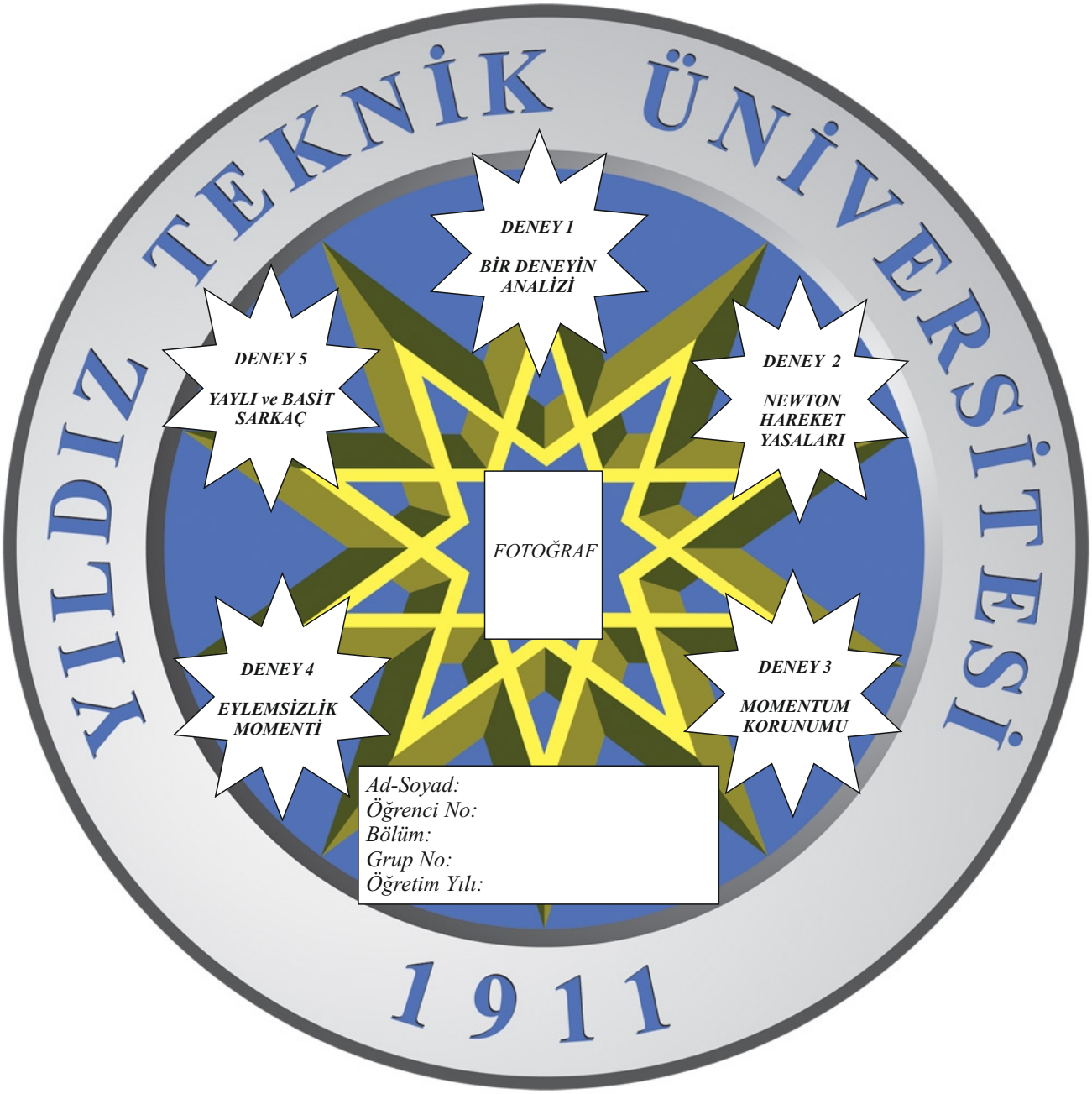
MÜHENDİSLİK ÖĞRENCİLERİ İÇİN FİZİK-1 LABORATUVARI

GÜZ YARIYILI

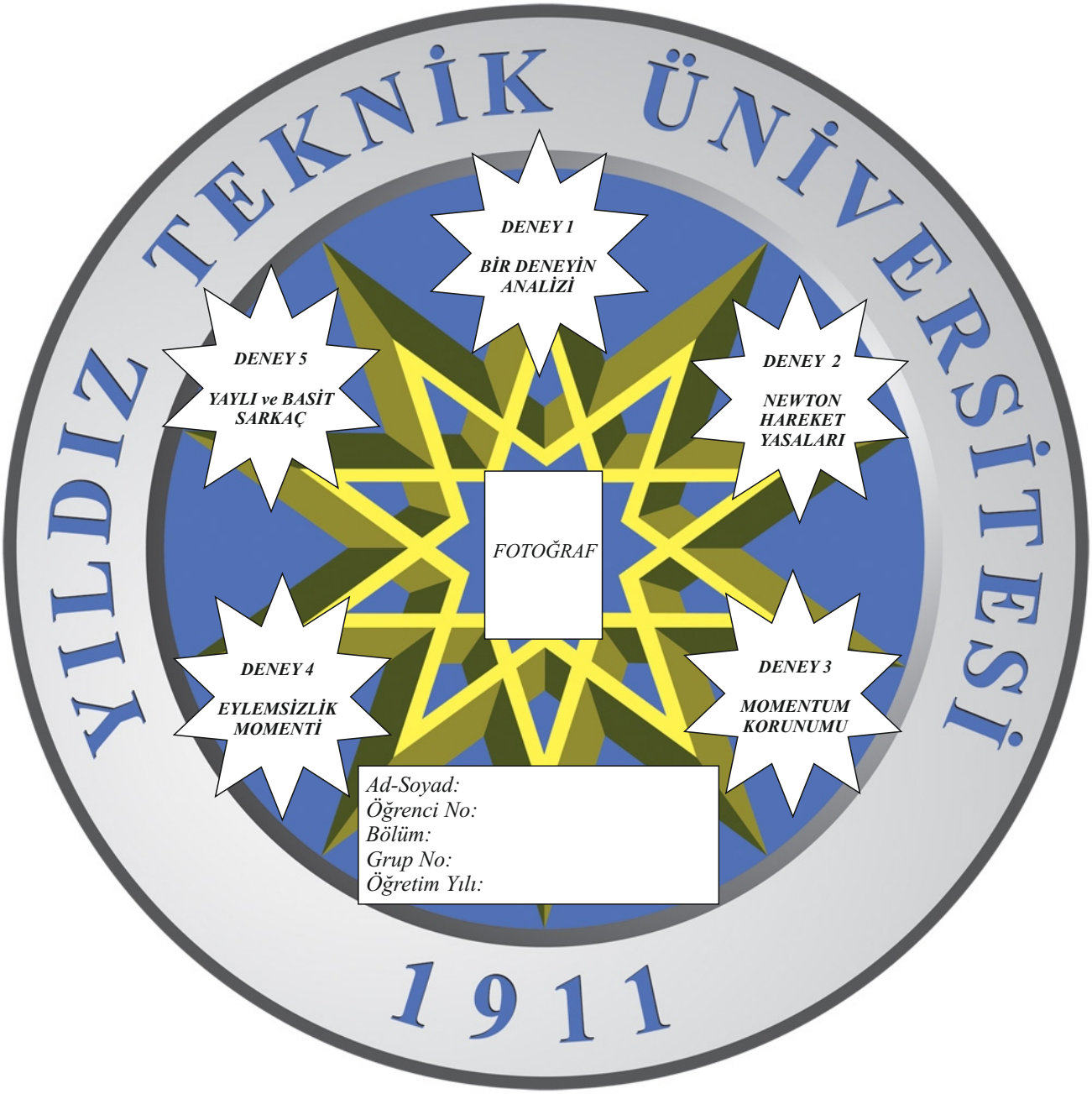


Bu çevrim her deneyde getirilecektir.

BÖLÜM KOPYASI

MÜHENDİSLİK ÖĞRENCİLERİ İÇİN FİZİK-1 LABORATUVARI

GÜZ YARIYILI



Bu çevrim her deneyde getirilecektir.

ÖĞRENCİ KOPYASI

1. DENEY

BİR DENEYİN ANALİZİ

Amaç: Bir deneyden alınan sonuçların grafikler halinde nasıl gösterilebileceğinin ve analiz edilebileceğinin öğrenilmesi, analiz sonucu elde edilen matematiksel bağıntılar yardımıyla benzer deneylerin sonuçlarının tahmin edilebilmesi ve hata hesabının öğrenilmesi.

Araç ve Gereçler: Bilimsel hesap makinesi, ince uçlu kurşun kalem, silgi, cetvel, grafik kağıdı.

1. Bilgi

Bilimsel çalışmanın temel unsuru gözlemdir. Bu nedenle gözlemlenen büyüklüğün doğru ölçülmesi ve ölçüm sonuçlarının evrensel bir dille aktarılabilmesi oldukça önemlidir.

Bilinmeyen bir değerin, kendi cinsinden bilinen ve birim olarak kabul edilen değerlerle karşılaştırılmasına **ölçme** denir. Herhangi bir ölçü aleti kullanmadan insanlar duyu organları yardımıyla bu tür fiziksel büyüklükleri algılayabilse de kişiden kişiye farklılıklar gösteren bu algılama karışıklıklara sebebiyet vermektedir. Bu nedenle insan duyularından etkilenmeyen, yani ölçümü yapan kişinin etkisinin ölçüme yansımadığı, ölçüm aletleri, sistem ve teknikleri geliştirilmiştir.

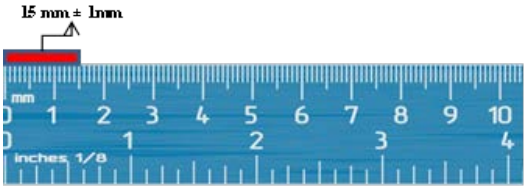
Tüm bilim dallarında deney yapmak, ispat edilmek istenen hipotez için; kurulan deney düzeneğinden;

1. Ölçüm alet ve teknikleri kullanılarak sonuçlar toplamayı,
2. Bu sonuçları kullanarak deneysel verilerin birbiriyle olan ilişkilerini, matematiksel olarak ifade edilen denklemler ile evrensel yasalar olarak belirlemeyi amaçlar.

Sonuçların toplanması aşamasında kullanılan ölçü alet ve cihazlarının duyarlılıkları deney sonuçlarının güvenirliliğini büyük ölçüde etkilemektedir.

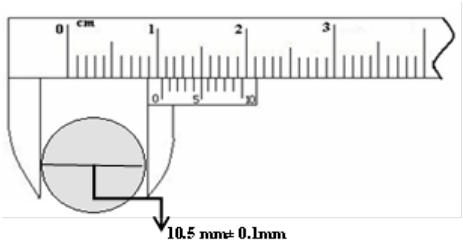
Bir deney sonucunda ölçülen değerin kullanılan ölçü aletinin duyarlılığına göre değişimine uzunluk ölçü aletleriyle örnek verelim;

Bir cetvel yardımıyla ölçüm yaptığımızı düşünelim, Şekil 1'de de görüldüğü gibi cetvel ile yapılan ölçmede belirsizlik ± 1 (mm)' dir. 1,36 cm lik uzunluğun bir cetvel yardımıyla ölçüldüğü söylenemez. Örneğin bir cetvel ile ölçülen bir çubuğun boyu, 15 mm ise sonuç 15 ± 1 (mm) olarak verilmelidir.



