



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

Fen Edebiyat Fakültesi

Fizik Bölümü

TEMEL FİZİK DENEYLERİ - 1

MEKANİK

İSTANBUL-2016

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
<u>M 1</u> BİR DENEYİN ANALİZİ.....	1
<u>M 2</u> NEWTON HAREKET KANUNLARI.....	6
<u>M3</u> MEKANİK ENERJİNİN KORUNUMU (MAXWELL TEKERLEĞİ)	14
<u>M4</u> EĞİK ATIŞ HAREKETİ, ÇARPIŞMALAR VE LİNEER MOMENTUMUN KORUNUMU.....	21
<u>M 5</u> DAİRESEL HAREKET VE AÇISAL MOMENTUM KORUNUMU.....	34
<u>M 6</u> EYLEMSİZLİK MOMENTİ	43
<u>M 7</u> YAYLI VE BASİT SARKAÇ	50
<u>M 8</u> BURULMA SARKAC	57
<u>M 9</u> VİSKOZİTE, YÜZEY GERİLMESİ VE YOĞUNLUK ÖLÇÜMÜ	63

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.

DENEY

Tablo-1’de bir deneyden alınan ölçüm sonuçları verilmiştir. Deneyde aynı hacimli dört büyük silindirik kap kullanılmıştır. Kapların tabanlarına çapları farklı büyüklüklerde dairesel delikler açılmıştır. Her denemede kaplara farklı yüksekliklerde su konulmuş ve kapların boşlama sürelerinin su miktarına nasıl bağlı olduğu araştırılmıştır. Her ölçüm bar kaç kez tekrarlanmış ve kapların boşalma sürelerinin ortalamaları alınmıştır. Kullanacağınız tüm deneysel veriler Tablo-1’de verilmiştir. Amaç, deney sonuçlarını grafikler halinde ifade ederek, analiz etmek ve benzer deney sonuçlarını, deney yapmadan tahmin edebilmektir.

Tablo-1

d (cm) \ h(cm)	30	10	4	1
1.5	73.0 s	43.5 s	26.7 s	13.5 s
2	41.5 s	23.7 s	15.0 s	7.2 s
3	18.3 s	10.5 s	6.8 s	3.7 s
5	6.8 s	3.9 s	2.2 s	1.5 s

ANALİZ

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 kabın boşalma süresinin (t), önce su yüksekliği (h) sabit tutularak delik çapı (d) ile sonra delik çapı sabit tutularak su yüksekliğiyle değişimini inceleyerek, olayla ilgili matematik bir bağıntı bulunabilir.

A) h =sabit için inceleme

1. Önce sabit bir su yüksekliğini (örneğin $h=30\text{cm}$) seçin.
2. Delik çapına bağlı olarak kabın boşalma süresinin grafiğini çizin. Grafiği çizerken değişkeni (d delik çapı) yatay eksen, fonksiyonu (t boşalma süresi) dikey eksen ($t=f(d)$ grafiği)

gösterin. Eksenler üstünde yapacağınız okumaların sağlıklı olması için grafiğinizi kağıdın en az yarısını kaplayacak şekilde çizip, işaretlediğiniz noktaları düzgün bir eğriyle birleştirin.

Soru: Eğriyi çizmenin tek bir yolu mu var, yoksa aynı noktalardan geçen farklı eğriler de çizilebilir mi?

3. Bir grafikte ölçülen noktalar arasında bulunan ama ölçümü yapılmamış bir noktadaki değerini grafikten okunmasına *interpolasyon*, ölçülen noktalar dışında kalan herhangi bir noktadaki değeri okumaya *ekstrapolasyon* yapmak denir. Buna göre, deliğin çapının $d=4\text{cm}$ ve $d=8\text{cm}$ olduğu durumlarda, kabın boşalma sürelerini grafikten okuyun. Sizce hangi değer daha güvenilirdir?

$d=4\text{cm}$ için $t = \dots\dots\dots$

$d=8\text{cm}$ için $t = \dots\dots\dots$

4. Biraz daha kesin olmak için, t ve d arasında bir bağıntı bulmak gerekir. t ile d arasındaki grafik t 'nin $\frac{1}{d^2}$ ile orantılı olduğunu ima eder. Şimdi de uygun bir ölçek seçerek $\frac{1}{d^2}$ 'nin t ile değişimini gösteren grafiği ($t=f(\frac{1}{d^2})$ grafiği) Tablo-2'deki değerler yardımıyla çizin.

