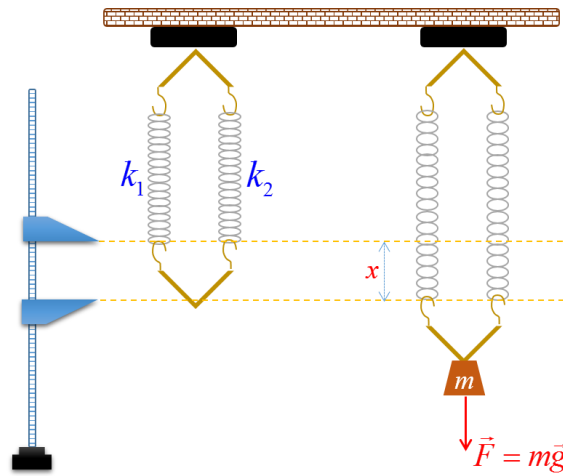
- B2.** Yayın ucuna 200 g'lık kütle asınız. Kütle-yay sisteminin denge konumunda durmasını bekleyiniz ve yaydaki uzama miktarını (x) ölçerek Tablo 6.2'ye kaydediniz.
- B3.** Yukarıdaki işlemleri ikinci yay için tekrarlayınız ve ölçüm sonuçlarınızı Tablo 6.2'ye kaydediniz.
- B4.** Birinci ve ikinci yayları seri olarak bağlayınız ve Şekil 6.10'da görüldüğü gibi yay sistemine herhangi bir kütle takmadan önce yay sisteminin serbest ucunun alt kısmını referans noktası olarak seçiniz.
- B5.** Yay sisteminin ucuna 200 g'lık kütle asınız. Kütle-yay sisteminin denge konumunda durmasını bekleyiniz ve yay sistemindeki uzama miktarını (x) ölçerek Tablo 6.2'ye kaydediniz.
- B6.** Eşitlik 6.3'ü kullanarak 200 g'lık kütle için birinci yayda, ikinci yayda ve seri bağlı yay sisteminde oluşturduğu F kuvvetlerini ayrı ayrı hesaplayarak Tablo 6.2'ye kaydediniz.
- B7.** Eşitlik 6.4'ü kullanarak birinci yay için k_1 , ikinci yay için k_2 ve seri bağlı yay sistemi için k_{es} değerlerini hesaplayarak Tablo 6.2'ye kaydediniz.
- B8.** Eşitlik 6.12'yi kullanarak eşdeğer yay sabiti değerini teorik olarak hesaplayınız ve k_{teorik} değeri olarak Tablo 6.2'ye kaydediniz.

B9. Teorik ve deneysel olarak bulduğunuz değerleri karşılaştırınız ve yorumlayınız.

B10. Aynı işlemleri yayın ucuna 100 g ve 50 g'lık kütleleri asarak tekrarlayınız ve ölçüm sonuçlarınızı Tablo 6.2'ye kaydediniz.

C. Paralel Bağlı Yay Sistemi

C1. Seri bağlı yay sisteminde kullandığınız birinci ve ikinci yaylar için ayrı ayrı k_1 ve k_2 değerlerini hesaplamıştık. Şimdi aynı yayları paralel olarak bağlayınız ve Şekil 6.11'de görüldüğü gibi yay sistemine herhangi bir kütle takmadan önce yay sisteminin serbest ucunun alt kısmını referans noktası olarak seçiniz.



Şekil 6.11. Paralel bağlı yay sistemi deney seti.

C2. Yay sisteminin ucuna 200 g'lık kütleyi asınız. Kütle-yay sisteminin denge konumunda durmasını bekleyiniz ve yay sistemindeki uzama miktarını (x) ölçerek Tablo 6.3'e kaydediniz.

C3. Eşitlik 6.3'ü kullanarak 200 g'lık kütlenin paralel bağlı yay sistemine uyguladığı kuvveti hesaplayınız ve Tablo 6.3'e kaydediniz.

C4. Eşitlik 6.4'ü kullanarak paralel bağlı yay sisteminin eşdeğer yay sabiti ($k_{eş}$) değerini hesaplayınız ve Tablo 6.3'e kaydediniz.

C5. Eşitlik 6.17'yi kullanarak paralel bağlı yay sistemi için eşdeğer yay sabiti değerini teorik olarak hesaplayınız ve k_{teorik} değeri olarak Tablo 6.3'e kaydediniz.

C6. Teorik ve deneysel olarak bulduğunuz değerleri karşılaştırınız ve yorumlayınız.

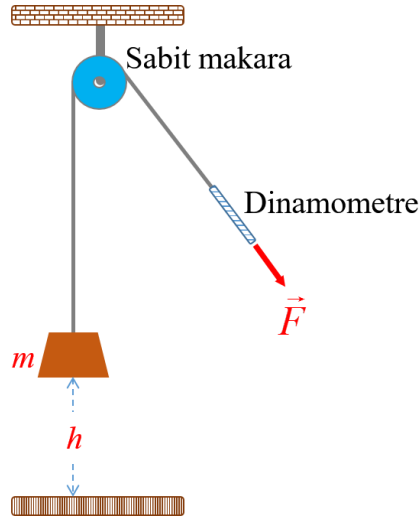
C7. Aynı işlemleri yayın ucuna 100 g ve 50 g'lık kütleleri asarak tekrarlayınız ve ölçüm sonuçlarınızı Tablo 6.3'e kaydediniz.

D. Salınım Periyodunun Bulunması

- D1.** Şekil 6.3'te görüldüğü gibi, kullanacağınız yayı düzenekte sabit bir noktaya asınız ve ucuna 200 g'lık kütleyi asarak kütle-yay sisteminin denge konumunda durmasını bekleyiniz.
- D2.** Denge konumunda bulunan kütleyi aşağıya doğru 2 veya 3 cm çekiniz ve bıraktığınız anda kronometreyi çalıştırınız.
- D3.** Kütlenin “10 tam salınım” yapması için geçen süreyi (t) kronometre yardımıyla ölçünüz.
- D4.** $T = \frac{t}{10}$ eşitliğini kullanarak *periyot* (T) değerini hesaplayınız ve Tablo 6.4'e kaydediniz.
- D5.** T^2 değerini bulunuz ve Tablo 6.4'e kaydediniz.
- D6.** Eşitlik 6.6 yardımıyla kullandığınız yayın k yay sabiti değerini hesaplayınız ve daha önce tek yay için Hooke Yasası ile bulduğunuz değer ile karşılaştırıp yorumlayınız.
- D7.** Aynı işlemleri yayın ucuna 100 g ve 50 g'lık kütleleri asarak tekrarlayınız ve ölçüm sonuçlarınızı Tablo 6.4'e kaydediniz.
- D8.** $m = f(T^2)$ grafiğini çiziniz. Grafiğin eğiminden yayın k' yay sabitini hesaplayınız ve Tablo 6.4'e kaydediniz.
- D9.** k ve k' yay sabiti değerlerini karşılaştırınız ve yorumlayınız.

E. Sabit Makara

E1. Deneyde kullanacağınız sabit makarayı düzeneğe takınız ve çevresinden bir ip geçiriniz.

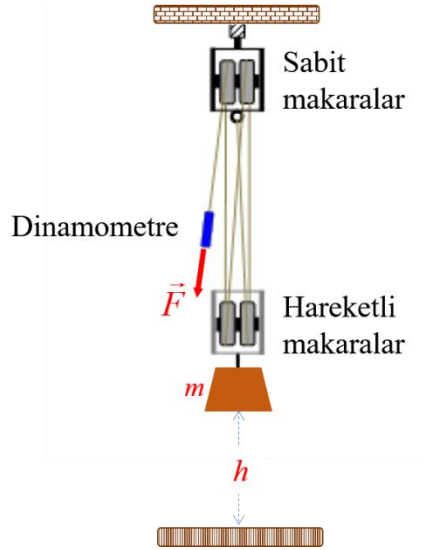


Şekil 6.12. Sabit makara deney düzeneği.

- E2. İpin bir ucuna 50 g' lık kütle, diğer ucuna ise dinamometreyi bağlayınız ve kütleyi belirli bir miktar çekerek sistemi denge konumunda tutunuz.
- E3. Sistem denge konumundayken dinamometreden F kuvvetini okuyunuz ve Tablo 6.5'e kaydediniz.
- E4. $W = mg$ eşitliği yardımıyla kütleye etki eden yerçekimi kuvvetini hesaplayınız ve Tablo 6.5'e kaydediniz.
- E5. Dinamometrenin bağlı olduğu ipi çekerek kütlenin yerden $h = 10$ cm yükselmesini sağlayınız. Kütlenin aldığı yola yani yükselme miktarına karşılık, ipin çekilme miktarını (x) cetvel ile okuyunuz, Tablo 6.5'e kaydediniz ve sonuçlarınızı yorumlayınız.
- E6. Deneyi 100 g ve 200 g'lık kütleler ile tekrarlayınız ve sonuçları Tablo 6.5'e kaydediniz.

F. Palangalar

F1. Şekil 6.13'te görülen palanga sistemini kurunuz.



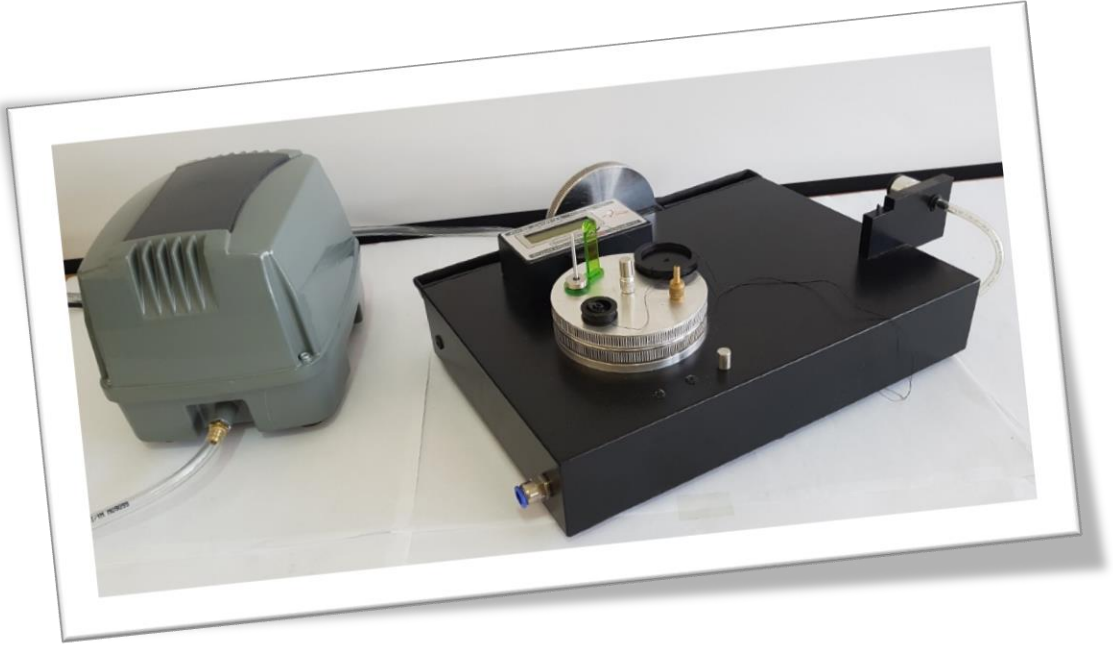
Şekil 6.13. İki sabit ve iki hareketli makaradan oluşan palanga deney seti.

- F2. Hareketli makaraların ucuna 50 g'lık kütleyi ve ipin ucuna ise dinamometreyi bağlayarak kütleyi bir miktar çekiniz ve sistemin denge konumunda durmasını sağlayınız.
- F3. Sistem denge konumunda iken dinamometre üzerinden uygulanan F çekme kuvvetinin değerini okuyunuz ve Tablo 6.6'ya kaydediniz.
- F4. $W = mg$ eşitliği yardımıyla kütleye etki eden yerçekimi kuvvetini hesaplayınız ve Tablo 6.6'ya kaydediniz.
- F5. Dinamometrenin bağlı olduğu ipi çekerek kütlenin yerden $h = 10$ cm yükselmesini sağlayınız. Kütlenin aldığı yola yani yükselme miktarına karşılık, ipin çekilme miktarını (x) cetvel ile okuyunuz, Tablo 6.6'ya kaydediniz ve sonuçlarınızı yorumlayınız.
- F6. Tüm adımları 100 g ve 200 g'lık kütleler için tekrarlayınız ve sonuçları Tablo 6.6'ya kaydediniz.