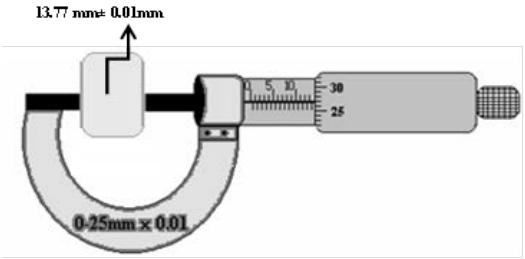
Şekil 1. Cetvel ile ölçümde belirsizliğin gösterilmesi.

Şekil 2'de görüldüğü gibi kumpas kullanılarak ölçülen bir cismin çapı 10,5 mm ise sonuç 10,5± 0,1 (mm) olarak verilmelidir. Çünkü kumpas 0,1 mm duyarlılıkla ölçüm yapan bir alettir.



Şekil 2. Kumpas ile ölçümde belirsizliğin gösterilmesi.

Şekil 3'te görüldüğü gibi mikrometre kullanılarak ölçülen bir cismin eni 13,77 mm ise sonuç 13,77± 0,01 (mm) olarak verilmelidir. Çünkü mikrometre 0,01 mm duyarlılıkla ölçüm yapan bir alettir.



Şekil 3. Mikrometre ile ölçümde belirsizliğin gösterilmesi.

Yukarıda kullandığımız ölçü aletlerinde de görüldüğü gibi ölçümdeki belirsizlik, kullanılan ölçüm aletiyle azaltılabilir ancak yok edilemez.

Anlamlı Rakam

Bir ölçüm için kullanılan ölçü aletiyle toplanan verilerin ölçüm aletinin hassasiyetine uygun şekilde anlamlı rakamlarla yazılması gerekmektedir. Elde edilen verilerin basamak değerleri ölçü aletinin duyarlılığı ile aynı olmak zorundadır.

• Sıfır olmayan tüm rakamlar anlamlıdır.

• Bir sayı içinde sıfır var ise bulunduğu yere göre anlam kazanır.

- Anlamlı rakamlar arasında yer alan tüm sıfırlar anlamlıdır.

  3 Anlamlı ➔ 2,04 (g)

- Ondalık virgülden sonra yazılan tüm sıfırlar anlamlıdır.

  4 Anlamlı ➔ 9,720 (m)

- Ondalık virgülden önce yazılan tüm sıfırlar anlamsızdır.

  1 Anlamlı ➔ 0,002 (cm)

Tablo 1'de bazı sayıların anlamlı rakam miktarları verilmiştir.

Tablo 1

Sayı	Bilimsel gösterim	Anlamlı rakam
6,23		3
9,1		2
0,00246	$2,46 \times 10^{-3}$	3
0,00000001	1×10^{-8}	1
0,000000010	$1,0 \times 10^{-8}$	2

Anlamlı Rakamlarda Dört İşlem

- Farklı duyarlıklı ölçüm aletleriyle alınan ölçüm sonuçları toplanırken ve/veya çıkarılırken ondalık rakam sayısına dikkat edilir. Sonuçtaki ondalık rakam sayısı verilerdeki en az ondalık rakam sayısı kadar olmalıdır. Örneğin; uzunlukları farklı iki ölçüm aleti kullanılarak alınan iki değerin toplamı

a=5,25 cm ve b=2,1 cm

a+b=7,35 cm

~7,4 cm olarak yazılmalıdır.

- Farklı duyarlıklı ölçüm aletleriyle alınan ölçüm sonuçları çarpılması ve/veya

a=16,2 cm ve b=4,4 cm (2 anlamlı)

axb=71,28 cm^2

=71 cm^2 (2 Anlamlı)

olarak yazılmalıdır.

bölünmesi işlemlerinde sonuçtaki anlamlı rakam sayısı veriler arasında en az anlamlı rakam içerendeki kadar olmalıdır.

Eğer deneysel verilerin elde edilmesinde kullanılan aletlerin duyarlılığı yazılmamışsa, ölçme belirsizliğinin sıfırdan farklı son ondalık birimi kadar olduğu kabul edilir.

Örneğin ölçme sonucu 15 s yazılmışsa belirsizlik 1 s, 1,25 g yazılmışsa belirsizlik 0,01 g ve 250 cm yazılmışsa belirsizlik 10 cm' dir.

Boyut ve Birim Kavramları

Boyut: Kalitatif bir kavram olup herhangi bir büyüklüğün "hangi türden" bir büyüklük olduğunu belirtir. Örneğin iki nokta arası mesafenin boyutuna "uzunluk" denilir.

Birim: Her hangi bir boyutun ölçümü için kullanılan referans büyüklüğünü ifade eder. Örneğin uzunluk fiziksel bir büyüklüktür ve birimi SI (uluslararası birim sistemi) birim sisteminde metredir ve "m" ile gösterilir. Keyfi olarak seçilmiş temel büyüklükler ve bunlardan türetilmiş büyüklüklerin oluşturduğu sisteme " birim sistemi" denir. Toplumlar eskiden birbirinden farklı birim sistemleri kullanmakta iken birim sistemlerinin evrensel hale gelmesi için 1875 yılında 17 devletin temsilcileri bir araya gelerek ortak birim sistemleri oluşturmuş "metre konvansiyonunu" imzalamışlardır. Burada her birimin diğer birim sistemindeki karşılıkları gösterilmiştir.

Tablo 2. Bazı temel ve fiziksel büyüklüklerin CGS ve MKS birim sistemlerinde gösterimi

Fiziksel Büyüklük				***CGS Birim Sistemi***		***MKS Birim Sistemi***	
		Boyutun		***Birimin***		***Birimin***	
	Adı	**Gösterimi**	**Sembol**	**Adı**	**Sembol**	**Adı**	**Sembol**
Temel Büyüklükler	**Uzunluk**	[L]	l	santimetre	cm	metre	m
	Kütle	[M]	m	gram	g	kilogram	kg
	Zaman	[T]	t	saniye	s	saniye	s
Büyüklükler	**Alan**	$[L^2]$	S, A	Santimetrekare	cm^2	metrekare	m^2
	Hacim	$[L^3]$	V	Santimetreküp	cm^3	metreküp	m^3
	Hız	[L]/[T]	υ	Santimetre/ saniye	cm/s	metre/saniye	m/s
	İvme	$[L]/[T^2]$	a	Santimetre/ saniyekare	cm/s^2	metre/ saniyekare	m/s^2
Türetilmiş	**Kuvvet**	$[M]x[L]/[T^2]$	F	Dyne	$dyn=g.cm/s^2$	Newton	$N=kg.m/s^2$
	Enerji	$[M]x[L^2]/[T^2]$	E	Erg	$Erg= g.cm^2/s^2$	Joule	$J= kg.m^2/s^2$

Başlıca kullanılan birim sistemleri:

- SI: Uluslararası birim sistemi (metre, kilogram, saniye, amper, kelvin, kandela, mol)
- MKS: metre, kilogram, saniye
- CGS: santimetre, gram, saniye
- FPS: Foot, pound, saniye

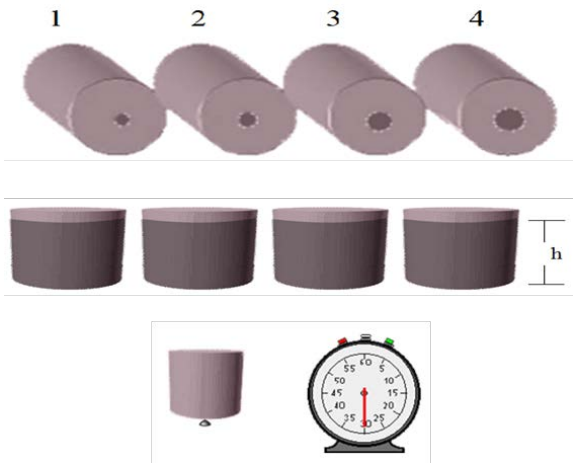
Sayıların Üst ve Ast Katları

Bazı fiziksel büyüklüklerin değeri çok büyük veya çok küçük olabilir. Bu tür sayıların yazımında özellikle hatalı yazma ihtimali çok büyüktür bu nedenle bilimsel gösterim kullanımı geliştirilmiştir. Bu gösterimlerde 10 ve 10'un katlarına üst 1/10 ve 1/10' un katlarına ast kat denir. Tablo-3' te üst ve ast katların ön ek çarpan ve sembolleri görülmektedir.

Tablo 3. Üst ve ast katlar

Üst Katlar			Ast Katlar		
Ön Ek	**Sembol**	**Çarpan**	**Ön Ek**	**Sembol**	**Çarpan**
Deka	dek	10^{1}	**desi**	d	10^{-1}
Hekto	h	10^{2}	**santi**	c	10^{-2}
Kilo	k	10^{3}	**mili**	m	10^{-3}
Mega	M	10^{6}	**mikro**	µ	10^{-6}
Giga	G	10^{9}	**nano**	n	10^{-9}
Tera	T	10^{12}	**piko**	p	10^{-12}
Peta	P	10^{15}	**femto**	f	10^{-15}
Eksa	E	10^{18}	**atto**	a	10^{-18}

2. Deney



Şekil 4

Yapılan bir deneyde tabanlarında farklı çaplarda delik bulunan kaplara doldurulan 30 cm yükseklikteki suyun boşalma sürelerinin delik çapına nasıl bağlı olduğu araştırılmak üzere aynı hacimli dört büyük silindirik kap kullanılmış, kapların tabanlarına çapları farklı büyüklüklerde dairesel delikler açılmıştır. Her denemede kaplara 30 cm yükseklikte su konulmuş ve kaplardan 30 cm yüksekliğindeki suyun boşalma süreleri bir kaç kez tekrarlanarak ölçülmüş (Şekil 4) ve tüm deneysel veriler Tablo 4'e işlenmiştir.

Bizden beklenen deney sonuçlarını grafikler halinde ifade ederek, analiz etmek ve benzer deney sonuçlarını, deney yapmadan tahmin etmektir.

Tablo 4. Tabanında farklı çaplı delikler bulunan kaplardan 30 cm yükseklikteki suyun boşalma süreleri.

Delik çapı ***d*** (cm)	Kabın boşalma süresi ***t*** (s)	t_{ort}(s)
1.5	72.8	
	73.2	
	73.1	
2.0	41.7	
	41.3	
	41.4	
3.0	18.6	
	18.3	
	18.2	
5.0	6.6	
	7.0	
	6.9	

Analiz

Belirli şartlar altında değişimi veya sabit tutulması olayların gidişatını etkileyebilecek tüm faktörlere **değişken** denir ve bir bilimsel araştırmada üç çeşit değişken bulunur.