Tablo-2

$1/d^2$ (cm^{-2}) \ h(cm)	30	10	4	1
0.44	73.0 s	43.5 s	26.7 s	13.5 s
0.25	41.5 s	23.7 s	15.0 s	7.2 s
0.11	18.3 s	10.5 s	6.8 s	3.7 s
0.04	6.8 s	3.9 s	2.2 s	1.5 s

5. Çizdiğiniz grafiğin eğimi bulup, grafikte seçtiğiniz yükseklikteki su için t ile d arasındaki bağıntıyı gösteren bir denklem yazın.

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

6. Bulduğunuz denklemden deliğin çapının $d=4\text{cm}$ ve $d=8\text{cm}$ olduğu durumlarda, kabın boşalma sürelerini hesaplayın.

$d=4\text{cm}$ için $t = \dots\dots\dots$

$d=8\text{cm}$ için $t = \dots\dots\dots$

7. Bu değerleri daha önce grafikten okuduğunuz değerlerle kıyaslayın. Size göre hangi değerler daha güvenilirdir?

8. Diğer su yükseklikleri için, denklemin doğru olup olmadığını sınamak amacıyla aynı grafik üstüne $h=10\text{cm}$, $h=4\text{cm}$ ve $h=1\text{cm}$ için de t ile $\frac{1}{d^2}$ 'ye ait grafikleri ($t=f(\frac{1}{d^2})$ grafikleri) iziniz.

Nasıl bir sonuca varıyorsunuz?

B) $d=\text{sabit}$ için inceleme

1. Şimdi deliğin çapını sabit tutarak t 'nin h ile nasıl deęiŐtięini araŐtırınız. Bunun için, tabanında $d=1,5\text{cm}$ çaplı delik bulunan kabı ele alınız. Su yüksekliğini (h) yatay ekseninde, boşalma süresini (t) düşey ekseninde ($t=f(h)$ grafiği) gösteriniz. Yine noktaları düzgün bir eğriyle birleŐtiriniz.

2. Bu eğrinin başlangıç noktasından (orijin) geçip geçmediğine karar veriniz.

3. $h=20\text{cm}$ ve $d=4\text{cm}$ durumunda kabın boşalma süresinin t 'nin $\frac{1}{d^2}$ 'ye göre grafiğinden nasıl bulunacağını tartıŐarak hesaplayınız.

$t = \dots\dots$

4. t ile h arasında bir bağıntı elde etmek için basit bir yol yoktur. Bu durumda, t 'nin h^n ile orantılı olup olmadığını araştırmak en iyi yoldur. Eğer t ; h^n ile orantılıysa $\log t$ de $n \log h$ ile orantılı olmalıdır. O halde tam logaritmik kâğıda $d=1,5\text{cm}$ çaplı delik bulunan kap için $t=f(h)$ grafiğini çiziniz.

5. Logaritmik kâğıda izdiğiniz grafiğin eğimini bulun.

Eğim = $\dots\dots$

6. Bulunan eğim, t 'nin h 'ın kaçıncı kuvveti ile orantılı olduğunu yani "ne"yi verecektir. Bulduğunuz eğimi kullanarak t ile h arasındaki matematiksel bağıntıyı yazınız.

Denklem: $\dots\dots\dots$

7. t ile h arasındaki matematiksel bağıntıyı bir kez de $\ln t$ 'nin $\ln h$ 'a göre grafiğini ($\ln t=f(\ln h)$) izerek bulun. Bunun için $\ln t=f(\ln h)$ grafiğinin eğimi hesaplayıp, t ile h arasındaki matematiksel bağıntıyı yazınız.

Eğim = $\dots\dots$ Denklem: $\dots\dots\dots$

8. Her iki yöntemle bulunan sonuçları kıyaslayınız.

C) h =sabit ve d =sabit için yapılan inceleme sonuçlarının birleştirilmesi

h =sabit ve d =sabit için yapılan incelemelerden

$$t \propto \frac{1}{d^2} \quad \text{ve} \quad t \propto \sqrt{h} \quad \longrightarrow \quad t \propto \frac{\sqrt{h}}{d^2}$$

sonuçlarına ulaşmış olmanız gerekir. O halde kabın boşalma süresinin h ve d 'ye bağılılığı

$$t = k \frac{\sqrt{h}}{d^2} \quad (1)$$

bağıntısıyla ifade edilebilir. Denklem (1)'de k orantı sabitidir.