DENEY VERİLERİ:

TABLO 6.1										
m (g)		x (cm)		F (N)		k (Nm ⁻¹)		k' (Nm ⁻¹)		
TABLO 6.2										
m (g)	Birinci Yay			İkinci Yay			Seri Bağlı Yaylar			k_{teorik} (Nm ⁻¹)
	x (cm)	F (N)	k_1 (Nm ⁻¹)	x (cm)	F (N)	k_2 (Nm ⁻¹)	x (cm)	F (N)	$k_{eş}$ (Nm ⁻¹)	
TABLO 6.3 (Paralel Bağlı Yay Sistemi)										
m (g)		x (cm)		F (N)		$k_{eş}$ (Nm ⁻¹)		k_{teorik} (Nm ⁻¹)		
TABLO 6.4										
m (g)		T (s)		T^2 (s ²)		k (Nm ⁻¹)		k' (Nm ⁻¹)		
TABLO 6.5										
m (g)		F (N)		W (N)		h (cm)		x (cm)		
						10				
						10				
						10				
TABLO 6.6										
m (g)		F (N)		W (N)		h (cm)		x (cm)		
						10				
						10				
						10				

DÖNME HAREKETİ



M7

DÖNME HAREKETİ

M7

DENEYİN AMACI:

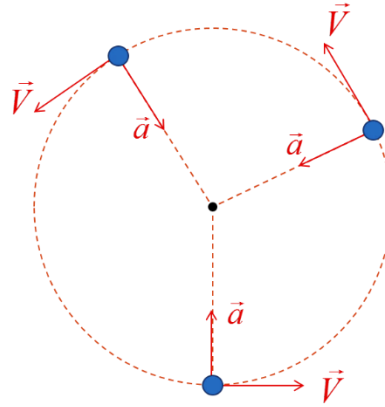
1. Açısal hız ve açısal ivme kavramlarını öğrenmek.
2. Açısal momentumun korunumunu incelemek.
3. Dönme eylemsizlik momentini bulmak.
4. Dönme kinetik enerjisini ve korunumunu incelemek.

DENEYDE KULLANILAN ARAÇLAR:

Dönme hareketi deney seti (ileriki konularda tanıtımı yapılacaktır).

TEORİK BİLGİ:

7.1. DÜZGÜN DAİRESEL HAREKET



Şekil 7.1. Düzgün dairesel hareket.

Bir daire çevresinde sabit bir çizgisel hızla dolanan bir cismin hareketine “**düzgün dairesel hareket**” denir. Şekil 7.1’de görüldüğü gibi, düzgün dairesel hareket boyunca hızın büyüklüğü sabit kalırken, yönü zamanla değiştiği için hız vektörü de zamanla değişir. Bu yüzden bu hareket sabit ivmeli bir harekettir. Düzgün dairesel harekette cismin sahip olduğu ivme “**merkezcil ivme**, $\vec{a}_r$ ” olarak bilinir ve büyüklüğü;

$$a_r = \frac{V^2}{r} \quad (7.1)$$

ile verilir. Burada V , cismin çizgisel (teğetsel) hızını ve r , dairesel yörüngenin yarıçapını gösterir. Merkezcil ivmenin yönü ise yörünge merkezine doğrudur. Bu durumda düzgün dairesel hareket “**merkezcil hareket**”tir.

Düzgün dairesel hareket yapan bir cismin daire çevresinde bir tam dolanımı (devri) için geçen süreye “periyot, T ” denir ve ifade olarak;

$$T = \frac{2\pi r}{v} \quad (7.2)$$

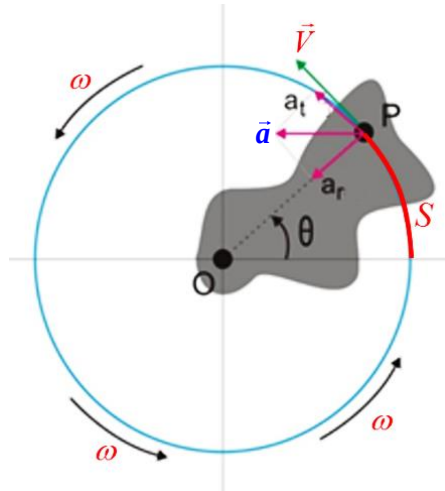
ile verilir. Cismin birim zamanda yaptığı devir sayısı ise “frekans, f ” olarak adlandırılır ve periyodun tersi frekansı verir.

$$f = \frac{1}{T} \quad (7.3)$$

Periyodun birimi saniye (s) ve frekansın birimi s^{-1} ’ dir. $1 s^{-1}=1$ Hertz (Hz) olarak bilinir.

7.2. AÇISAL YERDEĞİŞTİRME, AÇISAL HIZ VE AÇISAL İVME

Uzayda belirli bir hacim kaplayan, şekil değiştirmeyen ve çok sayıda parçacıktan oluşan cisimlere “***katı cisim***” denir. Tekerlek, disk, dünya gibi cisimler katı cisimlere örnek olarak verilebilir. Bir katı cisim döndüğünde, her noktası aynı açı ile döner.

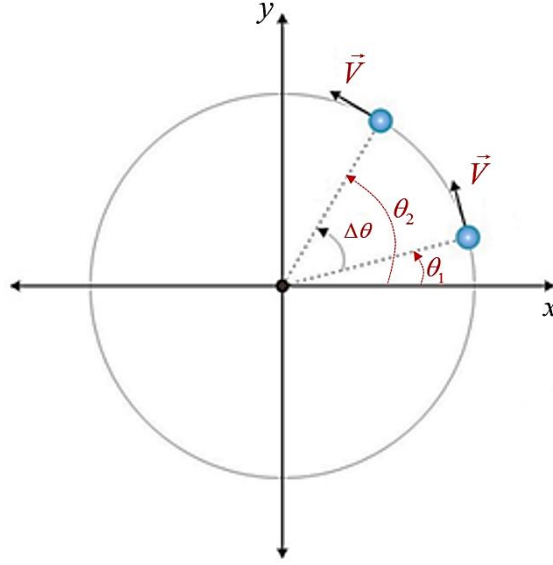


Şekil 7.2. Açısal yerdeğiştirme.

Şekil 7.2’de görüldüğü gibi, katı cismin r yarıçaplı dairesel bir yörüngede dönen P noktasının aldığı yol, yay uzunluğu S kadardır. P noktası S kadar yol aldığı anda, θ açısı kadar yerdeğiştirir:

$$\theta = \frac{S}{r} \quad (7.4)$$

Bu θ açısına “***açısal yerdeğiştirme***” adı verilir ve birimi *radyan* (rad) olarak alınır.



Şekil 7.3. P noktasının t_1 ve t_2 anlarında açısal yerdeğiştirmeleri.

Şekil 7.3'te görüldüğü gibi, P noktasının t_1 anındaki açısal yerdeğiştirmesi θ_1 ve t_2 anındaki açısal yerdeğiştirmesi θ_2 ise, Δt zaman aralığında açısal olarak konum değişikliği ($\Delta\theta$) “*Ortalama Açısal Hızı*” verir:

$$\omega_{ort} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{t_2 - t_1} \quad (7.5)$$

Herhangi bir t anındaki açısal hıza ise “*anlık açısal hız*” denir ve açısal yerdeğiştirmenin zamana göre birinci türevi alınarak bulunur:

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt} \quad (7.6)$$

Açısal hızın birimi rads^{-1} ’ dir.

Açısal hız sabit olmayıp zamanla değişirse, P noktası açısal ivmeli olarak dönme hareketi yapar. Δt zaman aralığında açısal hızdaki değişim ($\Delta\omega$) “*ortalama açısal ivme*” olarak bilinir ve

$$\alpha_{ort} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} \quad (7.7)$$

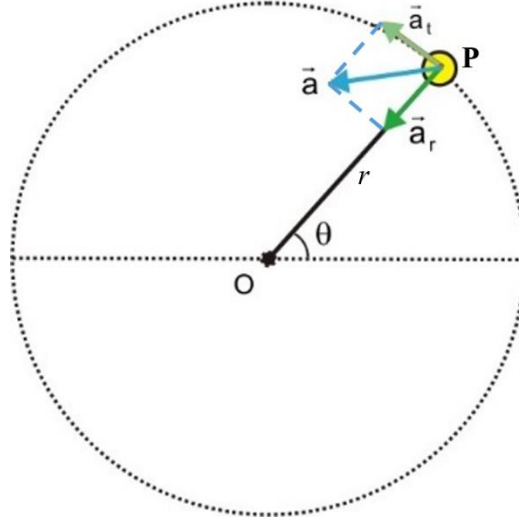
şeklinde tanımlanır. Burada ω_1 , P noktasının t_1 anındaki açısal hızını ve ω_2 , P noktasının t_2 anındaki açısal hızını gösterir. Herhangi bir t anındaki açısal ivmeye ise “*anlık açısal ivme*” adı verilir. Açısal hızın zamana göre birinci türevi ya da açısal yerdeğiştirmenin zamana göre ikinci türevi anlık açısal ivmeyi verir:

$$\alpha = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (7.8)$$

Açısal ivmenin birimi rads^{-2} dir. Bir katı cisim döndüğünde her noktasında açısal hız ve açısal ivme aynı değere sahiptir. Dönen katı cisim üzerindeki P noktasının açısal ve çizgisel hızları arasındaki ilişki;

$$V = r\omega \quad (7.9)$$

ile verilir.



Şekil 7.4. Teğetsel ve merkezci ivmeler.

Şekil 7.4’te görüldüğü gibi, dairesel hareket yapan bir cismin P noktasının ivmesi ($\vec{a}$), teğetsel ($\vec{a}_t$) ve merkezci ($\vec{a}_r$) ivmelerinin bileşkesidir. Teğetsel ivmenin büyüklüğü (a_t);

$$a_t = r\alpha \quad (7.10)$$

merkezci ivmenin büyüklüğü ise (a_r);

$$a_r = \frac{V^2}{r} = r\omega^2 \quad (7.11)$$

ile verilir. Teğetsel ivme her zaman yörüngeye teğet iken, merkezci ivmenin yönü daima yörüngenin merkezine doğrudur. Eşitlik 7.9-7.11 katı cismin dönme hareketi ile cismin herhangi bir noktasının çizgisel hareketi arasındaki ilişkiyi verir.

7.3. DÖNME KİNETİK ENERJİSİ

Dönme hareketi yapan bir cisim kinetik enerjiye sahiptir. Dönen katı cismin her noktasının çizgisel hızı farklıdır, ancak açısal hız her noktada aynıdır. Bu yüzden dönme kinetik enerjisi çizgisel hıza göre değil de açısal hıza bağlı olarak ifade edilir.

Bir katı cismin N sayıda noktasal parçacıktan oluştuğunu düşünürsek; katı cismin kinetik enerjisi, bu noktasal cisimlerin kinetik enerjilerinin toplamına eşit olur:

$$K = \frac{1}{2} m_1 V_1^2 + \frac{1}{2} m_2 V_2^2 + \dots + \frac{1}{2} m_N V_N^2 \quad (7.12)$$

Eşitlik 7.9 kullanılarak, kinetik enerji ifadesi;

$$K = \frac{1}{2} m_1 (r_1 \omega)^2 + \frac{1}{2} m_2 (r_2 \omega)^2 + \dots + \frac{1}{2} m_N (r_N \omega)^2 \quad (7.13)$$

$$K = \frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^N m_i r_i^2 \right) \omega^2 \quad (7.14)$$

şeklinde elde edilir. Eşitlik 7.14'te parantez içindeki ifade cismi oluşturan her bir parçacığın kütlesi ile dönme noktasına olan dik uzaklıklarının karesinin çarpımıdır. Bu ifade “**eylemsizlik momenti**” olarak bilinir ve I ile gösterilir. Eylemsizlik momenti, cismin dönme hareketine olan direncinin bir ölçüsüdür. Bir cismin eylemsizlik momenti cismin şekline, kütlelerinin dağılımına ve dönme eksenine bağlıdır. Eylemsizlik momentinin SI sisteminde birimi kgm^2 ’ dir. Bu durumda cismin dönme kinetik enerjisi eylemsizlik momentine bağlı olarak;

$$K = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (7.15)$$

şeklinde elde edilir.

7.4. TORK

Dönmeyi oluşturan fiziksel büyüklüğe ya da kuvvetin döndürme etkisine “**tork**” adı verilir. Bir cisme uygulanan kuvvet ile kuvvetin uygulandığı noktanın dönme eksenine olan uzaklığına bağlı olarak tork;

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} \quad (7.16)$$

şeklinde tanımlanır. Eşitlik 7.16’da görüldüğü gibi, tork vektörel bir niceliktir ve her kuvvet döndürme etkisi yaratmaz. Tork oluşabilmesi için, kuvvetin uygulandığı noktanın dönme eksenine dik uzaklığının olması gerekir. Torkun SI sisteminde birimi Nm ’ dir.