Veriler grafiklerle gösterilirse benzer bir deneyin sonucunu kestirmek ve olayla ilgili matematiksel bağıntıyı bulmak çok kolaydır. Böyle bir analizde birbirinden bağımsız değişkenler, değişkenlerden biri sabit tutularak ayrı ayrı incelenir.

Örneğin, bu deneyde,

delik çapı (d) **bağımsız değişken**, h=30 cm su yüksekliği **kontrol edilen (sabit) değişken** ve

zaman (t) **bağımlı değişkendir**.

Sabit su yüksekliğinde (h=30 cm), kaplardaki suyun boşalma süresi (t)' nin delik çapına (d) bağlı olarak, değişimi incelenecektir.

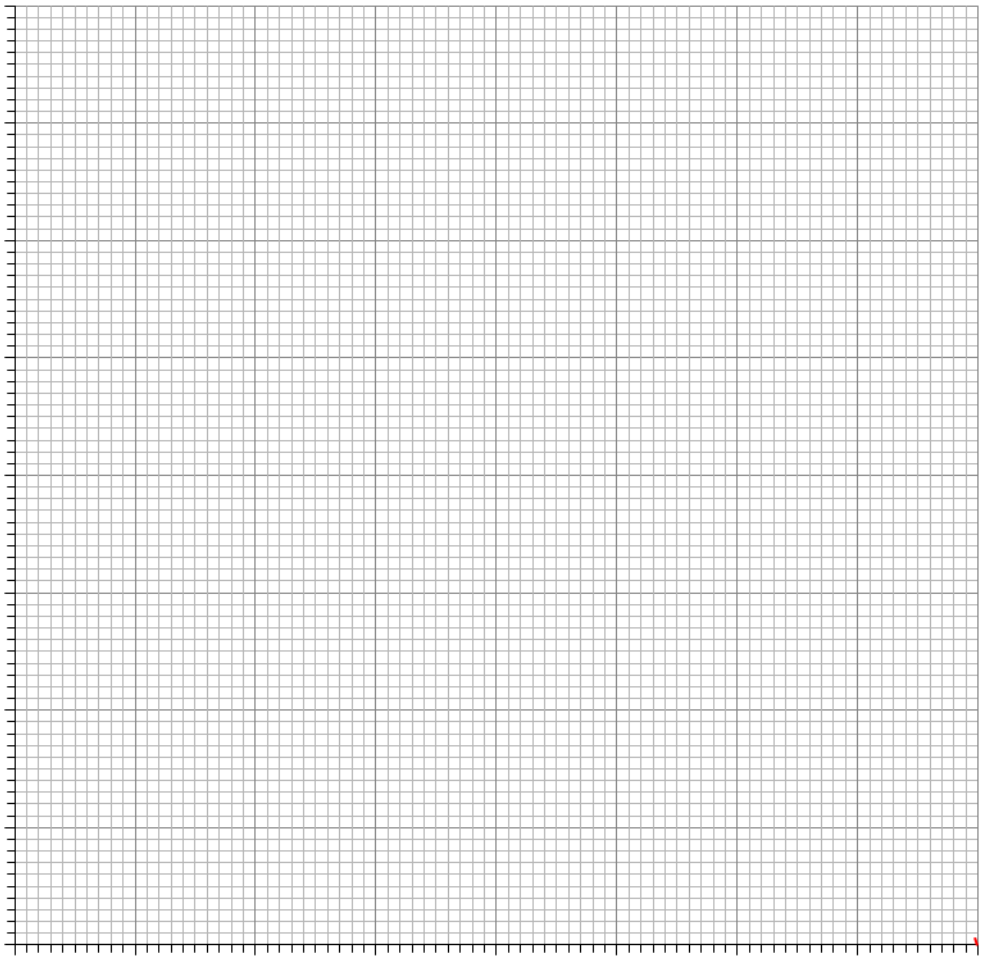
Bu amaçla, *t=f(d)* grafiği çizilerek analiz yapılacak ve deneysel sonuçlar ile ilgili matematik bir bağıntı bulunmaya çalışılacaktır.

UYARI 1: Grafik çizilirken;

- *Her grafiğin bir ismi olmalıdır ve bu isim grafiğin altına yazılır. Grafiğin hangi fiziksel değerlere ait olduğunu belirtir.*
- *Grafik çizimi kurşun kalem ile cetvel kullanılarak yapılmalıdır.*
- *Bağımsız değişken, x eksenine bağımlı değişken y eksenine yerleştirilir.*
- *Her iki eksen üzerinde mutlaka eksenlerin isimleri belirtilir ve ölçüm değerlerinin hangi birimde olduğu parantez içinde yazılır. Bu parantezde ayrıca ölçeklendirme esnasında kullanılan büyütme ya da küçültme çarpanı da belirtilir.*
- *Eksen çizgileri üzerinde deneysel verilere uygun periyodik ölçeklendirme yapılır. (Kesinlikle ölçüm değerlerinin rakamsal karşılıkları yazılmaz.)*
- *Hem x hem de y eksenlerine yerleştirilecek verilerin minimum ve maksimum değerlerini belirlenir.*
- *Her iki eksen içinde uygun bir grafik skalası belirlenir. İki eksenin değerlerini birbirinden bağımsız olarak ölçeklendirilir.*
- *Ölçüm değerleri grafik kâğıdı üzerine dikkatlice yerleştirilir.*

Delik çapına bağlı olarak suyun boşalma süresinin grafiği çizilirken, delik çapı (d) bağımsız değişken, boşalma süresi (t) bağımlı değişken olduğu için delik çapı (d), x eksenine ve kaptan suyun boşalma süresi zaman (t) y eksenine yazılacaktır.

1. *t=f(d)* grafiğini aşağıdaki grafik kağıdına çiziniz ve grafiğin ismini grafiğin altındaki noktalı kısma yazınız.
2. Grafik noktaları üzerine uygun eğriyi oturtunuz.
3. Eğriyi çizmenin tek bir yolu mu var, yoksa aynı noktalardan geçen farklı eğriler de çizilebilir mi? Düşününüz.



Grafik 1. .....

UYARI 2:

Bir grafikte ölçülen noktalar arasında bulunan ama ölçümü yapılmamış bir noktadaki değerin grafikten okunmasına **interpolasyon,** ölçülen noktalar dışında kalan herhangi bir noktadaki değeri okumaya **ekstrapolasyon** yapmak denir.

Buna göre, Grafik 1' den deliğin çapının d=4cm ve d=8cm olduğu durumlarda, kaptaki suyun boşalma sürelerini okuyun ve kaydedin.

d=4 cm için t =..... d=8 cm için t =.....

4. Sizce hangi değer daha güvenilirdir? Düşününüz.
5. Zaman (t) ve delik çapı (d) arasında bir bağıntı bulmak için, *t* ile *d* arasındaki matematiksel ilişki değişik matematiksel fonksiyonlar denenerek bulunabilir. Zaman (t) ile delik çapı (d) arasında grafikten de görüldüğü gibi matematiksel ve fiziksel olarak,

$$t \propto \frac{1}{d^2}$$

bağıntısını yazmak doğrudur.

6. Tablo 5'deki değerler inceleyerek '**n**' nin kaç olabileceği konusunda gerekçeli bir öneri de bulununuz.

Tablo 5

		n=1	n=2	n=3
t (s)	d (cm)	1/d (cm^{-1})	$1/d^2$ (cm^{-2})	$1/d^3$ (cm^{-3})
73.0	1.5	0.67	0.44	0.30
41,5	2.0	0,50	0,25	0,13
18,3	3.0	0,33	0,11	0,037
6,8	5.0	0,20	0,040	0,0080

7. Bu durumda uygun bir ölçek seçerek ……ile *t* arasındaki değişimini gösteren grafiği *t*=f(…..) grafiği Tablo-5' teki değerler yardımıyla aşağıdaki grafik kağıdına çiziniz ve grafiğin ismini grafiğin altındaki noktalı kısma yazınız.

8. $t \propto \frac{1}{d^2}$ orantısını eşitlik halinde yazmak için; k orantı sabitinin belirlenmesi gerekmektedir;

$$t = k\frac{1}{d^2}$$

9. k orantı sabitini belirlemenin kaç yolu vardır? Tartışınız.

UYARI 3:

Grafik Analizi

Elde edilen grafik doğrusal ise;

y = f(x) için;

y = mx + n şeklinde ifade edilebilir.

Bu ifade genel doğru denklemidir. Burada n, doğrunun düşey ekseni kestiği nokta, m ise doğrunun x eksenine (yatay eksen) göre eğimidir.

Bunun için, grafik üzerinden deneysel noktalar dışında iki nokta seçilir ve bu noktalardan eksenlere paraleller çizilerek bir dik üçgen oluşturulur. Üçgenin yatay eksen ile yaptığı açının tanjantı doğrunun eğimini yani m katsayısını verir.

Bu doğru denkleminden yararlanarak, iki değişken arasındaki ilişki formülleştirilebilir.

10. Sizde yukarıda verilen Uyarı 3 teki bilgiden faydalanarak çizdiğiniz 2. grafiğin eğimini bulunuz.
11. Grafikte seçtiğiniz yükseklikteki su için *t* ile *d* arasındaki bağıntıyı gösteren bir denklem yazınız.

$$t = ...\frac{1}{d^2}$$

Deneyde Yapılan Hatanın Belirlenmesi

Hata: Bir fiziksel büyüklüğün ölçülen değeri ile gerçek değeri arasındaki farka denir. Ölçüm sonucunun güvenilirliği yapılan hataların sınırı ile belirlenir. Hatanın işaretini tespit etmek mümkün değildir. Bundan ötürü hata sınırı, ±a belirsizliği ile verilir. Örneğin; 15,4±0,2 ifadesinin anlamı şudur; ölçülen güvenilir değer 15,4 tür. Ancak hakiki değer, 15,4 den 0,2 daha büyük veya küçük olabilir demektir.

Hata sistematik ve istatistiksel olmak üzere iki türlüdür.

Grafik 2. .....

Sistematik hatalar, deney yapılan aletlerin başlangıçta ayarlanmaması, izlenen yöntemin yanlışlığı şeklinde sıralanabilir. Bu tür hatalar sonuca, her zaman aynı yönde etki eder. Deneysel sonuç gerçek değerinden sürekli olarak ya daha büyük ya da daha küçük olur.

İstatistiksel hatalar, ölçü aletlerinin duyarlılıklarının sınırlı olması ölçülen büyüklük veya ölçüm sisteminin kararsız olmasından kaynaklanır. Bu tür hatalar küçük ve çift yönlü hatalardır. Bu hatalar aynı ölçmenin çok sayıda tekrarlanması ile ortaya çıkar. Elde edilen sonuçlar farklı olup belli bir değer etrafında (ortalama değer) dağılım gösterir. Ortalama değer ile her bir ölçme sonucu arasındaki farkların cebirsel toplamı sıfırdır. Bu sonuç bize aynı bir büyüklük için tekrarlanan çok sayıda ölçmede yapılan istatistiksel (rastgele) hataların toplam etkisinin sıfır olduğunu gösterir. Bu tür hataların etkisini azaltmak için ölçüm sayısı artırılır.