1. İyi bilinen t , d ve h değerlerini kullanarak Denklem (1) yardımıyla k orantı sabitini hesaplayın.

$$k = \dots$$

2. k sabitinin daha güvenilir bir değerini elde etmek için t 'nin $\frac{\sqrt{h}}{d^2}$ 'ye göre değişimini gösteren grafiği ($t=f(\sqrt{h}/d^2)$) grafiği) çizin. Grafiğin eğimini alarak k orantı sabitini bulun.

$$k = \dots$$

3. İki yöntemle elde ettiğiniz k sabitlerini karşılaştırın ve hangi yöntemin sizce daha güvenilir olduğunu belirtin.

4. Denklem (1)'den $h=20\text{cm}$ ve $d=4\text{cm}$ durumu için kabın boşalma süresini hesaplayın.

$$t = \dots$$

5. Daha önce B bölümü 3. maddede bulduğunuz sonuçla, şimdi bulduğunuz süreyi kıyaslayın.

6. Sizce hangi sonuç daha güvenilirdir?

D) Hata hesabı

Doğrudan ölçmelerde yapılan hata, hesaplanan bütün fiziksel büyüklüklere yayılır. Bir z fiziksel büyüklüğünün, x ve y gibi bağımsız olarak ölçülebilen iki fiziksel büyüklüğe

$$z = f(x, y) \quad (2)$$

ifadesiyle bağlı olduğunu kabul edelim. z fiziksel büyüklüğü üstünde yapılan Δz mutlak hata, x yerine $x + \Delta x$ ve y yerine $y + \Delta y$ konulduğunda

$$\Delta z = f(x, y) - f(x + \Delta x, y + \Delta y)$$

değişimine eşit olur. Bu değişim, Denklem (2) ifadesinin diferansiyeli alınarak bulunur:

$$\Delta z = \left| \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \right| \Delta x + \left| \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \right| \Delta y \quad (3)$$

Bağıl hatayı hesaplamak için önce Denklem (2) ifadesi $\ln z = \ln f(x,y)$ şeklinde yazılır sonra diferansiyeli alınır:

$$\frac{\Delta z}{z} = \left| \frac{\partial f(x,y)}{\partial x} \right| \frac{\Delta x}{f(x,y)} + \left| \frac{\partial f(x,y)}{\partial y} \right| \frac{\Delta y}{f(x,y)} \quad (4)$$

Soru: Denklem (3) ve (4)'de niçin mutlak değer ifadesi kullanılır?

Ölçümlerini N kez tekrarladığımız gerçek bir deneyde standart sapma,

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum |x - \bar{x}|^2}{N}} \quad (5)$$

hata olarak kabul edilir. Burada x fiziksel niceliğin ölçülen değeri, \bar{x} ölçümlerin ortalama değeridir.

Soru: Yukarıda incelediğiniz deneyde uzunluklar sürgülü kompasla, zaman ise kronometre ile ölçülmüştür. Sürgülü kompas ile yapılan bir ölçümde hatayı $\pm \Delta x = 0,01\text{cm}$, kronometre ile yapılan ölçümlerde yapılan hatayı $\pm \Delta t = 0,01\text{s}$ alın. Denklem (3)'den yararlanarak mutlak hata

$$\Delta t = \frac{1}{2} \frac{1}{d^2 \sqrt{h}} \Delta h + 2 \frac{\sqrt{h}}{d^3} \Delta d \quad (6)$$

ve denklem (4)'den yararlanarak bağıl hata

$$\frac{\Delta t}{t} = \frac{\Delta k}{k} + \frac{1}{2} \frac{\Delta h}{h} + 2 \frac{\Delta d}{d} \quad (7)$$

olarak bulunur. Buna göre, Denklem (6)'dan t üstünde yapılan mutlak hatayı ve Denklem (7)'den t üstünde yapılan bağıl hatayı hesaplayın.

AMAÇ:

Hava rayı düzeneği ile Newton hareket kanunlarının gerçekleştirilmesi ve Yerçekimi ivmesinin bulunması

GENEL BİLGİLER**Newton Hareket Kanunları:****I) Birinci kanun veya Eylemsizlik kanunu:**

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 sükunette ise bu halini değiştirmez.*

II) İkinci kanun veya Temel kanun:

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 oluşturmaktadır.