Torkun büyüklüğü eylemsizlik momenti (I) ve açısal ivmeye (α) bağlı olarak;

$$\tau = I \alpha \quad (7.17)$$

şeklinde ifade edilir. Bu eşitlik katı cismin “**dönme hareket denklemi**” olarak bilinir. Öteleme hareketinde $F = ma$ olarak bilinen Newton’un II. Hareket Yasasının dönme hareketinde karşılığı $\tau = I \alpha$ ’dır.

7.5. AÇISAL MOMENTUM

Dönme hareketinde, doğrusal hareketteki çizgisel momentuma karşılık gelen fiziksel büyüklük açısal momentumdur. Kütlesi m , konum vektörü $\vec{r}$ ve çizgisel momentum vektörü $\vec{P}$ olan bir cismin açısal momentum vektörü ($\vec{L}$);

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{P} \quad (7.18)$$

ile verilir. Açısal momentumun SI sisteminde birimi $\text{kgm}^2\text{s}^{-1}$ ’ dir.

Tork ($\vec{\tau}$) ve açısal momentum ($\vec{L}$) vektörleri arasındaki ilişki;

$$\vec{\tau} = \frac{d\vec{L}}{dt} \quad (7.19)$$

ile verilir ve bu ifade Newton’un II. Hareket Yasasının dönme hareketindeki diğer bir karşılığıdır. Eşitlik 7.19’a göre, cismin açısal momentumunun değişim hızı veya açısal momentumun zamana göre birinci türevi torku verir. Katı cisim üzerine etkiyen dış kuvvetlerin net torku sıfır ise açısal momentum sabit kalır. Bu ifade “***açısal momentumun korunumu yasası***” olarak bilinir, eğer $\vec{\tau} = \vec{0}$ ise;

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = 0 \text{ ve } \vec{L} = \text{sabit (Açısal Momentumun Korunumu)} \quad (7.20)$$

Katı cismin açısal momentumunun büyüklüğü eylemsizlik momenti (I) ve açısal hız (ω) cinsinden;

$$L = I\omega \quad (7.21)$$

şeklinde ifade edilebilir. Açısal momentumun korunabilmesi için eylemsizlik momenti ile açısal hızın çarpımının sabit kalması gerekir. Örneğin, cismin eylemsizlik momenti artarsa açısal momentumu korumak için açısal hızı azalır.

DENEYİN YAPILIŞI:



Deneye başlamadan önce alt ve üst diskler ile yüzey diskin iyice silinerek her türlü kir ve toz taneciğinden temizlenmesi gerekmektedir. Aksi takdirde hataya sebep olur.

A. Deney Setinin Tanıtımı



Şekil 7.5. Dönme hareketi deney seti.



Şekil 7.6. Diskler ve tıplar.



Şekil 7.7. Kütleler ve tork makaraları.

Şekil 7.5’te görülen deneydeki malzemeler numaralarına göre aşağıda listelenmiştir:

1. Alt diskin hareketini belirleyen metal tıpadır (uzun tıpa). Şekil 7.5’te 5 nolu deliğe takıldığında alttaki disk hareket eder, takılmazsa alt disk sabit kalır.

2. Üstteki diskin hareketini belirleyen tıpadır. Üstteki diskin, alt diskten bağımsız ya da alt diskle beraber hareket edebilmesini sağlar. Üst diskin alt diskten bağımsız hareket edebilmesi için üst diske kısa tıpa takılır ve bu tıpanın üstüne de Şekil 7.5'teki 2 nolu tıpa yerleştirilir.
3. Üst diskin alt diskten bağımsız hareket edebilmesi istendiğinde üst diske takılan tıpadır.
4. Pulse Counter (darbe sayıcı); 1 saniyede sensörün önünden geçen bar sayısını 2 s süreyle ekranda gösterir. Üzerindeki anahtar yukarı konumdayken üst sensörden 1 saniyede geçen bar sayısını, aşağı konumdayken alt sensörden 1 saniyede geçen bar sayısını ekranda gösterir. Sensörler “9” numaralı disk yüzeyine bakan kısımdadır.
5. Şekil 7.5'te “1” nolu tıpanın takıldığı yerdir.
6. Şekil 7.5'te “2” nolu tıpanın kaybolmaması için takıldığı yerdir.
7. Şekil 7.5'te “3” nolu ve Şekil 7.6'da “6” nolu tıparın kaybolmaması için takıldığı yerdir.
8. Kompresör (hava) hortumunun bağlanacağı yerdir. Plastik hortum içeri doğru itilerek takılır. Hortum çıkarılırken bağlantı yerinde görülen mavi parça bastırılarak hortum çekilir.
9. Alt diskin üzerinde hareket ettiği sabit disk yüzeyidir.
10. Kompresörden gelen havanın alt ve üst diske ulaşmasını sağlayan, üzerinde küçük delikler olan parçadır.
11. Sisteme tork makaraları takıldığında kütlenin bağlı olduğu ipin geçeceği, sürtünmenin kompresörden gelen hava ile azaltıldığı ve üzerinde ipin oturacağı bir yuva bulunan makaradır.

Şekil 7.6'da görülen diskler ve tıpar numaralarına göre aşağıda listelenmiştir:

1. Kütlesi 1.35 kg, yarıçapı 6.3 cm ve yanlarında 200 adet bar bulunan paslanmaz çelikten yapılmış alt disk. Diskin Şekil 7.6'da görülen yüzü yukarı gelecek şekilde Şekil 7.5'teki 9 nolu disk yüzeyine takılır.
2. Kütlesi 1.35 kg, yarıçapı 6.3 cm ve yanlarında 200 adet bar bulunan paslanmaz çelikten yapılmış alt diskin üzerine takılan üst disk. Diskin Şekil 7.6'da görülen yüzü aşağıya bakacak şekilde yerleştirilir. Küçük yarıçaplı delik vida adımlıdır ve üzerine vidalı tıpar takılabilir. Hava basıncının etkisiyle tıpanın hareket etmesi engellenir. Tıpa takıldığı zaman tıpanın çok fazla sıkılarak diski havalandırmamasına dikkat edilmelidir.
3. Kütlesi 470 g, yarıçapı 6.3 cm, küçük çaplı delik vida adımlı ve yanlarında 200 adet bar bulunan alüminyumdan yapılmış üst disk.
4. Ortası delik olan “6” numaralı tıpanın açılmasını ve kapatılmasını sağlayan tıpadır.

5. Alta konulan diskin hareketini belirleyen metal tıpadır. Şekil 7.5'te 5 nolu deliğe takıldığında alttaki disk hareket eder, takılmazsa alt disk sabit kalır.
6. Ortası delik, dışı vida adımlı 1, 2 ve 3 nolu disklerle takılabilen bir vidadır. Üst diskin alt diskle beraber ya da bağımsız hareket etmesini sağlar. Vidanın ortasındaki delik 4 nolu tıpa ile kapatılırsa üst disk alt diskten bağımsız hareket eder; açık ise üst disk alt disk ile beraber hareket eder.
7. 6 nolu vidanın ortası kapalı halidir. Sadece iki diskin bağımsız hareket etmesi istenildiğinde kullanılır.

Şekil 7.7'de görülen kütleler ve tork makaraları numaralarına göre aşağıda listelenmiştir:

1. Üst diskin üzerine Şekil 7.7'de görülen yüzü yukarı gelecek şekilde Şekil 7.6'daki 6 nolu tıpa yardımıyla takılan tork makarasıdır. Tıpa takılırken kütlenin bağlı olduğu ipin ucundaki siyah halka geçirilerek monte edilir. Makara üzerinde görülen kesik yerden ipin ucu geçirilir. Yarıçapı 2.5 cm'dir.
2. 1 nolu makara ile aynı amaçla kullanılır, sadece yarıçapları farklıdır.
3. Kütlesi 5 g olup, Şekil 7.7'de görülen mavi renkli kütle takma aparatına takılır.
4. Kütlesi 10 g olup, Şekil 7.7'de görülen mavi renkli kütle takma aparatına takılır.
5. Kütlesi 20 g olup, Şekil 7.7'de görülen mavi renkli kütle takma aparatına takılır.
6. Kütlelerin takılabilmesi için bir ucunda 5 g'lık kütleyle sahip mavi bir aparat vardır. Diğer ucu ise tork makarasına monte edilebilmesi için siyah bir halkaya sahiptir. 6 nolu tıpa yardımıyla monte edilebilir.

Disklerin 4 farklı şekilde hareketi sağlanabilir:

1. **Alt ve üst disk beraber hareketli:** Üst disk, alt diskin üzerine yerleştirilir. Şekil 7.5'teki 1 nolu tıpa 5 nolu deliğe takılır ve üst diske Şekil 7.6'da görülen 6 nolu tıpa ortası açık şekilde monte edilir.
2. **Alt disk sabit, üst disk hareketli:** Şekil 7.5'teki 5 nolu delik açık tutulur, Şekil 7.6'daki 6 nolu tıpanın ortasına 4 nolu tıpa takılarak ikisi beraber üst diske yerleştirilir ya da sadece 7 nolu tıpa kullanılarak bu işlem yapılır.
3. **Alt ve üst diskler birbirinden bağımsız hareketli:** Şekil 7.5'teki 5 nolu delik kapatılır, Şekil 7.6'daki 6 nolu tıpanın ortasına 4 nolu tıpa takılarak ikisi beraber üst diske yerleştirilir ya da sadece 7 nolu tıpa kullanılarak bu işlem yapılır.
4. **Alt ve üst diskler sabit:** Şekil 7.5'teki 5 nolu delik açık tutulur ve Şekil 7.6'daki 6 nolu tıpa ortası açık olarak üst diske takılır.

B. Açısal Hızın Ölçülmesi

- B1.** Başlangıçta beyaz vida üzerine kısa tıpayı yerleştirerek uzun tıpayı yerinden çıkarınız. Böylece alt disk sabit üst disk hareketli duruma getirilir.
- B2.** Kompresör bağlantısını yapınız ve çalıştırınız.
- B3.** Üst disk elinizle sabit olarak tutunuz. Dijital göstergenin sıfır göstermesini bekleyiniz (Upper Disc).
- B4.** Elinizle bir seferlik kuvvet uygulayarak üst diskin dönmesini sağlayınız.
- B5.** Arka arkaya okunan bar sayısı β verilerini Tablo 7.1'e kaydediniz. Bu işlemi farklı kuvvetlerde 3 kez tekrarlayınız.
- B6.** Okuduğunuz değerler 1 saniyede sensörlerin önünden geçen bar sayısıdır. Bu bilgiyi kullanarak diskin açısal hızını; $\omega = \left(\frac{\pi}{100}\right) \times \beta$ ifadesinden bulunuz ve Tablo 7.1'e kaydediniz.

$$Açıl Değeri (^{\circ}) = \frac{360}{200} \beta$$

$$Açıl Değeri (rad) = Açıl Değeri (^{\circ}) \times \frac{2\pi}{360}$$

Bu açı değeri 1s ye bölündüğünde açısal hız elde edilir:

$$\omega = \frac{Açıl Değeri (rad)}{1s} = \frac{\pi}{100} \beta$$

C. Dönme Eylemsizlik Momentinin Bulunması

- C1.** Alt disk sabit, üst disk (alüminyum) hareketli olacak şekilde sistemi kurunuz.
- C2.** Üst diske küçük yarıçaplı tork makarasını ve kütlenin bağlı olduğu ipin ucundaki halkayı monte ediniz. İpi, tork makarası üzerindeki çentikten geçiriniz.
- C3.** Kütlenin ipini Şekil 7.5'te görülen 11 nolu makaradaki yarıktan geçirerek aşağı sarkıtınız.
- C4.** Kütle takma aparatına 10 g' lık kütleyi takınız.
- C5.** Kompresör bağlantısını yapınız ve çalıştırınız.
- C6.** Diski saat yönünde çevirerek tork makarasına ipi sarınız ve kütleyi 11 nolu makaraya kadar çıkarınız.
- C7.** Üst disk elinizle sabit olarak tutunuz. Dijital göstergenin sıfır göstermesini bekleyiniz.
- C8.** Dijital göstergenin sıfır gösterdiğini gördükten sonra sistemi serbest bırakınız.
- C9.** Kütle aparatı iniş hareketini tamamlayana kadar sensörden okunan bar sayısı değerlerini Tablo 7.2'ye kaydediniz (En az 3 değer okuduğunuzdan emin olunuz).