Mutlak Hata

Ölçülen bir fiziksel büyüklüğün gerçek değeri x_0 ile, ölçülen x değeri arasındaki farka x_0 'ın mutlak hatası denir.

Mutlak hata; $\pm\Delta x = x_0 - x$

Gerçek değer; $x_0 = x \pm \Delta x$

x_0 gerçek değeri genel olarak tam bilinmediğinden Δx 'in de tam değeri bilinemez. Δx 'in ancak yaklaşık değeri bazı yollardan hesaplanabilir. Uygulamada mutlak hatanın görünen değeri belirlenebilir. Bu da ölçülen değer ile birçok ölçümler sonucu elde edilen en iyi değer arasındaki farka eşittir.

Bağıl Hata

Mutlak hata Δx 'in ölçülen değer x' e oranına bağıl hata denir.

$$Bağıl\ Hata = \frac{|\Delta x|}{x_0} \qquad Yüzde\ Bağıl\ Hata = \frac{|\Delta x|}{x_0} x100$$

2.DENEY

NEWTON HAREKET YASALARI

Amaç: Hava rayı düzeneği ile Newton hareket yasalarının gerçekleştirilmesi.

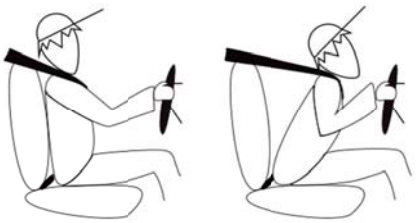
Araç ve Gereçler: Hava rayı**,** hava üfleyici, elektronik süre ölçer, optik kapılar, farklı kütleli araçlar, kefe, 10g'lık kütleler, ip, kalem, silgi, hesap makinası

1. Bilgi

Newton Hareket Yasaları:

I) Birinci Yasa: *Eylemsizlik Yasası*

Duran bir cisme bir etki yapılmadıkça harekete geçemeyeceğini, başka bir deyişle sıfır olan hızında bir değişme olamayacağını günlük gözlem ve denemelerimizden biliriz. Maddesel varlıklarda hız değişmelerine karşı koyan büyüklüğe **eylemsizlik** denir.



Cisimlerin bu özelliklerini dikkate alarak Newton'un birinci kanununu şöyle ifade edebiliriz: *Bir cisim üzerine etki eden net kuvvet sıfır (dengelenmiş bir kuvvet) ise, cismin hızında bir değişiklik olmaz, yani cisim durumunu korur. Eğer cisim hareket halinde ise hızını değiştirmeksizin düzgün doğrusal hareketine devam eder; yani doğrultu, yön ve mutlak değer bakımından hızında bir değişiklik olmaz; cisim durgun ise bu halini değiştirmez.*

II) İkinci Yasa: *Temel Yasa*

Bir cisme bir kuvvet etki ettiğinde cismin hızında bir değişiklik olacaktır, birim zamanda hızda meydana gelen değişme ivme olduğundan, cisim ivme kazanmış olacaktır. İkinci kanun kinematik bir büyüklük olan ivme ile dinamik bir büyüklük olan kuvvet arasındaki bağıntıyı oluşturur.

Masa üzerinde sürtünmesiz olarak hareket edebilecek bir arabaya ince bir ip bağlayarak F_1 kuvveti ile çektiğimizde kazandığı ivme a_1, aynı cismi F_2 kuvveti ile çektiğimizde kazandığı ivme a_2 olsun. Uygulanan kuvvetle, kazanılan ivme arasındaki oran her zaman sabittir ve bu oran sabitine kütle denir.

$$\frac{F_1}{a_1} = \frac{F_2}{a_2} = ... = sabit \qquad (1)$$

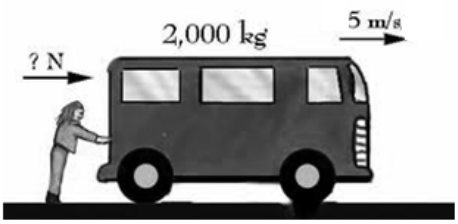
İkinci kanunu şöyle ifade edebiliriz: *Sabit bir kuvvetin etkisinde olan bir parçacık sabit bir ivme kazanır.*

$$\vec{F} = m\vec{a} \qquad (2)$$

Bu bağıntıya *dinamiğin temel bağıntısı* denir.

Bu bağıntı bize kuvveti tanımlamaktadır.

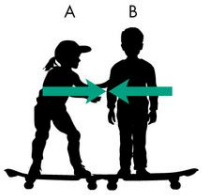
Kuvvet vektörel bir büyüklüktür, doğrultusu ivmenin doğrultusunda, yönü ivmenin yönündedir. Kuvvetin birimi MKS birim sisteminde NEWTON dur. Tanımı, 1kg'lık kütleye 1 m/s^2'lik ivme kazandıran kuvvettir. CGS sisteminde ise kuvvetin birimi Dyn'dir. 1 dyn, 1 g kütleye 1 cm/s^2 ivme kazandıran kuvvettir.

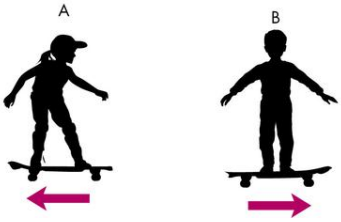


Newton'un ikinci kanunu, birinci kanunu da kapsamaktadır. Bir parçacığa bir kuvvet etki etmiyorsa $F = 0$ demektir. Cismin kütlesi olan m sıfır olamayacağına göre, temel denklemden $a = 0$ olur. Bunun anlamı, cismin hızında değişiklik olmaz, yani cismin hızı sabit kalıyor demektir.

III) Üçüncü Yasa: *Etki-tepki Yasası*

Kuvvet, cisimlerin karşılıklı etkilerinden doğar ve bu nedenle daima çift olarak ortaya çıkar. Bir cisim diğer bir cisme kuvvet uygularsa ikinci cisim de birinciye aynı büyüklükte fakat zıt yönde bir kuvvetle karşı koyar.





$\vec{F}$ ve $-\vec{F}$ kuvvetleri iki cismin birbirlerine uyguladıkları kuvvetler ise $\vec{F} = -\vec{F}$ olur. F kuvvetine *etki kuvveti* dersek, F' kuvvetine F in *tepkisi veya tepki kuvveti* denir. Etki- tepki ilkesi genel olarak şöyle ifade edilir: Her etkiye eşit ve zıt yönde bir tepki vardır veya iki cismin birbirine karşılıklı etkileri eşit ve zıt yönlüdür.

İki cismin birbirlerine karşılıklı uyguladıkları kuvvetlerin oranı momentum impuls ilişkisi ile sağlanabilir.

Bir cismin veya taneciğin kütlesi m ile hızı v çarpımına, o cismin momentumu veya hareket miktarı denir ve

$$\vec{p} = m\vec{v} \tag{3}$$

bağıntısıyla ifade edilir ve yönü hız vektörü yönündedir. Bir kuvvetin etki süresi ile çarpımına ise **impuls** denir. Eğer $\vec{F}$ kuvveti serbest bir cisme *dt* saniye süresi kadar etkimiş ise impuls $\vec{F}dt$ olacaktır. (3) denklemi (2) denkleminde kullanılarak dinamiğin temel bağıntısı

$$\vec{F} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \frac{d\vec{p}}{dt} \tag{4}$$

şeklinde yazılır. Bu bağıntıdan görüldüğü gibi bir cisme veya taneciğe ivme kazandıran net kuvvet birim zamandaki momentum değişimine eşittir.

Her iki cisme cisimler birbirinden ayrılana kadar uygulanan itmeler (4) bağıntısına göre sırasıyla

$$\overrightarrow{F_1}\Delta t_1 = \overrightarrow{\Delta p_1} \text{ ve } \overrightarrow{F_2}\Delta t_2 = \overrightarrow{\Delta p_2} \tag{5}$$

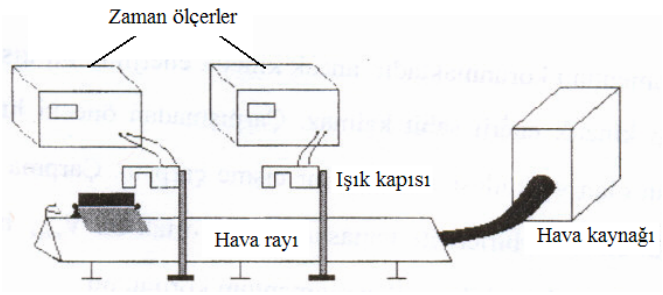
ise ve (2) bağıntısı kullanılarak her iki cisme etki eden kuvvetler oranı

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{m_1}{m_2}\frac{t_2}{t_1}\frac{l_1}{l_2} \tag{6}$$

bulunur.

2. Deney

1. Işık kapıları Şekil-1' deki gibi yerleştirilir. Ray eğimsiz olacak şekilde vidalı ayaklar yardımıyla ayarlanır.



Şekil 1

I) Newton' un 1. Yasanın Uygulanması:

2. Şekil-1'deki rayın bir ucuna lastik yansıtıcı yerleştirilir ve zaman ölçerler sıfırlanır. Işık kapısı ile yansıtıcı arasına yerleştirilen araca yansıtıcıdan dönebileceği şiddette küçük bir itme verilir. Dönen aracın her iki ışık kapısından geçiş süreleri (t_1, t_2) zaman ölçerlerden okunarak Tablo-1'e işlenir.

3. Aracın boyu (ℓ) ölçülür ve

$$v = \frac{\ell}{t} \tag{7}$$

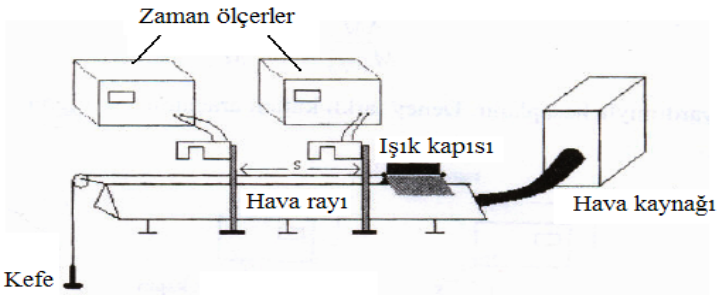
bağıntısı kullanılarak her iki kapıdan geçiş hızı (v_1, v_2) hesaplanır, sonuçlar Tablo-1'e işlenerek karşılaştırılır. Deney farklı kütleli iki araçlarla tekrarlanır.

Tablo 1

m (kg)	ℓ (m)	t_1 (s)	t_2 (s)	v_1 (m/s)	v_2 (m/s)

4. Hava kaynağı çalışırken araç hareketsiz kalacak şekilde ray üzerine yerleştirilir ve hareketi gözlemlenir (*Cisim durgun ise bu halini değiştirmez).*

II) Newton' un 2. Yasasının Uygulanması:



Şekil 2

5. Işık kapıları arasındaki mesafe $s = 40cm$ olacak şekilde ayarlanır. Rayın bir ucuna makara takılır. Kefe ip vasıtasıyla araca takılarak makara üzerinden sarkıtılır (Şekil-2).