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.

$$\frac{F_1}{a_1} = \frac{F_2}{a_2} = \dots = \text{sabit} \quad (1)$$

İkinci kanunu şöyle ifade edebiliriz: *Sabit bir kuvvetin etkisinde olan bir maddesel nokta sabit bir ivme kazanır.* Başka bir deyişle: bir maddesel noktaya etkiyen kuvvetin, maddesel noktanın kazandığı ivmeye oranı sabittir, bu da maddesel noktanın kütesine eşittir.

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

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 kütleyle 1 m/s²'lik ivme kazandıran kuvvettir. CGS sisteminde ise kuvvetin birimi Dyn'dir. L dyn, 1 gr kütleyle 1 cm/s² ivme kazandıran kuvvettir.

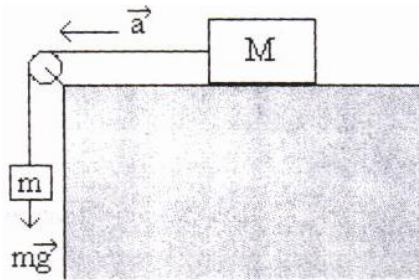
Newton'un ikinci kanunu, birinci kanunu da kapsamaktadır. Bir maddesel noktaya bir kuvvet etki etmiyorsa $F=0$ demektir. Cismin kütlesi olan m sıfır olamayacağına göre, temel denklemden $a=0$ olur. Bunun anlamı, cismin hızında değişiklik olmaz, yani cismin hızı sabit kalıyor demektir.

III) Üçüncü kanun veya etki-tepki kanunu:

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.

Yerçekimi İvmesi:

Yerçekimi ivmesi değerinin ölçümünde Newton kanunlarını kullanarak Şekil-2' deki düzenekten yararlanabiliriz.



Şekil-2

Şekil-2' deki sürtünmesiz sistem serbest bırakıldığında, sistem a ivmesini kazanır. (2) bağıntısı ile

$$a = \frac{F}{m+M} = \frac{mg}{m+M} \quad (3)$$

bulunur. Serbest bırakılan M kütleinin t süresi içinde aldığı yol

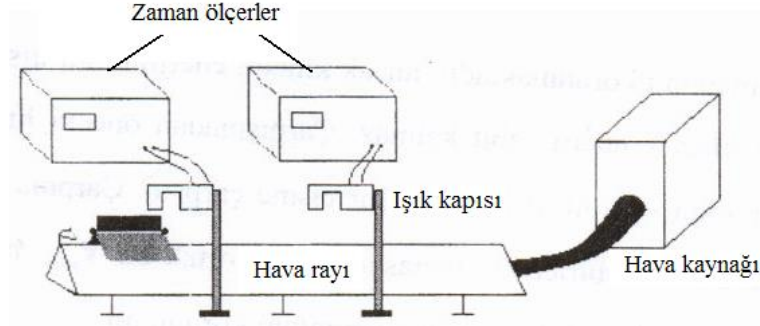
$$s = \frac{1}{2} at^2 \quad (4)$$

kullanılarak yerçekimi ivmesi için

$$g = \frac{(m+M)}{mt^2} 2s \quad (5)$$

DENEY

1. Işık kapıları Şekil-3' teki gibi yerleştirilir. Ray eğimsiz olacak şekilde vidalı ayaklar yardımıyla su terazisi kullanılarak ayarlanır.



Şekil-3

Newton Hareket Kanunları:

I) Newton' un 1. Kanununun Uygulanması:

1. Şekil-3'teki 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 Tablo1'e işlenir.

2. Aracın boyu (l) ölçülür ve

$$v = \frac{l}{t} \quad (6)$$

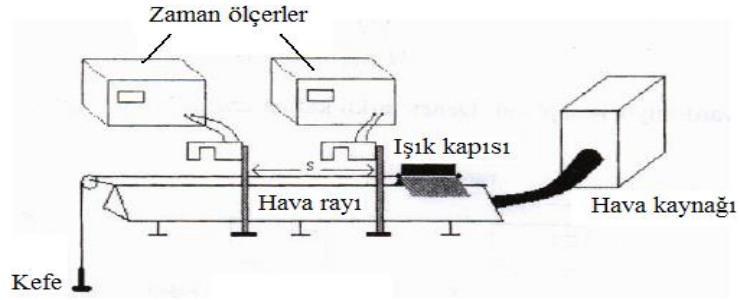
bağıntısı kullanılarak her iki kapıdan geçiş hızı (v_1, v_2) hesaplanır, sonuçlar Tablo-1'e işlenerek karşılaştırılır. Deney farklı kütleli araçlarla tekrarlanır.