- C10.** Okunan değerleri kullanarak $\omega = \left(\frac{\pi}{100}\right) \times \beta$ ifadesinden her veri için açısal hızları hesaplayınız ve Tablo 7.2'ye kaydediniz.
- C11.** Ölçüm sayısı maksimum olan duruma ait açısal hızın zamana göre değişim grafiğini çizin.
- C12.** Çizilen grafiğin eğiminden açısal ivmeyi (α) bulunuz.
- C13.** Eşitlik 7.16' yı kullanarak torku hesaplayınız ve Tablo 7.3'e kaydediniz. Bu denklemde kuvvet (F) asılan yükün ağırlığı, kuvvet kolu (r) ise tork makarasının yarıçapıdır. Bu iki vektörün arasındaki açı 90° dir.
- C14.** Hesaplanan tork değerini ve grafiğin eğiminden bulunan açısal ivmeyi kullanarak Eşitlik 7.17'den dönme eylemsizlik momentini bulunuz. Bu değeri Tablo 7.3'de $I_{deneyse}$ kısmına yazınız.
- C15.** Diskin eylemsizlik momentini teorik olarak;
- $$I_{teorik} = \frac{1}{2} MR^2$$
- ifadesinden hesaplayınız ve Tablo 7.3'e kaydediniz. Bu eşitlikte “ M ” hareketli olan üst diskin kütlesi, “ R ” ise üst diskin yarıçapıdır.
- C16.** Elde edilen teorik ve deneysel eylemsizlik momentlerini karşılaştırınız.
- C17.** Aynı işlemleri büyük tork makarasıyla tekrarlayınız.
- C18.** Deneyi çelik disk için tekrarlayınız.

D. Açısal Momentumun Korunumu

- D1.** Alt disk ve üst disk bağımsız hareketli olacak şekilde iki paslanmaz çelik diski yerleştiriniz. Üst diskte beyaz vida ve kısa tıpayı kullanınız. Uzun tıpayı da yerine yerleştiriniz.
- D2.** Üst diski çeviriniz. Bu durumda alt diskin sabit kalmasına dikkat ediniz.
- D3.** Tıpa kapalıyken sensörün okuduğu (Upper Disc) bar sayısını (β_i) Tablo 7.4'e kaydediniz. Bu değeri kullanarak $\omega = \left(\frac{\pi}{100}\right) \times \beta$ ifadesinden üst diskin açısal hızını (ω_i) hesaplayınız ve Tablo 7.4'e kaydediniz.
- D4.** Üst diskin hareketi devam ederken beyaz vida üzerindeki kısa tıpayı çıkararak iki diskin beraber hareket etmesini sağlayınız ve sensörlerin okuduğu ilk eşit bar sayısını (β_s) Tablo 7.4'e kaydediniz (Upper Disc veya Lower Disc). Bu değeri kullanarak $\omega = \left(\frac{\pi}{100}\right) \times \beta$ ifadesinden üst diskin açısal hızını (ω_s) hesaplayınız ve Tablo 7.4'e kaydediniz.

D5. Eşitlik 7.21'den faydalanarak ilk ve son açısal momentumları (L_i ve L_s) hesaplayınız.

Değerleri Tablo 7.4'e kaydediniz ve sonuçları yorumlayınız. Üst diskin ilk açısal momentumu (L_i) hesaplanırken kullanılan eylemsizlik momentindeki “ M ” üst diskin kütlesidir. Fakat son açısal momentum (L_s) hesaplanırken alt ve üst disk beraber döndüğü için kullanılan eylemsizlik momentindeki “ M ”, alt ve üst diskin toplam kütlesi olarak alınmalıdır.

D6. Aynı işlemleri üst disk alüminyum iken tekrarlayınız.

E. Kinetik Enerjinin ve Potansiyel Enerjilerin Hesaplanması

E1. Alt disk sabit üst disk hareketli olacak şekilde alüminyum diskleri yerleştiriniz.

E2. Üst diske küçük yarıçaplı tork makarasını ve kütlenin bağlı olduğu ipin ucundaki halkayı monte ediniz. İpi, tork makarası üzerindeki çentikten geçiriniz.

E3. Kütle takma aparatına 10 g'lık kütleyi takınız.

E4. Kütle ipini Şekil 7.5'teki 11 nolu makaranın oyuk kısmından geçirerek serbest bırakınız.

E5. Kütle ipini, diski saat yönünde çevirerek tork makarasına sarınız.

E6. Dijital ekranda “sıfır” görene kadar bekleyiniz, üst diski serbest bırakınız ve ilk okuduğunuz bar sayısını (β) Tablo 7.5'e kaydediniz.

E7. Bu değeri kullanarak $\omega = \left(\frac{\pi}{100}\right) \times \beta$ ifadesinden bulacağınız açısal hız değerini ω_0 olarak Tablo 7.5'e kaydediniz.

E8. α açısal ivme değerini;

$$\tau = I\alpha = mgr$$

ifadesinden bulunuz. Burada bahsedilen I eylemsizlik moment, deneyin II. kısmında çelik ve alüminyum diskler için hesapladığınız üst diskin eylemsizlik momentidir.

E9. $\omega = \omega_0 + \alpha t$ ifadesini kullanarak istenilen t anı için ω açısal hız değerini hesaplayınız ve Tablo 7.5'e kaydediniz.

E10. Çizgisel hız değerini;

$$V = \omega r$$

ifadesinden hesaplayınız ve Tablo 7.5'e kaydediniz. Burada r , tork makarasının yarıçapıdır.

E11. Kütlenin ilk başta sahip olduğu potansiyel enerji değerini;

$$U = mgh = mg \left(\frac{\beta}{200} 2\pi r \right)$$

ifadesini kullanarak bulunuz ve Tablo 7.5'e kaydediniz.

E12. Kütlenin 1 s sonunda sahip olduğu kinetik enerji değerini;

$$K = \frac{1}{2}mV^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$$

ifadesini kullanarak bulunuz ve Tablo 7.5'e kaydediniz.

E13. Potansiyel ve kinetik enerjileri karşılaştırınız ve yorumlayınız.

E14. Aynı işlemleri büyük tork makarasıyla tekrarlayınız.

E15. Deneyi çelik üst diski kullanarak büyük ve küçük tork makaralarıyla tekrarlayınız.

DENEY VERİLERİ:

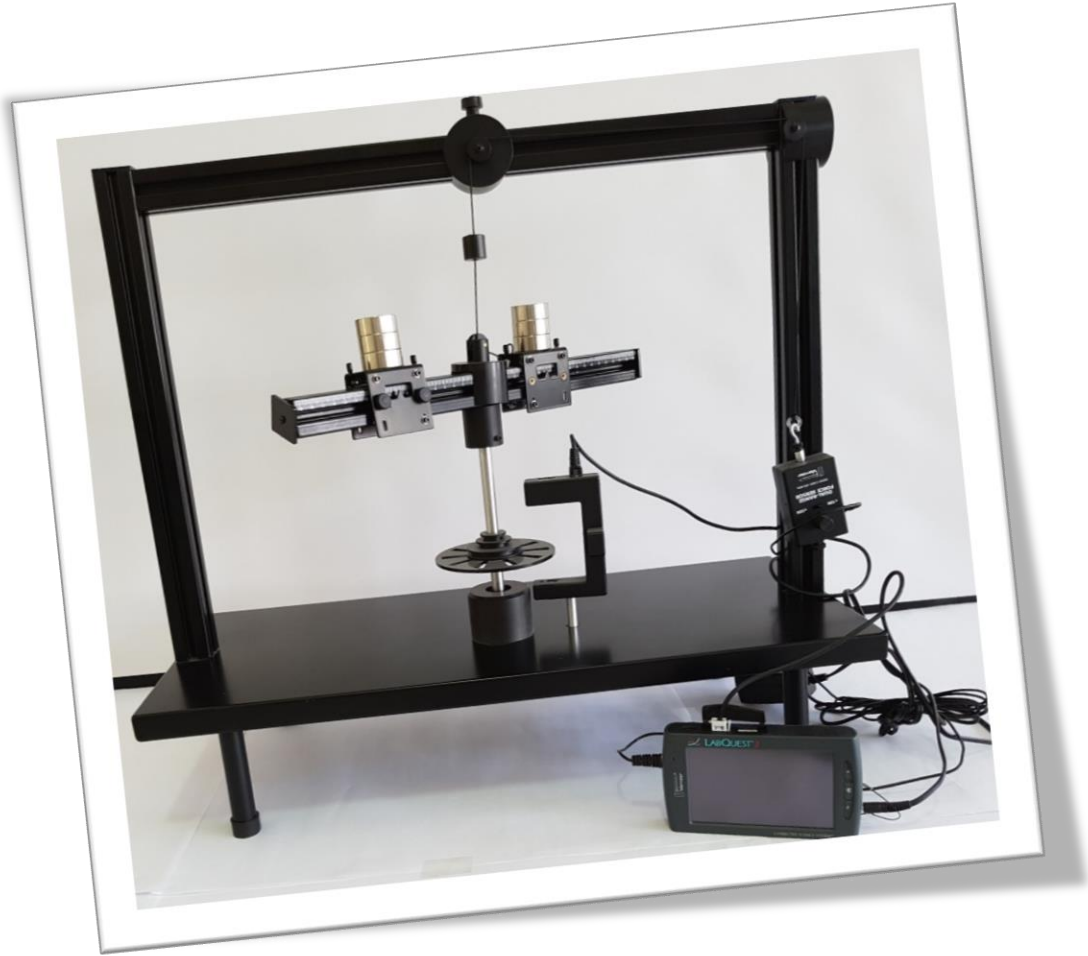
TABLO 7.1								
Bar Sayısı (β)					ω (rads ⁻¹)			
TABLO 7.2								
t (s)	Bar Sayısı (β)				ω (rad.s ⁻¹)			
	Alüminyum		Çelik		Alüminyum		Çelik	
	Disk ($r = 6.3$ cm)		Disk ($r = 6.3$ cm)		Disk ($r = 6.3$ cm)		Disk ($r = 6.3$ cm)	
	Tork Mak. ($r=1.3$ cm)	Tork Mak. ($r=2.5$ cm)	Tork Mak. ($r=1.3$ cm)	Tork Mak. ($r=2.5$ cm)	Tork Mak. ($r=1.3$ cm)	Tork Mak. ($r=2.5$ cm)	Tork Mak. ($r=1.3$ cm)	Tork Mak. ($r=2.5$ cm)
2								
4								
6								
8								
10								
I_{teorik}					$I_{deneysel}$			

Tablo 7.3				
NİCELİKLER	Alüminyum Disk ($r = 6.3$ cm)		Çelik Disk ($r = 6.3$ cm)	
	Tork Makarası ($r = 1.3$ cm)	Tork Makarası ($r = 2.5$ cm)	Tork Makarası ($r = 1.3$ cm)	Tork Makarası ($r = 2.5$ cm)
α (rads ⁻²)				
τ (Nm)				
$I_{deneysel}$ (kgm ²)				
I_{teorik} (kgm ²)				

TABLO 7.4						
Üst Disk	β_i	ω_i (rads ⁻¹)	L_i (kgm ² s ⁻¹)	β_s	ω_s (rads ⁻¹)	L_s (kgm ² s ⁻¹)
Çelik ($r = 6.3$ cm)						
Alüminyum ($r = 6.3$ cm)						

TABLO 7.5							
Üst Disk	β	ω_0 (rads ⁻¹)	α (rads ⁻²)	ω (rads ⁻¹)	V (ms ⁻¹)	U (J)	K (J)
Alüminyum ($r = 6.3$ cm)							
Alüminyum ($r = 6.3$ cm)							
Çelik ($r = 6.3$ cm)							
Çelik ($r = 6.3$ cm)							

MERKEZCİL KUVVET



M8

MERKEZCİL KUVVET



DENEYİN AMACI:

Dairesel hareket yapan bir cisme etki eden merkezci kuvvetin; cismin hızı, kütlesi ve yörünge yarıçapına göre değişimini incelemek.