6. Araç, şekildeki konuma yerleştirildikten sonra zaman ölçerler sıfırlanır ve araç serbest bırakılır.

7. Aracın her iki kapıdan geçiş süreleri $(t_1,\ t_2)$ zaman ölçerlerden okunarak Tablo-2'ye işlenir. Kefeye 10'ar gr lık kütleler ilave edilerek ölçümler tekrarlanır.

8. Araç boyu ℓ ölçülür.

9. (3) bağıntısı kullanılarak aracın her iki kapıdan geçiş hızları $(v_1,\ v_2)$ hesaplanarak, kareleri alınıp Tablo-2'ye işlenir.

10.

$$a = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2s} \tag{8}$$

bağıntısı kullanılarak aracın ivmesi (*a*) hesaplanır ve Tablo-2'ye işlenir.

Tablo 2

m_{kefe} (kg)	*F* (N)	t_1 (s)	t_2 (s)	v_1^2 (m/s)^2	v_2^2 (m/s)^2	*a* (m/s^2)	M_{sistem} (kg)	$M_{araç}$ (kg)
0,03								
0,04								
0,05								
0,06								
							$\left(M_{araç}\right)_{ort}$	

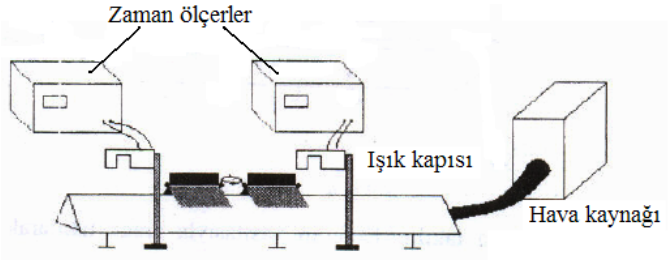
11. (1) bağıntısı kullanılarak sistemin (araç + kefe) kütlesi M_{sistem} bulunur. $M_{sistem} = M_{araç} + m_{kefe}$ bağıntısı kullanılarak $M_{araç}$ hesaplanır.

12. Kullanılan aracın kütlesinin ortalama değeri $\left(M_{araç}\right)_{ort}$ alınarak deneyde yapılan bağıl hata (9) denklemi yardımıyla hesaplanır.

$$\frac{\Delta M}{\left(M_{araç}\right)_{gerçek}} = \frac{\left|\left(M_{araç}\right)_{gerçek} - \left(M_{araç}\right)_{ort}\right|}{\left(M_{araç}\right)_{gerçek}} \tag{9}$$

III) Newton' un 3. Yasasının Uygulanması:

13. Araçların birer uçlarına lastik yansıtıcılar yerleştirildikten sonra Şekil 3'deki gibi lastik yansıtıcılar karşılıklı olacak şekilde iki kapı arasına yerleştirilir ve zaman ölçerler sıfırlanır.



Şekil 3

14. Araçlar diğer uçlarından eşit büyüklükte kuvvet ile sıkıştırılır ve her iki araçtaki kuvvetler aynı anda ani olarak kaldırılır. Her iki aracın ışık kapılarından geçiş süreleri (t_1, t_2) zaman ölçerlerden okunarak Tablo-3'e işlenir.

Tablo 3

m_1 (kg)	m_2 (kg)	t_1 (s)	t_2 (s)	$\frac{m_1}{m_2}$	$\frac{t_1}{t_2}$

15. Her iki araca etki eden kuvvetler oranı, (6) bağıntısı kullanılarak bulunur.

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{m_1}{m_2}\frac{t_2}{t_1}\frac{l_1}{l_2} = \ldots\ldots\ldots\ldots$$

16. Deney farklı kütleli araçlarla tekrarlanır ve sonuçlar Tablo-3'e işlenir.

3.DENEY

ÇİZGİSEL MOMENTUM KORUNUMU

Amaç: İki boyutlu çarpışma yardımı ile momentum korunumunun incelenmesi.

Araç ve Gereçler: Metal oluklu yol, 2 tane metal bilye (büyük ve küçük), karbon kağıdı, beyaz kağıt, cetvel, çekül ve ip.

1. Bilgi

I) Momentum: Bir noktasal cismin çizgisel momentumu bir vektörel büyüklük olup cismin m kütlesi ile $\vec{v}$ hızının çarpımına eşittir.

$$\vec{P} = m\vec{v} \tag{1}$$

Hız vektörünün yönü ve doğrultusu momentum vektörünün yönü ve doğrultusunu belirler.

Newton'un ikinci yasasından bir cisme etki eden dış kuvvet

$$\vec{F}_{dis} = m\vec{a} = m\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{\Delta\vec{P}}{\Delta t} \tag{2}$$

veya;

$$\vec{F}_{dis} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\vec{P}}{\Delta t} = \frac{d\vec{P}}{dt} \tag{3}$$

şeklinde yazılabilir. Yani cisme uygulanan dış kuvvet momentumun zamana göre türevine eşit olmaktadır. Cisme uygulanan kuvvet ile bu kuvvetin uygulama süresinin çarpımına **itme (impuls)** denir. Newton'un ikinci yasasından, itme;

$$\vec{I} = \vec{F}_{dis} \cdot \Delta t = m\Delta\vec{v} = \Delta\vec{P} \tag{4}$$

şeklinde tanımlanır. Denklem (4)' de görüldüğü gibi bir kuvvetin itmesi, momentumdaki değişme miktarına eşittir ve yönü momentum değişimi yönündedir.

II) Momentum Korunumu: Bir tek parçaçık yerine n tane parçaçıktan oluşan bir sistemin, toplam momentumunu; M sistemin toplam kütlesi ve $\vec{v}_1, \vec{v}_2, \ldots$.. parçacıkların hızları ve $\vec{v}$ sistemin kütle merkezinin hızı olmak üzere

$$\vec{P} = \vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \cdots = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 + \cdots = M\vec{v} \tag{5}$$

şeklinde yazılır. O halde, noktasal kütleler sisteminin toplam momentumu, sistemin toplam kütlesi ile kütle merkezinin hızının çarpımına eşittir.

Sisteme etki eden dış kuvvetlerin bileşkesi sıfıra eşitse sistemin toplam momentumu (2) numaralı denklemden de anlaşılacağı gibi sabit kalır. Buna genellikle **çizgisel momentumun korunumu prensibi** denir. Sistemi oluşturan her noktasal kütlenin $\vec{P}_1, \vec{P}_2, \ldots$ momentumlarının değişebilmelerine karşılık sistemin toplam momentumu sabit kalır.

$$\vec{P}_{ilk} = \vec{P}_{son} \tag{6}$$

III) Çarpışmalar: Kütleleri m_1 ve m_2 olan iki cismin çarpışmaları durumunda cisimler birbirlerine çok kısa zaman süresinde çok büyük kuvvet uygularlar. Çarpışma sırasında 2. cismin 1. cisme uyguladığı kuvvet $\vec{F}_{21}$, 1. cismin 2. cisme uyguladığı kuvvet de $\vec{F}_{12}$ ise Newton'un 3. yasasından (etki-tepki yasası) bu kuvvetler aynı doğrultuda, aynı şiddette ve zıt yönde olmalıdır. Çarpışma sonucunda 1. cismin momentumundaki değişme

$$\Delta\vec{P}_1 = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}_{21}\, dt = \vec{F}_{21}\Delta t \tag{7}$$

2. cismin momentumundaki değişme miktarı ise;

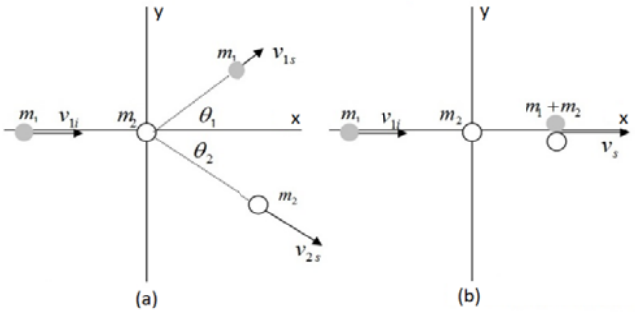
$$\Delta\vec{P}_2 = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}_{12}\, dt = \vec{F}_{12}\Delta t \tag{8}$$

çarpışma süresince sisteme dış kuvvet etki etmiyorsa (sistem izole ise)

$$\Delta\vec{P}_1 + \Delta\vec{P}_2 = 0 \tag{9}$$

olur. Bu durumda, sistemin ilk ve son toplam momentumları birbirine eşit olur. Bu sonuçta bize çarpışma olaylarında momentumun korunduğunu gösterir.

Çarpışmalar **esnek çarpışma** ve **esnek olmayan çarpışma** olarak ikiye ayrılmaktadır. Her iki çarpışma türünde de momentum korunmaktadır.



Şekil 1. (a) Esnek çarpışma (b) esnek olmayan çarpışma.

Şekil 1'deki esnek çarpışma göz önüne alındığında sistemin toplam momentumunun x bileşeni çarpışmadan önceki ve sonraki durumlar için;

$$m_1 v_{1i} = m_1 v_{1s} \cos\theta_1 + m_2 v_{2s} \cos\theta_2 \tag{10}$$

ve sistemin toplam momentumunun y bileşeni

$$m_1 v_{1s} \sin\theta_1 = m_2 v_{2s} \sin\theta_2 \tag{11}$$

şeklinde yazılır. Esnek çarpışmada kinetik enerji korunur, dolayısıyla

$$\frac{1}{2} m_1 {v_{1i}}^2 = \frac{1}{2} m_1 {v_{1s}}^2 + \frac{1}{2} m_2 {v_{2s}}^2 \tag{12}$$

eşitliği yazılır.

Şekil 1'deki esnek olmayan çarpışma göz önüne alındığında, sistemin çarpışmadan önceki ve sonraki toplam momentumunun x bileşeni;

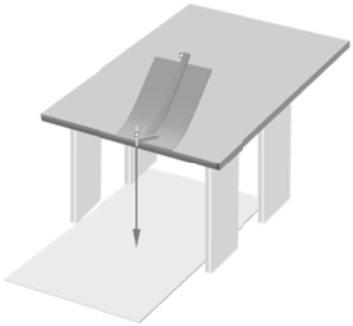
$$m_1 v_{1i} = (m_1 + m_2) v_s \tag{13}$$

şeklinde yazılır. Sistemin toplam momentumunun y bileşeni yoktur. Bu çarpışmada kinetik enerji korunmaz.

Esnek çarpışmada kinetik enerji kaybı olmamasına, yani kinetik enerji korunmasına rağmen esnek olmayan çarpışmada kinetik enerjinin bir kısmı çarpışma süresince ısı enerjisi gibi başka enerji türlerine dönüşür ve kinetik enerji korunmaz. Tam esnek olmayan çarpışmada cisimler çarpışmadan sonra ortak hızla birlikte hareket ederler.

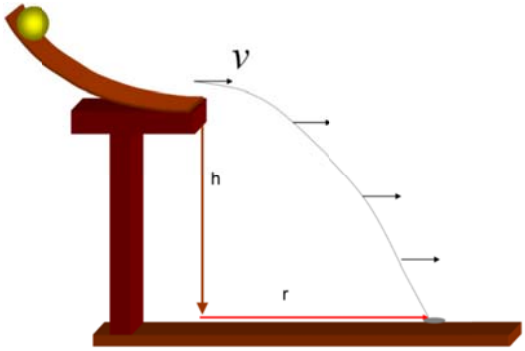
2. Deney

1. Oluklu bilye yolunun tutturulmuş olduğu masanın önündeki zemine büyük beyaz kağıt yayılır ve çekülün izi kağıt üzerinde işaretlenir. Bu durumdan sonra kağıdın konumu deney süresince değiştirilmez (şekil 2).
2. Bilyelerin kütleleri ölçülerek Tablo-1'e işlenir.



Şekil 2. Deney düzeneği.

3. Vidası çevresinde dönen B kolu bilyeyi engellemeyecek şekilde ayarlanır.
4. Oluklu yolun tepesinden yuvarlanmaya bırakılan çelik bilye, yolun sonunda kazandığı hızla masa kenarından yatay atış hareketi yaparak yerdeki kağıt üzerine düşer ve kağıt üzerinde bıraktığı iz işaretlenir. Bu işlem yaklaşık 5 kez tekrarlanır.



Şekil 3. Oluklu yoldan çıkan bilyenin çizdiği yörünge.

Burada bilyenin oluklu yolun sonunda sahip olacağı hız, şekil 3'deki gibi yatay atış hareketi göz önüne alınarak;

$$h = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2}g\frac{r^2}{v^2} \tag{14}$$

ifadesinden

$$v = \sqrt{\frac{1}{2}g\frac{r^2}{h}} \tag{15}$$

olarak elde edilir. Burada, hız ifadesi;

$$v = \sqrt{\frac{g}{2h}}r = sabit\ r \tag{16}$$

olarak yazılabilir. Buradaki sabit

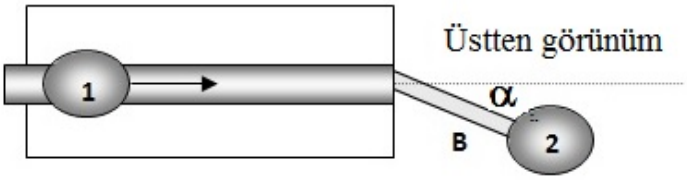
$$sabit = \sqrt{\frac{9{,}8}{2 * 0{,}77}} \cong 2{,}52\ s^{-1}$$

olarak hesaplanır. Dolayısıyla bilyenin momentumunun büyüklüğü

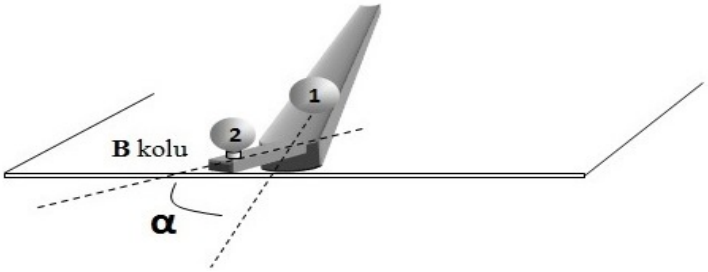
$$P = M(kg)\ 2{,}52\ r_i(m) \tag{17}$$

ifadesiyle hesaplanabilir.

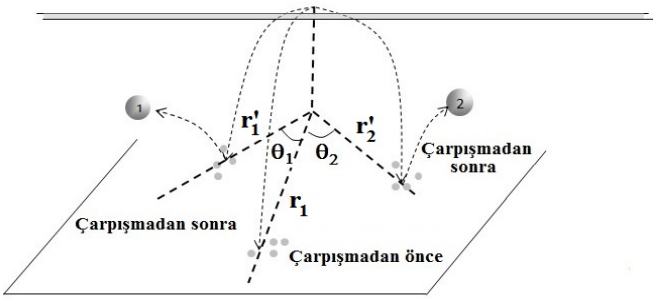
5. B kolu belli bir açıda (α_1) ayarlanarak sabitlenir (Şekil 4a,b).
6. B kolunun ucundaki yuvaya şekil 4'deki gibi ikinci bilye yerleştirilir. Birinci bilyenin oluklu yolun tepesinden bırakılarak ikinci bilyeye çarpması sağlanır. Bu çarpışma sonucunda bilyeler kazandıkları hızlarla yatay düzlemde, oluklu yolun doğrultusuyla, belirli açılar yapacak şekilde saçılırlar. Saçılan bilyeler *yatay atış hareketi* yaparak yere düşerler. Bu işlem yaklaşık 5 kez tekrarlanarak bilyelerin düştükleri noktaların izleri belirlenir (Şekil 5).



Şekil 4a. Bilyelerin üstten görünümü.



Şekil 4b. Oluklu yolun ucunda küçük bilyenin konumunun ayarlanması.



Şekil 5. Bilyelerin esnek çarpışması.

7. Bilyelerin izlerini içine alacak şekilde çemberler çizilir. Bu çemberlerin merkezleri çekülün iz düşümü ile birleştirilir (Şekil 5). r_1, r_1' ve r_2' uzunlukları belirlenerek Tablo 1'e işlenir.

Tablo 1

$m_{büyük}(kg)$	$m_{küçük}(kg)$	$y(m)$	$r_1(m)$	$r_1'(m)$	$r_2'(m)$
0,0112	0,0056	0,77			

8. Bilyenin çarpışmadan önceki $\vec{P}_1$ ve her iki bilyenin çarpışmadan sonraki $\vec{P}_1'$ ve $\vec{P}_2'$ momentumlarının büyüklükleri (17) bağıntısından hesaplanır.
9. Sistemin momentumunun korunumunu göstermek için önce çarpışan bilyelerin çarpışmadan önceki ve çarpışmadan sonraki momentumlarının x ve y eksenlerindeki değerleri bulunur. Bunun için bilyelerin yere çarptıkları konum vektörlerinin x ve y eksenlerine izdüşümleri, r_{ix}, r_{iy} değerleri kağıt üzerinde cetvel yardımıyla belirlenir. Daha sonra, bilyelerin x ve y eksenlerindeki momentumları her bir bilye için,

$$P_{ix} = M_i(kg)\ 2{,}52\ r_{ix}(m) \qquad P_{iy} = M_i(kg)\ 2{,}52\ r_{iy}(m)$$

İfadeleriyle hesaplanarak sonuçlar Tablo 2'ye işlenir. Bileşenler yardımıyla momentumun korunup korunmadığı Tablo 3'deki değerler hesaplanarak gösterilir.

Tablo 2

$P_{1x}(kgm/s)$	$P_{1y}(kgm/s)$	$P'_{1x}(kgm/s)$	$P'_{1y}(kgm/s)$	$P'_{2x}(kgm/s)$	$P'_{2y}(kgm/s)$

Tablo 3

$P_{1x} = P'_{1x} + P'_{2x}$	$P_{1y} = P'_{1y} + P'_{2y}$

4.DENEY

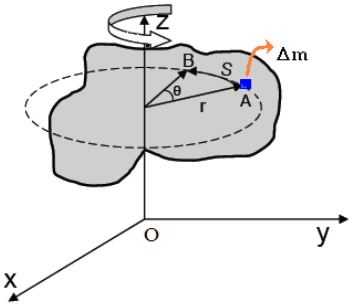
EYLEMSİZLİK MOMENTİ

Amaç: Sabit bir eksen etrafında dönen katı cisimlerin eylemsizlik momentlerini ölçmek.

Araç ve Gereçler: Kronometre (zaman ölçer), kumpas, cetvel, disk, halka, levha, kütleler

1. Bilgi

Eylemsizlik momenti dönme hareketi yapan cisimlere ilişkin bir fiziksel özelliktir. Eylemsizlik kütlesi nasıl bir cismin çizgisel hızındaki değişmeye karşı gösterdiği direncin bir ölçüsü ise eylemsizlik momenti de bir cismin açısal hızındaki değişmeye karşı gösterdiği direncin bir ölçüsüdür. Eylemsizlik momenti büyük olan cisimlerin açısal momentumunu değiştirmek için daha büyük bir tork gerekir.



Şekil 1. z ekseni etrafında dönme hareketi yapan katı bir cisim.

Dönme Hareketi: Katı cismin zamana göre sabit bir eksen etrafında dönme hareketinin kinematiği çizgisel hareket eden bir parçacığın hareketinin kinematiğine benzer. Şekil 1 de, eylemsiz bir koordinat sisteminin z-ekseni etrafında dönen bir katı cisim verilmiştir. Bu cismin, her birinin kütlesi Δm olan çok sayıda parçacıktan oluştuğunu varsayalım. Dönme ekseninden r kadar uzakta A noktasında bulunan Δm kütlesinin açısal konumunu θ açısı ile gösterelim. Dönme sırasında bir Δt süresi içinde açısal konum $\Delta\theta$ kadar değişirse parçacık $\Delta s = r\Delta\theta$ kadar yol alır. Parçacığın çizgisel hızının şiddeti

$$\upsilon = \frac{dS}{dt} = r\frac{d\theta}{dt} \tag{1}$$

olarak verilir. (1) bağıntısındaki açının zamanla değişme hızına açısal hız denir ve

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \tag{2}$$

şeklinde ifade edilir. Birimi rad/s'dir. Buna göre (1) bağıntısı

$$\upsilon = r\omega \tag{3}$$

olarak yazılabilir. Katı cismi meydana getiren bütün parçacıkların açısal hızı aynı çizgisel hızları farklıdır.

Açısal İvme: Açısal hızın zamanla değişme hızına açısal ivme denir ve

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} \tag{4}$$

olarak verilir. Birimi rad/$s^{2'}$dir. (3) bağıntısından türev alınarak çizgisel (teğetsel) ivme

$$a_t = \frac{d\upsilon}{dt} = r\frac{d\omega}{dt} \tag{5}$$

olarak elde edilir. Buna göre, dönen cismin açısal ivmesi ile a_t teğetsel ivmesi arasında

$$a_t = r\alpha \tag{6}$$

bağıntısı vardır.

Dönme Kinetik Enerjisi: Sabit ω açısal hızıyla dönen bir katı cismin her parçacığının kütlesine ve hızına bağlı bir kinetik enerjisi vardır. i. parçacığın kütlesi M_i ve hızı υ_i ise kinetik enerjisi

$$K_i = \frac{1}{2}M_i\upsilon_i^2 = \frac{1}{2}M_i r_i^2\omega^2 \tag{7}$$

dir. Cismin toplam kinetik enerjisi Denklem (7) 'de verilen kinetik enerjilerin toplamı olacaktır:

$$K = \sum K_i = \frac{1}{2}\sum M_i r_i^2\omega^2 = \frac{1}{2}(\sum M_i r_i^2)\omega^2 \tag{8}$$

burada ω^2 her parçacık için aynı olduğundan parantez dışına alınır.