DENEYDE KULLANILAN ARAÇLAR:

Merkezcil kuvvet deney düzeneği

Kütle takımı

Vernier-LabQuest-2 ölçüm cihazı

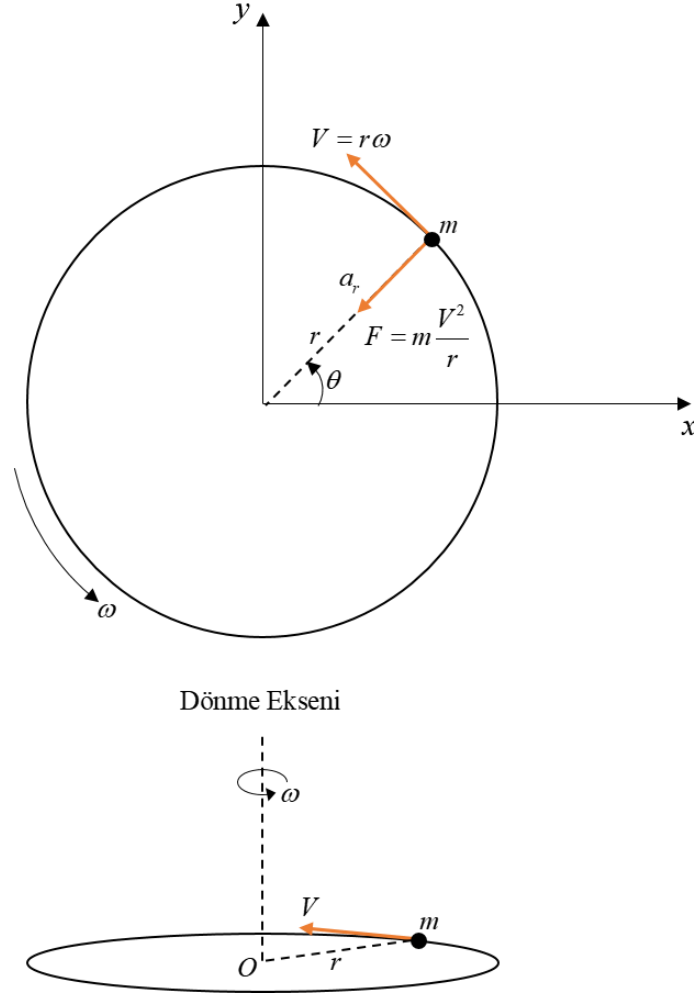
TEORİK BİLGİ:

8.1. DÖNME HAREKETİ

Şekil 8.1’de görüldüğü gibi, kütlesi m olan bir cisim r yarıçaplı dairese bir yörüngede büyüklüğü sabit bir çizgisel hızla ($\vec{V}$) hareket ettiğinde, bu cisim hareketi boyunca dairenin merkezine doğru yönelmiş bir ivmeye ($\vec{a}_r$) sahip olur. Bu ivmeye “**merkezcil ivme**” denir ve büyüklüğü;

$$a_r = \frac{V^2}{r} \quad (8.1)$$

eşitliği ile verilir. Burada V , cismin dairese yörüngeye teğet olan çizgisel hızı ve r , cismin merkeze olan uzaklığıdır.



Şekil 8.1. Dairesel hareket yapan bir cisme etki eden merkezci kuvvetin büyüklüğü ve yönü.

Dairesel harekette m kütleli cisme etki eden net kuvvet Newton'un II. Hareket Yasasına göre;

$$F_r = m \frac{V^2}{r} \quad (8.2)$$

şeklinde ifade edilir. Bu kuvvete “**merkezcil kuvvet**” adı verilir. Merkezcil kuvvetin yönü merkezcil ivme ile aynı yöndedir yani dairenin merkezine doğrudur. Bu durum, dairesel hareket yapan bir cismin merkezcil kuvvetin etkisi altında olduğunu gösterir. Merkezcil kuvvet, bir cismi yörünge yarıçapı sabit olan dairesel bir yörüngede hareket etmeye zorlar. Eğer cismin üzerine etki eden merkezcil kuvvet ortadan kalkarsa, bu cisim doğal olarak dairesel hareketini sürdüremez.

Eşitlik 8.2 cisme etki eden merkezcil kuvvetin cismin çizgisel hızına oranına göre yeniden düzenlenirse;

$$\frac{F_r}{V^2} = \frac{m}{r} \quad (8.3)$$

ifadesine ulaşılır. Eşitlik 8.3'e göre, kütlelin yörünge yarıçapına oranı (m/r) sabit tutulursa, dairesel harekette merkezci kuvvetin (F_r) çizgisel hızın karesine (V^2) göre değişimi “doğrusal bir fonksiyonu” gösterir. Yani $F_r = f(V^2)$ grafiğı çizildiğinde bir doğru elde edilir ve bu doğrunun eğimi, dairesel hareket yapan bir cismin kütlelinin dairesel yörünge nin yarıçapına oranını (m/r) verir.

Dairesel hareket yapan m kütleli cismin çizgisel hızının büyüklüğü zamanla değişirse, cisim merkezci ivmenin (a_r) yanında çizgisel ivmeye (a_t) de sahip olur. Çizgisel ivme (a_t) ve çizgisel hızın (V) , açısal ivme (α) ve açısal hıza (ω) bağılı ifadeleri;

$$a = r\alpha \quad (8.4)$$

$$V = r\omega \quad (8.5)$$

şeklindedir.

Bir cisim kütleli ihmal edilen bir ipin ucuna bağılanıp dairesel olarak döndürüldüğünde, cismin üzerine etki eden merkezci kuvvet cismin açısal hızına bağılı olarak da ifade edilebilir. Eşitlik 8.5, Eşitlik 8.2'de yerine konulursa;

$$F_r = m \frac{(r\omega)^2}{r} = mr\omega^2 = ma_r \quad (8.6)$$

ifadesi elde edilir. Bu bağıntıya göre merkezci ivmenin büyüklüğü;

$$a_r = r\omega^2 \quad (8.7)$$

olur. Bir ipin ucuna bağılanarak dairesel hareket yapan cisim probleminde, cisme etki eden merkezci kuvvet ipteki gerilme kuvvetine (T) eşittir.

$$T = F_r = m \frac{V^2}{r} = mr\omega^2 = ma_r \quad (8.8)$$

Bu ifadeden görüldüğü gibi, merkezci kuvvet; dairesel hareket yapan cismin kütleline, hızına ve yörünge yarıçapına bağılıdır.

Cisim $t = 0$ başlangıç anında ω_0 açısal hızı (veya V_0 çizgisel hızı) ile harekete başlar ve sabit bir açısal ivme ile dairesel hareket yaparsa, bu cismin herhangi bir t anındaki açısal hızı (ω) ;

$$\omega = \omega_0 + \alpha t \quad (8.9)$$

şeklinde ifade edilir. Cismin başlangıçtaki açısal hızı sıfır $(\omega_0 = 0)$ ise açısal hız ifadesi;

$$\omega = \alpha t \quad (8.10)$$

olarak elde edilir. Benzer şekilde cismin çizgisel hızı (V);

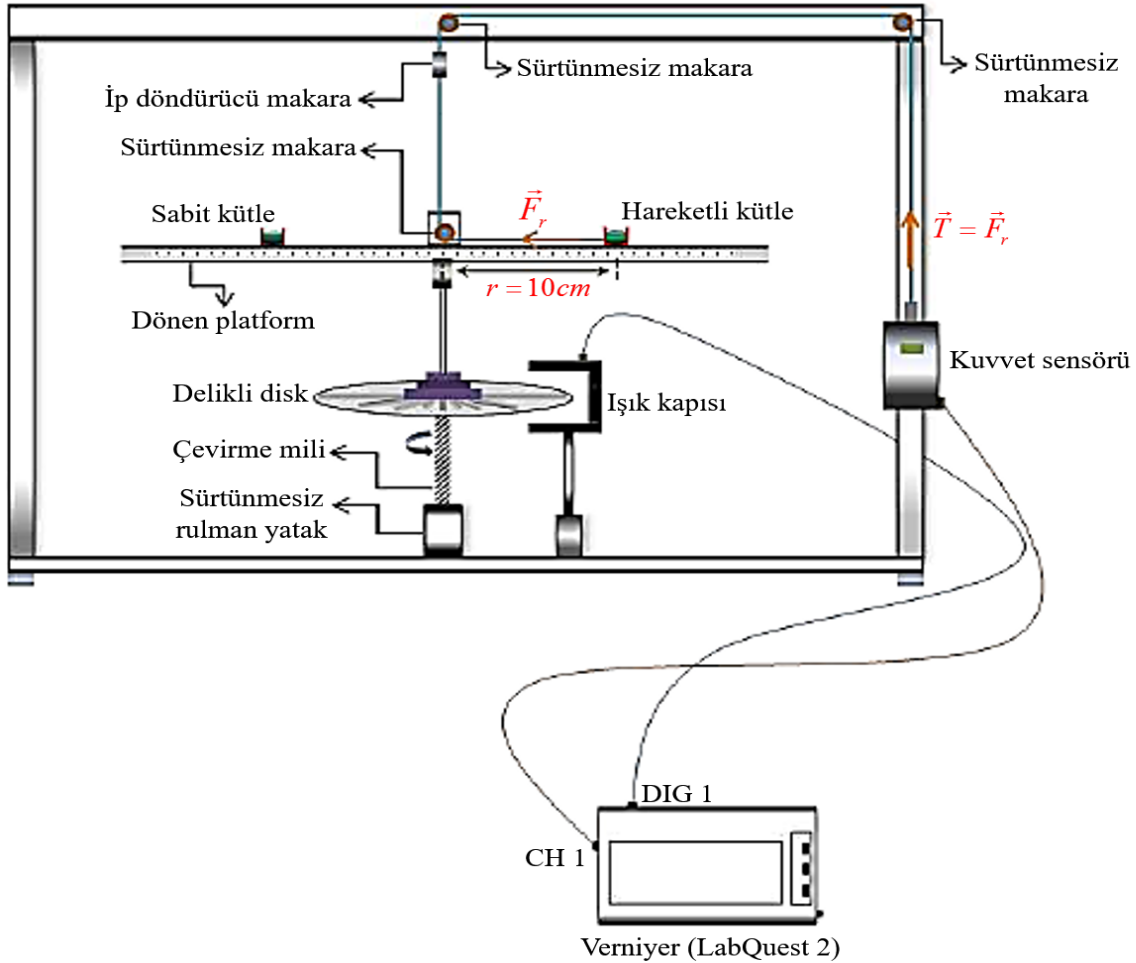
$$V = at \quad (8.11)$$

ifadesi ile verilir.

DENEYİN YAPILIŞI:

1. Şekil- 8.2’de gösterildiği gibi, kuvvet ölçüm sensörünü ve ışık kapısı bağlantı kablolarını Vernier-LabQuest-2 cihazının “CH-1” ve “DIG-1” portlarına bağlayınız.

- Kuvvet sensörü üzerinde bulunan ölçüm aralığını 10 N olarak ayarlayınız.
- Dönen platform üzerinde hareket edebilen boş kütle yuvasının, sürtünmesiz makaralar üzerinden kütlesi ihmal edilen bir ip ile kuvvet sensörüne bağlantısını yapınız.
- Sürtünmesiz makaralardan geçen kütlesi ihmal edilen ipin, hareketli boş kütle yuvasına uzaklığını ipi gererek en fazla $r=10\text{ cm}$ olacak şekilde ayarlayınız. Böylece, ipteki gerilme kuvveti tarafından boş kütle yuvasının $r=10\text{ cm}$ yarıçaplı dairesel bir yörüngede hareket etmesi sağlanır.
- Dönen platform üzerinde bulunan diğer boş kütle yuvasını platform üzerinde merkez ekseninden $r=10\text{ cm}$ uzaklığa getirerek sabitleyiniz. Bu kütle yuvasının hareketli olmayıp, dönen platform üzerinde sabit olmasına dikkat edilmelidir. Dairesel hareket yapan platform üzerindeki iki boş kütle yuvası yaklaşık olarak $m= 58\text{ g}$ ’dır.



Şekil 8.2. Merkezcil kuvvet deney düzeneği.

2. Hareketli ve sabit boş kütle yuvalarına birer adet $m' = 100 \text{ g}$ 'lık kütle takınız.
- Deneyde kullanılan cismin kütlesi ($m' = 100 \text{ g}$) ile sürtünmesiz olan hareketli boş kütle yuvasının kütlesini toplayınız.
 - Bu toplam kütle değerini, toplam **test kütlesi** (M) olarak Tablo 8.1'e kaydediniz.

3. Vernier-LabQuest-2 ölçüm cihazına ait güç kablosunun bağlantısı yaparak cihazı çalıştırınız.

LabQuest-2 açılış ekranından:

CH-1: Force

DIG-1: Gate State

Mode: Photogate Timing

Timing: Motion

ölçüm parametreleri görüntülenir.

4. Açılış ekranı “**Mode**” tuşundan, 0.1 m yarıçaplı dairesel hareketin yörünge mesafesini (çevresi) LabQuest-2 cihazına tanıttınız. Bu işlem için:

Photogate Mode: “Motion”

User defined: “0.0628m”

End data collection: “with the stop button”

ölçüm kodlarını giriniz ve ok tuşuna basınız.

- NOT:** Dairesel hareketin yarıçap değeri $r=10 \text{ cm}$ olduğu için, toplam test kütlelerinin bir tam devirde alacağı doğrusal yol (dairenin çevresi) $x = 2\pi r = 0.628 \text{ m}$ olur. Deneyde dairesel yörüngenin çevresi (bir tam devir) için gerekli olan toplam ışık kapısı sinyal geçiş aralığı, delikli döner disk üzerindeki 10 geçiş aralığından oluşmaktadır. Bu nedenle, yarıçapı $r=10 \text{ cm}$ olan dairesel bir yörüngede LabQuest-2 cihazına tanıtılacak olan her bir ışık kapısı sinyaline karşılık gelen **doğrusal yol kodu** (x):

$$x = 0.628 / 10 = 0.0628 \text{ m}$$

olur.