Eylemsizlik Momenti: Denklem (8)'deki parantez içindeki nicelik, dönme eksenine göre eylemsizlik momenti olarak tanımlanır:

$$I = \sum M_i r_i^2 \tag{9}$$

Eylemsizlik momenti I sembolü ile gösterilir ve birimi kg·m^2'dir. Cisim sürekli yapıya sahip ise denklem (9)

$$I = \int r^2 dm \tag{10}$$

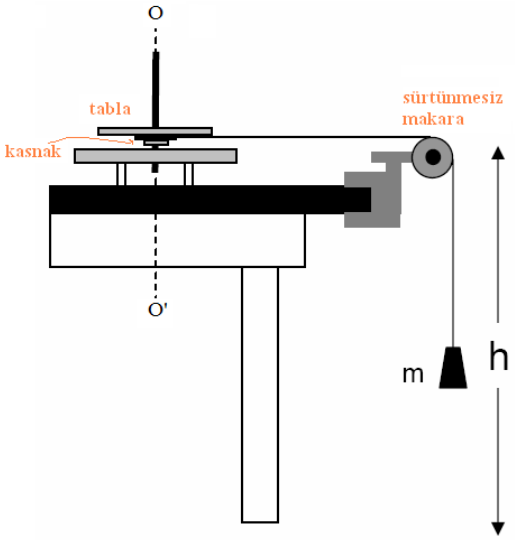
şekline dönüşür. Bu durumda bir eksen etrafında dönmekte olan bir cismin toplam kinetik enerjisi

$$E_k = \frac{1}{2}I\omega^2 \tag{11}$$

ifadesi ile verilir.

Enerji Korunumu Kullanılarak Eylemsizlik Momenti Hesabı:

Şekil 2'de şematik olarak gösterilen sistem, düşey bir eksen etrafında dönebilen disk şeklinde bir tabla ile h yüksekliği boyunca düşen bir m kütlesinden oluşmuştur. m kütlesinin ağırlığı r yarıçaplı bir kasnağa sarılı olan ipi çekerek, tablayı döndürür.



Şekil 2. Deney Düzeneğinin Şematik Gösterimi.

Başlangıçta sadece potansiyel enerjisi olan m kütlesi bu enerjiyi kendi hızlanması (υ) ve ipin sarılı olduğu diski döndürmesi (ω) suretiyle kinetik enerjiye dönüştürecektir. Sistem durgun halden harekete başlarsa $\upsilon_0 = 0$ ve $\omega_0 = 0$ olacağından, başlangıçta sistemin kinetik enerjisi sıfırdır. Sistemin enerjisi, m kütlesinin potansiyel enerjisi olan mgh kadardır. m kütlesi h kadar alçalınca, başlangıçta sadece mgh kadar potansiyel enerjisi olan m kütlesi, bu enerjiyi kendi hızlanması (υ_1) ve ipin sarılı olduğu disk şeklindeki tablanın dönmesinden (ω) kaynaklanan kinetik enerjilere dönüştürecektir. Bu durum enerji korunumuna göre,

$$mgh = \frac{1}{2}m\upsilon^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 \tag{12}$$

şeklinde olmalıdır.

İpin sarıldığı kasnağın yarıçapı r ise diskin dönme açısal hızı (ω) ile m kütlesinin aşağıya iniş hızı arasında

$$\upsilon = r\omega \tag{13}$$

bağıntısı vardır. Sistem sabit bir kuvvetin etkisiyle (yer çekimi kuvveti) hareket ettiğine göre m kütlesi düzgün hızlanan doğrusal bir hareket yapar. Dolayısıyla,

$$\upsilon = \frac{2h}{t} \tag{14}$$

yazılabilir. (12), (13), (14) bağıntılarından yararlanarak

$$I = mr^2\left(\frac{gt^2}{2h} - 1\right) \tag{15}$$

şeklinde bulunur.

2.Deney:

Deney düzeneğindeki ipin sarılı olduğu kasnağın yarıçapı ölçülür ve tabloya işlenir. 30 gramlık kütlenin bırakılacağı h yüksekliği 75 cm olarak ayarlanır. Kütlenin bu yükseklikten aşağıya iniş süresi 3 kez ölçülerek ortalama süre hesaplanır. Denklem (15) kullanılarak tablanın (I_{Tabla}) eylemsizlik momenti hesaplanır.

Tablo 1

r_{kasnak} *(m)*	h *(m)*	m *(kg)*	t_1 *(s)*	t_2 *(s)*	t_3 *(s)*

t_{ort} *(s)*	I_{Tabla} *(kg·m²)*

Disk:

Deney düzeneğindeki tablanın üzerine disk yerleştirilir. 30 gramlık kütlenin bırakılacağı h yüksekliği 75 cm olarak ayarlanır. Kütlenin bu yükseklikten aşağıya iniş süresi 3 kez ölçülerek ortalama süre hesaplanır. Denklem (15) kullanılarak tabla ve diskin toplam eylemsizlik momenti ($I_{Tabla} + I_{Disk}$) hesaplanır. Toplam eylemsizlik momentinden ($I_{Tabla} + I_{Disk}$), tablanın eylemsizlik

momenti (I_{Tabla}) çıkarılarak, diskin eylemsizlik momenti (I_{Disk}) hesaplanır. Denklem (16) kullanılarak diskin teorik eylemsizlik momenti ($I_{Disk^{Teorik}}$) hesaplanır ve hata hesabı yapılır.

$$I_{Disk^{Teorik}} = \frac{1}{2} MR^2 \tag{16}$$

Tablo 2

r_{kasnak} (m)	h (m)	m (kg)	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)

t_{ort} (s)	$I_{Tabla} + I_{Disk}$ (kgm^2)	$I_{Disk^{Deney}}$ ($kg{\cdot}m^2$)	M_{Disk} (kg)	R_{Disk} (m)	$I_{Disk^{Teorik}}$ ($kg{\cdot}m^2$)	B. Hata (%)

Halka:

Deney düzeneğindeki tablanın üzerine halka yerleştirilir. 30 gramlık kütlenin bırakılacağı h yüksekliği 75 cm olarak ayarlanır. Kütlenin bu yükseklikten aşağıya iniş süresi 3 kez ölçülerek ortalama süre hesaplanır. Denklem (15) kullanılarak tabla ve halkanın toplam eylemsizlik momenti ($I_{Tabla} + I_{Halka}$) hesaplanır. Toplam eylemsizlik momentinden ($I_{Tabla} + I_{Halka}$), tablanın eylemsizlik momenti (I_{tabla}) çıkarılarak, halkanın eylemsizlik momenti (I_{Halka}) hesaplanır. Halkanın iç yarıçapı $R_{iç}$ ve dış yarıçapı $R_{dış}$ olmak üzere denklem (17) kullanılarak halkanın (I_{Halka_Teorik}) teorik eylemsizlik momenti hesaplanır ve hata hesabı yapılır.

$$I_{Halka^{Teorik}} = \frac{1}{2} M \left(R_{iç}{}^2 + R_{dış}{}^2 \right) \tag{17}$$

Tablo 3

r_{kasnak} (m)	h (m)	m (kg)	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)

t_{ort} (s)	$I_{Tabla} + I_{Halka}$ ($kg{\cdot}m^2$)	$I_{Halka^{Deney}}$ ($kg{\cdot}m^2$)	M_{Halka} (kg)	$R_{iç}$ (m)	$R_{dış}$ (m)	$I_{Halka^{Teorik}}$ ($kg{\cdot}m^2$)	B. Hata (%)

Levha:

Deney düzeneğindeki tablanın üzerine levha yerleştirilir. 30 gramlık kütlenin bırakılacağı h yüksekliği 75 cm olarak ayarlanır. Kütlenin bu yükseklikten aşağıya iniş süresi 3 kez ölçülerek ortalama süre hesaplanır. Denklem (15) kullanılarak tabla ve levhanın toplam eylemsizlik momenti ($I_{Tabla} + I_{Levha}$) hesaplanır. Toplam eylemsizlik momentinden (I_{tabla}+I_{Levha}), tablanın eylemsizlik momenti (I_{Tabla}) çıkarılarak, levhanın eylemsizlik momenti (I_{Levha}) hesaplanır. Levhanın kısa kenarı a ve uzun kenarı b olmak üzere denklem (18) kullanılarak levhanın teorik eylemsizlik momenti ($I_{Levha^{Teorik}}$) hesaplanır ve hata hesabı yapılır.

$$I_{Levha^{Teorik}} = \frac{1}{12} M(a^2 + b^2) \tag{18}$$

Tablo 4

r_{kasnak} *(m)*	h *(m)*	m *(kg)*	t_1 *(s)*	t_2 *(s)*	t_3 *(s)*

t_{ort} *(s)*	$I_{Tabla} + I_{Levha}$ *(kg·m²)*	$I_{Levha^{Deney}}$ *(kg·m²)*	M_{Levha} *(kg)*	a *(m)*	b *(m)*	$I_{Levha^{Teorik}}$ *(kg·m²)*	B. Hata *(%)*

5.DENEY

YAYLI ve BASİT SARKAÇ

Amaç:

i) Bir spiral yayın yay sabitinin belirlenmesi ve basit harmonik hareket yapan bir cismin periyodunun incelenmesi.
ii) Basit sarkaç kullanılarak yerçekimi ivmesinin belirlenmesi.

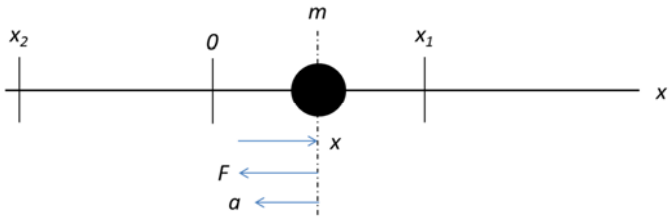
Araç ve Gereçler: Yay, farklı uzunlukta ip, kütle, çubuk metre, kronometre (zaman ölçer), milimetrik kağıt, bilimsel hesap makinesi.

1. Bilgi

Basit Harmonik Hareket: Belirli aralıklarla tekrarlanan harekete **periyodik hareket**, sabit bir nokta etrafında periyodik hareket yapan cismin hareketine ise **titreşim hareketi** denir.

Genellikle sinüs veya kosinüs fonksiyonu olarak ifade edilen periyodik hareketlere **harmonik hareket** denir. Böyle bir hareket yapan bir parçacığın hiçbir kuvvetin etkisinde olmadığı konumu **denge konumu** ve herhangi bir andaki konumunun denge konumuna olan uzaklığı da **uzanım** olarak anılır. Parçacığı denge konumuna geri getirmeye çalışan kuvvet, uzanımla orantılı ise titreşim hareketine **basit harmonik hareket (BHH)** denir.