5. Grafik ekranını görüntülemek için açılış ekranının sağ üst köşesinde bulunan “**Graph**” şekline tıklayınız. Buradan,

“Graph” menüsünü açarak:

Graph→Show Graph→Graph1

Graph h→Graph Options:

X-Axis column: “velocity”

“Autoscale from 0”

adımlarını seçiniz ve ok tuşuna basınız.

6. Grafik ekranında bulunan “**Veri tablosu (x/y)**” tuşundan;

Table → “**New Calculated Column**”

seçeneğine giriniz. Buradan:

Name: V^2

Units: m^2/s^2

Displayed Precision: 3

Decimal Places

Equation Type: Ax^2+Bx+C

$A=1$

$B=0$

$C=0$

Column for x: “velocity”

adımlarını uygulayınız. Böylece, LabQuest-2 yazılımının, dairesel hareket yapacak olan toplam test kütlelerinin herhangi bir t -zamanındaki çizgisel hızını (V) kullanarak, bu hızın karesine ait verileri,“(V^2)” isimli yeni bir sütun altında hesaplaması sağlanır.

7. Grafik menüsünden tekrar “Show graph” – “Graph 1” tuşlayınız.

- Ekrana gelen grafiğin yatay eksenini, “ x ” tıklayarak açılan pencereden önceden tanımlanmış olan hızın karesi

$$“V^2 (m^2 / s^2) ”$$

seçeneğini giriniz.

- Benzer şekilde dikey eksen, “ y ” üzerine tıklayarak açılan pencereden:

“ Force (N)”

seçeneğini giriniz. Böylece merkezci kuvvetin hızın karesine göre değişimini inceleyen grafiğin eksenleri LabQuest-2 cihazına tanıtılmış olur.

- Ekranın sol üst köşesindeki gösterge simgesine basarak Kuvvet (**Force**) ve Kapı durumu (**Gate State**) bölümlerini gösteren LabQuest-2 açılış ekranına dönünüz.

8. Açılış menüsü ekranında, “**CH-1:Force**” bölümünü tıklayarak açılan pencereden ölçüm öncesi “**ZERO**” sıfırlama işlemini yapınız:

CH-1: Force→**ZERO**

- Sıfırlama işlemi sonrası, çevirme mili kullanılarak platformu döndürmeye başlayınız ve 6-8 N arası bir kuvvet ile dairesel hareketi sağlayana kadar döndürmeye devam ediniz.
- Uygulanan 6-8 N arası kuvveti LabQuest “**CH-1:Force**” bölümünden takip ediniz. İstenilen kuvvet değerine ulaşıldıktan sonra sistemi serbest dönme hareketine bırakınız.

- LabQuest-2 ekranında kuvvet $F = 5\text{N}$ değerine düştüğü zaman, ekranın sol alt köşesindeki başla (**Start**) tuşunu tıklayarak deney verilerini toplamaya başlayınız.
- Kuvvet, $F = 1\text{N}$ değerine düştüğünde ise LabQuest-2 ekranının sol alt köşesindeki durdur tuşu ile veri toplama işlemine son veriniz.

9. Grafik ekranında bulunan “**Analyze**” menüsünden:

Analyze → **Curve Fit** → **Force**

adımlarını tıklayınız. Ekrana gelen alt menüden:

Fit Equation: Linear

adımlarını seçiniz. Uygulanan “**Fit Equation**” komutu ile kuvvetin hızın karesine göre değişim grafiği, bu eğrinin denklemi ve eğimi ekrana gelir.

- Bu eğim; toplam test kütlelerinin (M) , dairesel hareketin yarıçap değerine (r) bölümüne eşittir.
- Bu eğim değeri kullanılarak, merkezci kuvvet etkisiyle $r=10\text{ cm}$ yarıçaplı bir yörüngede dairesel hareket yapan test kütlelerinin deneysel değerini (M') hesaplayınız ve Tablo 8.1'e kaydediniz.

10. Bilinen (M) ve hesaplanan test kütlesi (M') değerlerini karşılaştırınız ve yorumlayınız.

11. Deneyi $m' = 200\text{ g}$ ve $m' = 300\text{ g}$ kütleleri için tekrarlayınız.

DENEY VERİLERİ:

TABLO 8.1					
r (m)	m (kg)	m' (kg)	M (kg)	M' (kg)	ΔM (kg)

FİZİKSEL SARKAÇ ve EYLEMSİZLİK MOMENTİ



M9

FİZİKSEL SARKAÇ ve EYLEMSİZLİK MOMENTİ

M9

DENEYİN AMACI:

1. Fiziksel sarkaçtan yararlanarak bir çemberin eylemsizlik momentini bulmak.
2. Fiziksel sarkacın periyodunu ve frekansını incelemek.

DENEYDE KULLANILAN ARAÇLAR

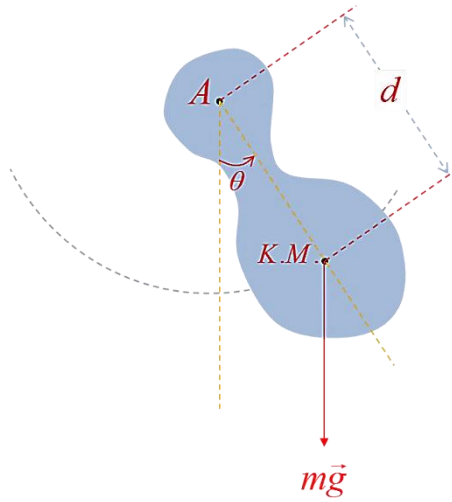
Çember

Kronometre

TEORİK BİLGİ:

9.1. FİZİKSEL SARKAÇ

Kütle merkezinden geçmeyen ve yatay bir eksen etrafında kendi ağırlığının etkisiyle salınım yapan cisme “*fiziksel sarkaç*” veya “*bileşik sarkaç*” adı verilir. Şekil 9.1’de görülen cisim, denge konumundan bir miktar ayrılıp serbest bırakıldığında A noktasından geçen ve sayfa düzlemine dik olan bir eksen etrafında salınım hareketi yapar.



Şekil 9.1. Fiziksel sarkaç.

Cisme salınım yaptıran tork:

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} \quad (9.1)$$

şeklinde yazılır. Bu torkun büyüklüğü vektörel çarpım sonucunda,

$$\tau = -mgd \sin \theta \quad (9.2)$$

ifadesi elde edilir ve (-) işareti, denge konumuna göre geri çağırıcı olmasından kaynaklanır. Küçük genlikli salınımlar için ($\theta < 5^\circ$), $\sin \theta \approx \theta$ alınabilir. Bu durumda Eşitlik 9.2;

$$\tau = -mgd\theta \quad (9.3)$$

olarak yazılabilir.

I_A eylemsizlik momenti ve α açısal ivme olmak üzere, dönme hareketi için hareket denklemini;

$$\tau = I_A \alpha = I_A \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (9.4)$$

şeklinde verilir. Eşitlik 9.3 ve Eşitlik 9.4 birbirine eşitlenerek,

$$-mgd\theta = I_A \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (9.5)$$

ya da

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{mgd}{I_A} \theta = 0 \quad (9.6)$$

bağıntısına ulaşılır. Bu salınım hareketinde açısal hız ifadesi,

$$\omega = \sqrt{\frac{mgd}{I_A}} \quad (9.7)$$

şeklindeir. Böylece, küçük genlikli ($\theta < 5^\circ$) salınımlar için fiziksel sarkacın periyodu,

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I_A}{mgd}} \quad (9.8)$$

olarak bulunur.

Bu eşitliklerdeki I_A , cismin A noktasından geçen ve sayfa düzlemine dik olan bir eksene göre “**eylemsizlik momenti**” adını alır. Bir cisme ivme kazandırabilmek için kuvvet uygulanması gerekir. Cismi açısal ivme ile döndürebilmek için de Şekil 9.1’de gösterilen A noktasından geçen eksene göre tork uygulanmalıdır. Uygulanan tork Eşitlik 9.4 ile verilmiştir. Eşitlik 9.4’teki tork ile açısal ivmeyi birbirine eşitleyen orantı katsayısına “**cismin dönme eksenine göre eylemsizlik momenti**” adı verilir.

Açısal ivme, açısal hızdaki değişimleri verir. Eylemsizlik momenti, cismin dönmeye dolayısıyla açısal hızında meydana gelebilecek değişikliklere karşı gösterdiği direnmenin ölçüsü olarak da tanımlanabilir.

DENEYİN YAPILIŞI:

1. Çemberi masanın kenarında takılı olan çubuk üzerine yerleştiriniz ve düşeyle küçük bir açı yapacak şekilde ($\theta < 5^\circ$) denge konumundan ayırınız ve serbest bırakarak salınım yapmasını sağlayınız. Cismin salınımının kendi düzleminde kalmasına, sağa-sola yalpa yapmamasına dikkat ediniz.
2. 10, 20, 30 ve 40 salınım için geçen süreleri kronometre yardımıyla ölçünüz. Her bir salınım için T_1, T_2, T_3 ve T_4 periyotlarını hesaplayarak Tablo 9.1'e kaydediniz. Bu dört periyot değerinden faydalanan ortalama T periyodunu hesaplayınız ve Tablo 9.1'e kaydediniz.
3. Çemberin asıldığı noktadan merkezine kadar olan d mesafesini ve çemberin kütlesini (m) ölçerek Tablo 9.1'e kaydediniz.
4. Bulduğunuz değerleri Eşitlik 9.8'de yerine koyarak çemberin asıldığı noktaya göre eylemsizlik momentini (I_A) hesaplayınız ve Tablo 9.1'e kaydediniz.

Hata Hesabı:

Eşitlik 9.8'den

$$I_A = \frac{T^2 mgd}{4\pi^2}$$

ifadesi bulunur. Buradan;

$$\Delta I = 2T \Delta T mgd + \Delta m T^2 gd + \Delta g T^2 md + \Delta d T^2 mg$$

ifadesi elde edilir. I_A eylemsizlik momenti üzerindeki bağıl hata:

$$\frac{\Delta I_A}{I_A} = 2 \frac{\Delta T}{T} + \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta g}{g} + \frac{\Delta d}{d}$$

olur. Deney yapılan noktada yerçekimi ivmesi aynı kaldığından, $\Delta g = 0$ olur ve bağıl hata

$$\frac{\Delta I_A}{I_A} = 2 \frac{\Delta T}{T} + \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta d}{d}$$

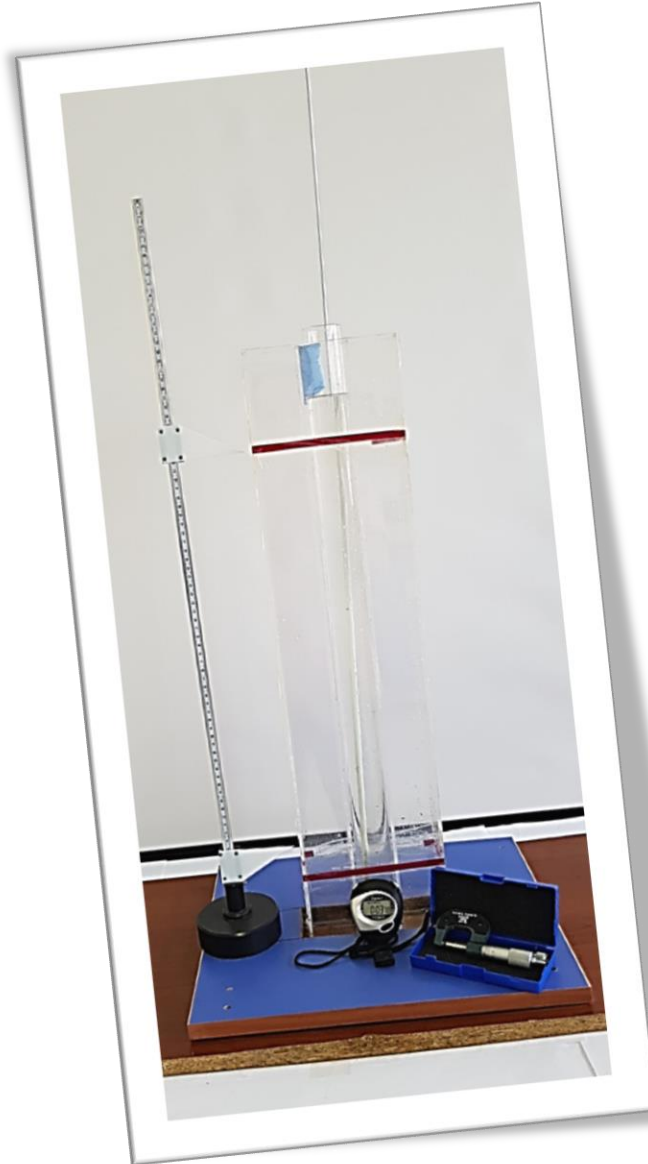
şeklinde elde edilir. Yukarıdaki bağıntıda ΔT standart sapması, dört salınım için bulunan periyot değerlerinden hesaplanır. Δm ve Δd için ise ölçü aletinin en küçük göstergesi alınır.