Bir yaya asılı bir kütlenin denge durumundan uzaklaştırılarak serbest bırakılması sonucu



Şekil 1. BHH yapan parçacık.

yaptığı hareket BHH'dir. BHH'de parçacığa etki eden geri getirici kuvvet F ve bu kuvvetin yönü y'nin zıt yönünde olduğundan,

$$F = -kx \tag{1}$$

dir. Bu bağıntıdaki k orantı katsayısıdır. Diğer taraftan, parçacığa bir kuvvet etki ettiğinden Newton'un ikinci kanununa göre bu geri getirici kuvvet,

$$F = ma = m\frac{dv}{dt} = m\frac{d^2x}{dt^2} \tag{2}$$

dir. Buradan,

$$-kx = m\frac{dv}{dt} \quad \text{veya} \quad m\frac{d^2y}{dt^2} + kx = 0 \tag{3}$$

denklemi yazılabilir. $\omega^2 = k/m$ (ω; açısal frekans) olmak üzere, bu son denklem

$$\frac{d^2y}{dt^2} + \omega^2 x = 0 \tag{4}$$

şeklinde ifade edilir. (4) denklemine genellikle *harmonik osilatör denklemi* denir ve çözümü, A bir *sabit genlik*, δ *başlangıç fazı* olmak üzere

$$y = Asin\left(\omega t + \delta\right) \tag{5}$$

şeklindedir.

(5) bağıntısından hareket ederek;

$$v = \frac{d\ x}{dt} = \omega Acos(\omega t + \delta) \tag{6}$$

$$a = \frac{d\ v}{dt} = -\omega^2 Asin(\omega t + \delta) = -\omega^2 y \tag{7}$$

elde edilir. Öte yandan açısal frekansın $\omega = \frac{2\pi}{T}$ olduğu göz önüne alınırsa, basit harmonik hareketin periyodu da

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \tag{8}$$

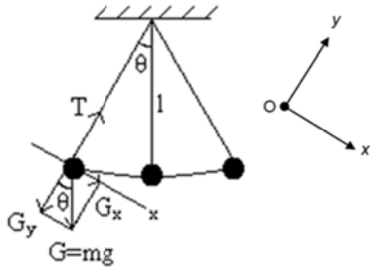
olarak bulunur.

Yerçekimi İvmesi: Bilindiği gibi, yeryüzünde fazla yüksek olmayan bir yerden serbest bırakılan bir cisim gittikçe hızlanarak düşer. Cismin bir ilk hızı olmadığına göre harekete geçebilmesi için bir kuvvet gerekir. Bu ise dinamiğin temel prensibine göre, cismin bir ivme kazanmasıyla açıklanabilir. Öte yandan serbest düşen cisim gittikçe hızlandığına göre cismin böyle bir ivme kazandığı açıktır. Cisme etki eden bu ivmeye *(g)* **yerçekimi ivmesi**, bu ivmenin oluşturduğu *(G)* kuvvetine de cismin **ağırlığı** denir. Bu takdirde, m cismin kütlesi ise,

$$G = mg \tag{9}$$

dir. Başka bir deyimle G ağırlığı dünyanın cisme etki ettirdiği kuvvettir ve genellikle **gravitasyon** veya **yerçekimi kuvveti** olarak anılır. Ancak etki-tepki prensibine göre, dünyanın cisme etki ettirdiği G kuvvetine karşılık cisim de dünyaya, bu kuvvete eşit fakat zıt yönde bir kuvvet etki ettirmektedir.

Basit Sarkaç: Bir ucundan tespit edilmiş ℓ uzunluğundaki hafif iplikle taşınan m kütleli noktasal bir cismin oluşturduğu düzeneğe *basit sarkaç* denir (Şekil-2). Basit sarkaç denge konumundan küçük bir θ açısı kadar uzaklaştırılıp serbest bırakılırsa mg yerçekimi kuvvetiyle ipteki *T* gerilmesinin etkisi altında düşey bir düzlemde periyodik salınımlar yapar. (*x, y*) koordinat eksenleri olarak Şekil-1'de verilen eksenler seçildiğinde mg 'nin *x* doğrultusundaki bileşeni $mg\sin\theta$, *y* doğrultusundaki bileşeni ise $mg\cos\theta$ olur. Dolayısıyla ipteki T gerilmesi $mg\cos\theta$ ile dengelenir.



Şekil 2

$mg\sin\theta$ bileşeni ise, m kütlesini 0 denge durumuna getirmeye çalışan geri getirici kuvvetin şiddeti olup,

$$F = mgsin\theta \tag{10}$$

şeklinde ifade edilebilir. θ açısının küçük (5°den küçük) olması halinde, $\sin\theta \approx \theta$ olup, $\theta = x/\ell$ dir. Bu durumda geri getirici kuvvet,

$$F = -mg\theta = -mg\frac{x}{\ell} \tag{11}$$

dir. O halde küçük *x* uzanımları için geri getirici kuvvet uzanımla orantılıdır ($F \ \alpha \ x$). Dolayısıyla bu şart altında basit sarkacın hareketi *basit harmonik hareket'tir.* Buna göre *k* orantı katsayısı olmak üzere,

$$F = -kx \tag{12}$$

yazılabilir. (12) bağıntısındaki (-) işareti geri getirici kuvvet olduğunu ifade eder. (11) ve (12) bağıntıları yardımıyla

$$-kx = -mg\frac{x}{\ell} \quad \text{veya} \quad k = \frac{mg}{\ell} \tag{13}$$

yazılabilir. $F = m\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)$ ile verilen dinamiğin temel bağıntısı yardımıyla

$$-kx = m\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right) \tag{14}$$

elde edilir. $\omega^2 = \frac{k}{m}$ olmak üzere, (13) bağıntısı

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0 \tag{15}$$

şekline dönüşür. Bu bağıntı ise basit harmonik hareketin diferansiyel denklemidir. (15) denkleminin çözümü, A bir sabit olan *genlik* değeri, δ *başlangıç fazı* olmak üzere,

$$x = A\sin(\omega t + \delta) \tag{16}$$

şeklindedir. Ancak başlangıç şartına bağlı olarak, çözüm

$$x = A\cos(\omega t + \delta) \tag{16a}$$

şeklinde de olabilir. Öte yandan $\omega = \frac{2\pi}{T}$ olduğundan hareketin periyodu,

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{mg/\ell}} = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \tag{17}$$

ile ifade edilir. Bu bağıntıdan küçük salınımlar için basit sarkaç periyodunun sarkaç cisminin kütlesine, salınımın genliğine bağlı olmadığı; sadece sarkaç uzunluğuna ve yerçekimi ivmesine bağlı olduğu anlaşılır.

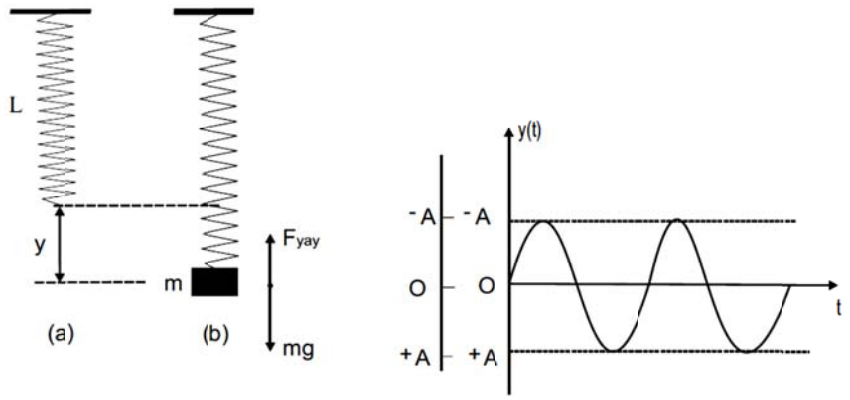
"Ancak (17) bağıntısı θ açısının küçük olması halinde geçerlidir."

2. Deney

Yay Sabitinin Belirlenmesi

1. Yayın ucuna bir *m* kütlesi asılır ve kütle denge durumundan bir miktar aşağıya doğru çekilerek serbest bırakılır. Bu durumda yay ve kütleden oluşan sistem denge durumu etrafında BHH yapar.

2. BHH'in periyodunu belirlemek için 10 tam salınımlık süre ölçülür. Bu değerlerden ortalama periyot hesaplanır. Sonuçlar Tablo-1'e işlenir.



Şekil 4. Yaylı sarkaç. m kütlesi asıldığı zaman yay Δy kadar uzar. Yay kuvveti kütlenin ağırlığına eşit olunca denge oluşur. Kütle denge konumundan $y = A$ kadar aşağı çekilir ve serbest bırakılırsa BHH gözlenir.

3. Yaya asılan kütleler gittikçe arttırılarak benzer şekilde ortalama periyot hesaplanır. Sonuçlar Tablo-1'e işlenir.

Tablo 1

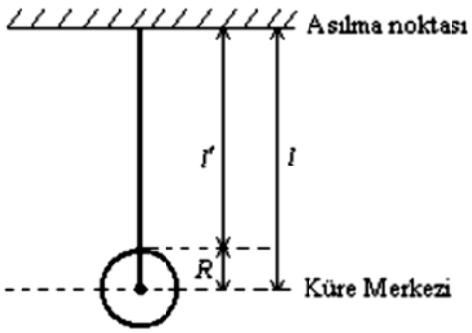
m (kg)	$10T$ (s)	T_{ort} (s)	T^2 (s^2)	k (N/m)

4. Tablo-1'deki değerlerden $T^2 = f(m)$ grafiği çizilir. Bu eğri (8) bağıntısına göre orijinden geçen bir doğru olmalıdır.

5. Çizilen bu eğriden seçilen iki tane $(m,\ T^2)$ değer çifti için (8) bağıntısı yardımıyla yay sabiti hesaplanır. Sonuçlar Tablo-1'e işlenir.

Yerçekimi İvmesinin Belirlenmesi

6. Asılma noktasından sarkaç cismine kadar olan ℓ' ip boyu bir cetvel yardımıyla ve kürenin *2R* çapı kompas kullanılarak ölçülerek sarkacın $\ell = \ell' + R$ uzunluğu hesaplanır. Bu işlem 4 farklı ip için ölçülerek değerler Tablo-2'ye işlenir.



Şekil 5

7. Sarkaç denge konumundan bir miktar (yaklaşık 5°) ayrılarak salınım yapması sağlanır. Sabit bir noktadan sarkacın aynı yöne doğru ardı ardına iki geçişi bir salınım olmak üzere 10 tam salınım için geçen süre kronometre ile okunarak sarkaç periyodu bulunur. Sonuçlar Tablo-2'ye işlenir.

8. Bu işlemler farklı uzunluklu sarkaçlar (en az 4 tel) için tekrarlanarak bulunan değerler Tablo-2'ye işlenir.

$2R = 10cm$ $R = 5cm$ ℓ' = ... $g_{gerçek} = 9,8\, m/s^2$

Tablo2

$\ell = \ell' + R$ (m)	10T (s)	T_{ort} (s)	g_{ort} (m/s^2)	$\frac{\lvert\Delta g\rvert}{g_{gerçek}}$

9. Tablo-2'den yararlanarak $T^2 = f(\ell)$ grafiği çizilir. Grafikten bulunan ℓ/T^2 oranı ve (17) ifadesi yardımıyla g yerçekimi ivmesi hesaplanır.

10. Yerçekimi ivmesinin bulunulan yerde bilinen değeri yardımıyla g'nin belirlenmesinde yapılan bağıl hata,

$$\frac{\lvert\Delta g\rvert}{g_{gerçek}} = \frac{\lvert g_{gerçek} - g_{ort.}\rvert}{g_{gerçek}} \qquad (18)$$

bağıntısından hesaplanarak Tablo-2'ye işlenir.