DENEY VERİLERİ:

TABLO 9.1				
T_1 (s)	T_2 (s)	T_3 (s)	T_4 (s)	T (s)
d (m)	m (kg)		I_A	

TABLO 9.2			
ΔT	Δm	Δd	$\frac{\Delta I_A}{I_A}$

VISKOZITE



M10

DENEYİN AMACI:

İki farklı saydam sıvının viskozite katsayılarını Stokes metoduyla bulmak.

DENEYDE KULLANILAN ARAÇLAR:

Üç hazneli viskozite kabı

İki farklı saydam sıvı

Bilyeler

Cetvel

Kronometre

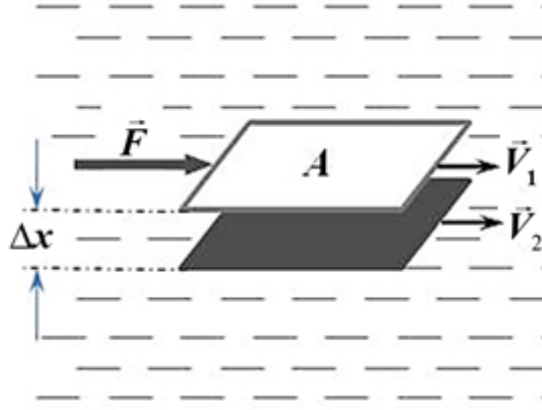
Mikrometre

Terazi

TEORİK BİLGİ:

Sıvı tabakaları birbirine karşı kaydırılmak istendiğinde (örneğin bir kaptan başka bir kaba döküldüğünde) aralarında harekete karşı kuvvetler ortaya çıkar. Bu kuvvetlere iç sürtünme veya “**viskozite**” adı verilir. Diğer bir deyişle bir sıvının akmaya karşı direnç gösterme özelliğine “**viskozluk**” denir.

Şekil 10.1’de görüldüğü gibi bir sıvı içinde birbirine paralel ve eşit yüzeyli iki düzlem levha göz önüne alalım. Üstteki levhaya bir $\vec{F}$ kuvveti uygulayıp $\vec{V}_1$ hızı kazandırıldığında, iç sürtünme nedeniyle sıvı tabakaları da yukarıdan itibaren gittikçe azalan hızlar kazanarak alt levhayı en küçük $\vec{V}_2$ hızıyla hareket ettirirler. Hızların bu dağılımı sebebiyle durgunken küp biçiminde olan bir sıvı kütlesi, hareket halindeyken paralel yüzlü prizma halini alır. Bu çeşit akışa “**laminer akış**” adı verilir. Bu akış, Newtonian akış ya da viskoz akış adıyla da bilinir. Bu akış şeklinde moleküler hızların net bileşeni sıvının akış yönünde olup, akan sıvı tabakalarının birbirini kesmediği düşünülür. Sıvının akış hızının çok büyük olmadığı durumlarda ancak laminer akış şekli gözlenir.



Şekil 10.1. Laminer akış yapan sıvı levhalar.

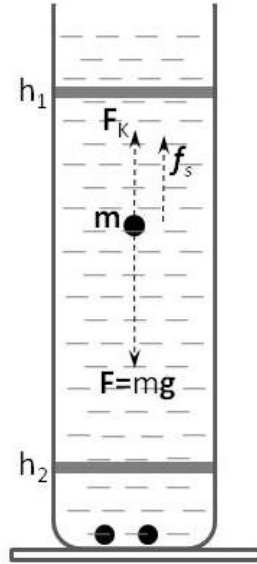
İki levha arasındaki hız farkı;

$$\Delta V = \frac{1}{\eta} \frac{F}{A} \Delta x \quad (10.1)$$

şeklinde ifade edilebilir. Buradan

$$F = \eta \frac{\Delta V}{\Delta x} A \quad (10.2)$$

yazılabilir. Burada $\frac{\Delta V}{\Delta x}$, hız gradyenti; A , levhaların alanı ve η (eta) sıvının viskozite katsayısıdır.



Şekil 10.2. m kütleli bilyeye etki eden kuvvetler.

Şimdi düşen küre metodu ile sıvının viskozite katsayısını elde edelim. Şekil 10.2’de sıvı çerisine atılan m kütleli bir bilyeye etki eden kuvvetler gösterilmektedir.

Viskozite katsayısı η olan bir sıvı içerisinde r yarıçaplı bir bilye bırakılırsa, bilye sabit $\vec{V}$ hızıyla düşerken bilyenin hareketine zıt doğrultuda

$$f_s = 6\pi r\eta V \quad (10.3)$$

sürtünme kuvveti etki eder. Bu ifade “**Stokes Kanunu**” olarak bilinir. Şekil 10.2’den görüleceği gibi F_k kaldırma kuvvetinin büyüklüğü olmak üzere kuvvetlerin dinamik dengesinden,

$$F = f_s + F_k \quad (10.4)$$

$$mg = 6\pi r\eta V + V_b \rho_s g \quad (10.5)$$

elde edilir. Burada ρ_s , sıvının yoğunluğu; $V_b = \frac{4}{3}\pi r^3$, bilyenin hacmi ve g , yerçekimi ivmesidir. Buna göre ρ , bilyenin yoğunluğu olmak üzere;

$$V_b \rho g = 6\pi r\eta V + V_b \rho_s g \quad (10.6)$$

$$V_b (\rho - \rho_s) g = 6\pi r\eta V \quad (10.7)$$

$$\frac{4}{3}\pi r^3 (\rho - \rho_s) g = 6\pi r\eta V \quad (10.8)$$

$$9\eta V = 2r^2 (\rho - \rho_s) g \quad (10.9)$$

$$\eta = \frac{2r^2 (\rho - \rho_s) g}{9V} \quad (10.10)$$

olarak bulunur.

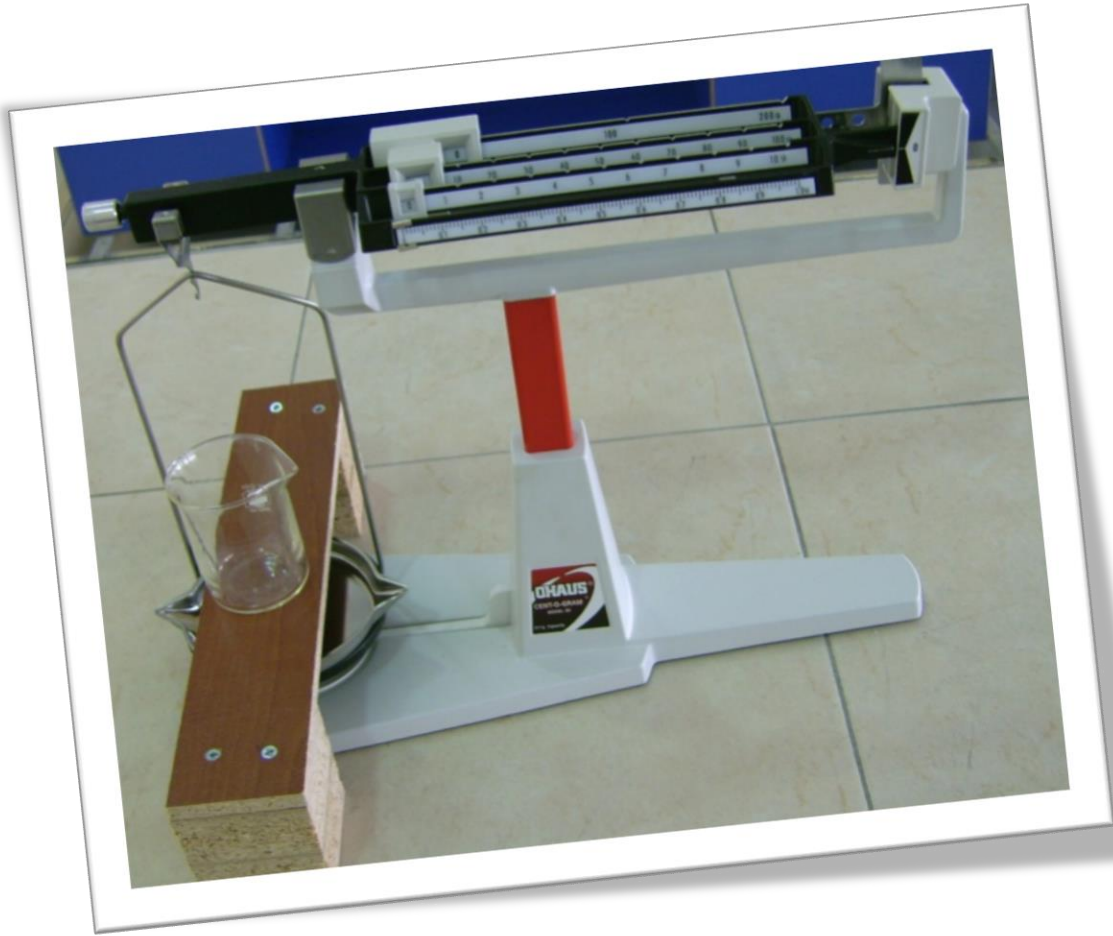
DENEYİN YAPILIŞI:

1. 5 adet bilyenin çapını mikrometre yardımıyla ölçünüz. Yaptığınız beş ölçümün ortalamasını alarak tek bir bilyenin ortalama yarıçapını $r = \frac{R}{2}$ ifadesinden hesaplayınız ve Tablo 10.1'e kaydediniz.
2. 5 adet bilyeyi toplu halde hassas terazi ile tartarak toplam M kütleini belirleyiniz. Tek bir bilyenin $m = \frac{M}{5}$ ortalama kütleini hesaplayınız ve Tablo 10.1'e kaydediniz.
3. Bilye için elde ettiğiniz m ve r değerlerini kullanarak bilyeye ait ρ yoğunluğunu $\rho = \frac{m}{\frac{4}{3}\pi r^3}$ bağıntısıyla hesaplayınız ve Tablo 10.1'e kaydediniz.
4. Verilen bilyelerden birini sıvı yüzeyine yakın bir noktadan serbest bırakarak viskozite kabındaki h_1 çizgisinin bulunduğu yatay düzlemden bakınız. Bilye bu düzlemi geçerken kronometreyi çalıştırınız ve h_2 çizgisinden geçerken kronometreyi durdurunuz. Böylece bilyenin işaret çizgileri arasındaki $s = h_1 - h_2$ yolunu alması için geçen t zamanı ölçülmüş olur. Diğer 4 bilye için de aynı işlemi yaparak ortalama t süresini hesaplayınız ve Tablo 10.1'e kaydediniz.
5. $V = \frac{s}{t}$ denklemi yardımıyla bilyenin sıvı içerisindeki hızını hesaplayınız ve Tablo 10.1'e kaydediniz.
6. Sıvının cinsini yetkiliden öğrenerek bu sıvıya ait ρ_s yoğunluğunu Tablo 11.4' ü kullanarak belirleyiniz ve Eşitlik 10.10 yardımıyla size verilen sıvının viskozite katsayısını hesaplayınız ve Tablo 10.1'e kaydediniz.
7. Viskozite katsayısı sıcaklıkla değiştiği için sonuçlarınıza laboratuvar sıcaklığını (T) da ekleyiniz.
8. Aynı deneyi viskozite kabındaki diğer sıvı için tekrar ediniz ve bulduğunuz iki sonucu karşılaştırarak yorumlayınız.

DENEY VERİLERİ:

TABLO 10.1							
Birinci Sıvı				İkinci Sıvı			
$T(^{\circ}\text{C})$		$\rho_s(\text{gcm}^{-3})$		$T(^{\circ}\text{C})$		$\rho_s(\text{gcm}^{-3})$	
$R(\text{cm})$		$s(\text{m})$		$R(\text{cm})$		$s(\text{m})$	
$r(\text{cm})$		$t(\text{s})$		$r(\text{cm})$		$t(\text{s})$	
$m(\text{g})$		$V(\text{ms}^{-1})$		$m(\text{g})$		$V(\text{ms}^{-1})$	
$\rho(\text{gcm}^{-3})$		η		$\rho(\text{gcm}^{-3})$		η	

ARŞİMET PRENSİBİ ve YOĞUNLUK



M11

ARŞİMET PRENSİBİ ve YOĞUNLUK

M11

DENEYİN AMACI:

1. Farklı tür ve şekildeki cisimlerin yoğunluklarını bulmak.
2. Arşimet prensibini kullanarak sıvı yoğunluğunu bulmak.

DENEYDE KULLANILAN ARAÇLAR:

Santigram terazi

Dijital terazi

Verniyeli kumpas

Dereceli silindir

Taşıma kabı

Beher

Şekilli kütle

Şekilsiz kütle

Saf su

Sıvı

TEORİK BİLGİ:

Tamamı veya bir kısmı bir akışkanın (sıvı veya gaz) içine batırılan cisimlere yukarı doğru bir kaldırma kuvveti etki eder. Bu kuvvet, cismin içine battığı akışkanın yerdeğiştiren ağırlığına eşittir. Yerdeğiştiren akışkanın hacmi ise, cismin batan kısmının hacmi kadardır. Bu durumda, hacmi V olan bir cisim yoğunluğu ρ olan bir sıvıya tamamen battığında, bu cisme etki eden kaldırma kuvveti;

$$F = \rho V g \quad (11.1)$$

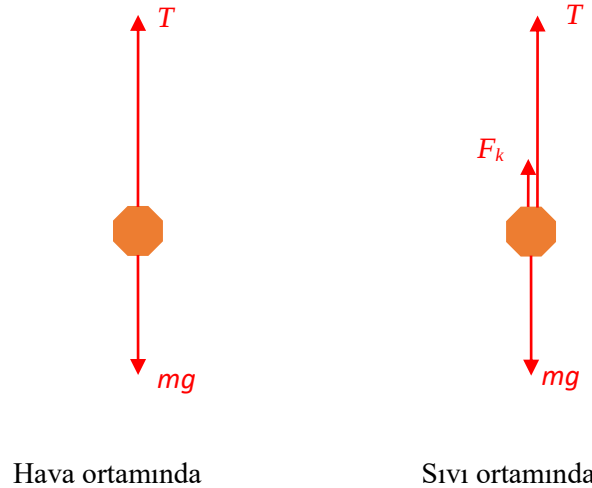
ile verilir.

Cismin ağırlığı sıvının kaldırma kuvvetinden büyük ise cisim batar. Bu durumda cismin yoğunluğu (ρ_{cisim}) sıvının yoğunluğundan ($\rho_{sıvı}$) büyüktür. Cismin ağırlığı sıvının kaldırma kuvvetine eşit ise, cisim sıvının içinde her yerde dengede kalabilir. Bu durumda cismin yoğunluğu sıvının yoğunluğuna eşittir. Yoğunluğu sıvının yoğunluğundan küçük olan cisimler

ise bir kısmı batmış vaziyette yüzerler. Batan kısmın hacmi V_{batan} ile gösterilirse, Eşitlik 11.1' e göre kaldırma kuvveti;

$$F = \rho V_{batan} g \quad (11.2)$$

şeklinde yazılabilir. Kaldırma kuvvetinin sebebi, sıvı içine batmış olan cismin bütün yüzeylerine bu sıvı tarafından uygulanan basınç kuvvetleridir. Basınç, derinlikle orantılı olarak artar. Alt yüzeyi daha derine batmış olduğundan bu yüze etki eden basınç kuvveti, üst yüzeye etki eden basınç kuvvetinden daha büyüktür. Alt yüzeye ve üst yüzeye etki eden kuvvetlerin bileşkesi ise yukarıya doğru olup “*sıvının kaldırma kuvveti*” ne eşittir. Bu durumda akışkanın cisme uyguladığı basınç kuvvetlerinin bileşkesi kaldırma kuvvetini verir. Kaldırma kuvveti daima yerçekimi kuvvetine ters yönde olduğu için, akışkanlar içine batmış olan cisimlerin ağırlıklarında, Şekil 11.1' de görüldüğü gibi boşluğa (hava ortamına) oranla bir azalma hissedilir.



Şekil 11.1. Hava ortamında ve sıvı içinde bulunan bir cisme etki eden kuvvetler.

Cismin hava ve sıvı ortamlarındaki ağırlıkları kullanılarak sıvının yoğunluğu için bir ifade türetilebilir:

$$W_{hava} - W_{sıvı} = F_k \quad (11.3)$$

$$(m_c)_{hava} g - m_{sıvı} g = (m_c)_{sıvı} g \quad (11.4)$$

$$(m_c)_{hava} - m_{sıvı} = (m_c)_{sıvı} \quad (11.5)$$

$$\rho_{sıvı} = m_{sıvı} / V_{sıvı} \quad \rightarrow \quad V_{sıvı} = V_{batan} \quad \rightarrow \quad m_{sıvı} = \rho_{sıvı} V_{batan}$$

$$(m_c)_{hava} - \rho_{sıvı} V_{batan} = (m_c)_{sıvı} \quad (11.6)$$

$$\rho_{sıvı} = \frac{[(m_c)_{hava} - (m_c)_{sıvı}]}{V_{batan}} \quad (11.7)$$

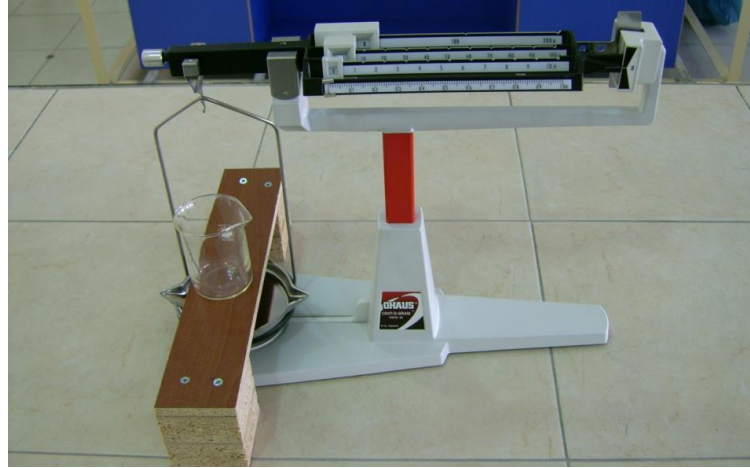
DENEYİN YAPILIŞI:

A. Şekilsiz Cismin Yoğunluğunun Bulunması

- A1. Şekilsiz cismin kütlesini (m_{cisim}) dijital terazi ile tartınız ve Tablo 11.1'e kaydediniz.
- A2. Beheri taşıрма kabının taşma borusunun altına boş olarak koyunuz.
- A3. Taşıрма kabını yavaşça taşma borusundan saf su gelinceye kadar doldurunuz.
- A4. Beherde biriken suyu boşaltıp kuruladıktan sonra tekrardan taşıрма kabının taşma borusu altına koyunuz.
- A5. Şekilsiz cismi yavaşça taşıрма kabına bırakınız.
- A6. Taşıрма kabının taşma borusundan akarak beherde biriken suyun hacmini (V_{su}) dereceli silindirde ölçünüz ve Tablo 11.1'e kaydediniz.
- A7. Cismin yoğunluğunu (ρ_{cisim}) hesaplayınız ve Tablo 11.1'e kaydediniz.

B. Sıvı Yoğunluğunun Arşimet Prensibi İle Bulunması

- B1. Boş santigram teraziye dengeleyiniz.



Şekil 11.2. Deney düzeneği.

- B2. Düzgün geometrik şekilli cismi santigram terazi halkasına asarak kütlesini tartınız (m_{chava}) ve Tablo 11.2'ye kaydediniz.
- B3. Düzgün geometrik şekilli teraziden alınız.
- B4. Tahta sehpayı Şekil 11.2'deki gibi yerleştiriniz.
- B5. Tahta sehpa üzerine içi saf su dolu beheri Şekil 11.2'deki gibi yerleştiriniz.
- B6. Düzgün geometrik şekilli cismi saf su içerisine tam daldırarak santigram terazinin halkasına tekrardan asınız.
- B7. Değişen cismin kütlesini santigram (m_{csu}) terazi ile tartınız ve Tablo 11.2'ye kaydediniz.

B8. Düzgün geometrik şekilli cismin dış çapını (R), iç çapını (r) ve yükseklik (h) değerini verniyeli kumpas ile ölçünüz ve Tablo 11.2’ye kaydediniz.

B9. Bu ölçtüğünüz verilerle şekilli cismin hacmini hesaplayınız (V_{cisim}) ve Tablo 11.2’ye kaydediniz.

B10. Suyun yoğunluğunu ($\rho_{\text{sı}}$) hesaplayınız ve Tablo 11.2’ye kaydediniz.

B11. Düzgün geometrik şekilli cismi santigram terazinin halkasından çıkartarak kurulayınız.

B12. 3-12. adımları farklı bir sıvı için tekrarlayınız ve sonuçlarınızı Tablo 11.3’e kaydediniz.

B13. Bulduğunuz yoğunluk değerinin hangi sıvıya ait olduğunu Tablo 11.4’ten belirleyiniz.

DENEY VERİLERİ:

TABLO 11.1		
m_{cisim} (g)	V_{su} (cm ³)	ρ_{cisim} (gcm ⁻³)

TABLO 11.2						
m_{chava} (g)	m_{csu} (g)	R (cm)	r (cm)	h (cm)	$V_{\text{batan}} = V_{\text{cisim}}$ (cm ³)	ρ (gcm ⁻³)

TABLO 11.3							
m_{chava} (g)	m_{csu} (g)	R (cm)	r (cm)	h (cm)	$V_{\text{batan}} = V_{\text{cisim}}$ (cm ³)	$\rho_{\text{sıvı}}$ (gcm ⁻³)	Hangi element veya bileşik

TABLO 11.4. Farklı maddeler için yoğunluk değerleri.**KATILAR (18°C) (gcm⁻³)**

Aluminyum	2.69	Potasyum	0.53
Kurşun	11.35	Magnezyum	1.74
Demir	7.5-7.8	Pirinç	8.1-8.6
Buz	0.92 (0°C 'de)	Sodyum	0.97
Cam	2.4-2.6	Nikel	8.85
Altın	19.29	Platin	21.45
Tahta (çam)	0.4-0.7	Gümüş	10.5
Bakır	8.93	Çinko	7.12
Ebonit	1.2	Şeker	1.59
Elmas	3.01-3.52	Sofra Tuzu	1.3-1.4

SIVILAR (18°C) (gcm⁻³)

Etileter	0.72	Gliserin	1.26
Etilalkol	0.79	Karbontetraklorür	1.59
Metilalkol	0.79	Zeytinyağı	0.91
Benzol	0.88	Civa	13.55
Kloroform	1.49		

GAZLAR (0°C ve 760 mmHg) (kgm⁻³)

Amonyak	0.77	Karbondioksit	1.98
Argon	0.78	Hava	1.29
Asetilen	1.17	Oksijen	1.43
Klor	3.22	Azot	1.25
Helyum	0.18	Hidrojen	0.09

KAYNAKLAR

1. Rentech Fizik I Laboratuvarı Öğrenci Kılavuzu, Ankara, 2015.
2. Fizik I Deneyleri, Eroğlu S., Kellegöz M., Kılıç G., Adıyaman H. Y., Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 2008.
3. Fizik I-II Deneyleri, Ekem N., Şenyel M., Osmangazi Üniversitesi Yayınları, No:023, Eskişehir, 1997.
4. Denel Fizik, Köroğlu H., Fen Yayınevi, Ankara, 1975.
5. Fen ve Mühendislik için Fizik I, Çolakoğlu K. (Çeviri Editörü), Serway R. A., Beichner R. J., Jevett J. W., Palme Yayıncılık, ISBN: 975-8624-22-9, Ankara, 2002.
6. Fiziğin Temelleri Mekanik ve Termodinamik, Yalçın C. (Çevirmen), Halliday D., Resnick R., Ayrım Yayınları, Ankara, 1985.
7. Üniversiteler için Fizik, Karaoğlu B., Seçkin Yayıncılık, ISBN: 978-975-02-1961-0, Ankara, 2012.
8. Fizik İlkeleri I, Çolakoğlu K. (Çeviri Editörü), Bueche F. J., Jerde D. A., Palme Yayıncılık, ISBN: 975-7477-75-3, Ankara, 2000.
9. Uygulamalı Temel Fizik, Özdaş K., Yörükoğulları E., Bilim Teknik Yayınevi, 2. Baskı, Eskişehir, 1990.
10. Fizik İlkeler Ve Pratik, Verçin A., Yılmaz A. U. (Çeviri Editörleri), Mazur E., Nobel Akademik Yayıncılık, ISBN: 978-605-320-290-5, Ankara, 2015.