Tablo-1

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

Hava kaynağı çalışırken araç hareketsiz kalacak şekilde ray üzerine yerleştirilir ve hareketi gözlemlenir.

II) Newton' un 2. Kanununun Uygulanması:



Şekil-4

1. Rayın bir ucuna makara takılır. Kefe ip vasıtasıyla araca takılarak makara üzerinden sarkıtılır (Şekil-4).
2. Araç, şekildeki konuma yerleştirildikten sonra zaman ölçerler sıfırlanır ve araç serbest bırakılır.
3. 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.
4. Araç boyu l ölçülür.
5. (6) bağıntısı kullanılarak aracın her iki kapıdan geçiş hızları (v_1, v_2) hesaplanarak, kareleri alınıp Tablo-2'ye işlenir.
6. Işık kapıları arasındaki mesafe (s) ölçülür ve

$$a = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2s} \quad (7)$$

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)
0,02								
0,03								
0,04								
0,05								
0,06								
0,07								
$(M_{araç})_{ort}$								

7. (1) bağıntısı kullanılarak sistemin (araç + kefe) kütlesi M_{sistem} bulunur.

$M_{sistem} = M_{araç} + m_{kefe}$ bağıntısı kullanılarak $M_{araç}$ hesaplanır.

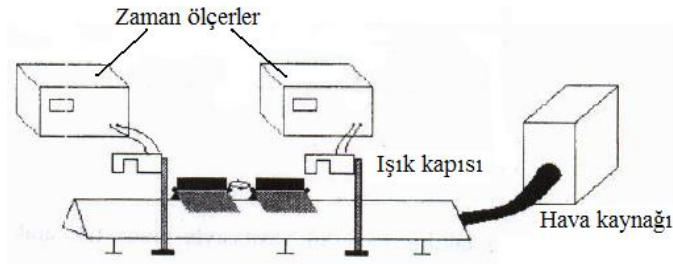
8. Kullanılan aracın kütlesinin ortalama değeri $(M_{araç})_{ort}$ alınarak deneyde yapılan bağıl hata

(8) denklemi yardımıyla hesaplanır.

$$\frac{\Delta M}{(M_{araç})_{gerçek}} = \frac{|(M_{araç})_{gerçek} - (M_{araç})_{ort}|}{(M_{araç})_{gerçek}} \quad (8)$$

III) Newton' un 3. Kanununun Uygulanması:

1. Araçların birer uçlarına lastik yansıtıcılar yerleştirildikten sonra Şekil-5'teki gibi lastik yansıtıcılar karşılıklı olacak şekilde iki kapı arasına yerleştirilir ve zaman ölçerler sıfırlanır.



Şekil-5

2. Araçlar diğer uçlarından eşit büyüklükte kuvvet ile sıkıştırılır, 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)

3. **BİLGİ:** Bir cismin veya taneciğin kütlesi m ile hızı v çarpımına o cismin momentumu veya hareket miktarı denir ve

$$\vec{p} = m\vec{v} \quad (9)$$

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. (9) denklemini (2) denkleminde kullanılarak dinamiğin temel bağıntısı

$$\vec{F} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad (10)$$

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

Her iki araca lastikler serbest kalana kadar uygulanan itmeler (10) bağıntısına göre sırasıyla

$$F_1\Delta t_1 = \Delta p_1 \text{ ve } F_2\Delta t_2 = \Delta p_2 \quad (11)$$

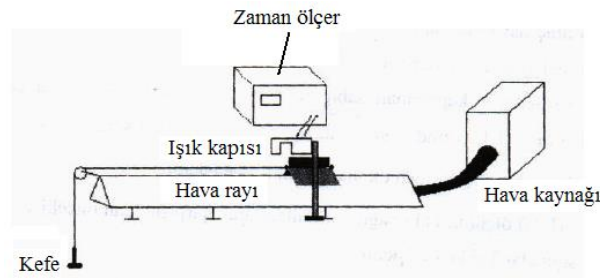
ise ve (2) bağıntısı kullanılarak her iki araca etki eden kuvvetler oranı

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{m_1 t_2 l_1}{m_2 t_1 l_2} \quad (12)$$

bulunur.

4. Deney farklı kütleli araçlarla tekrarlanır.

Yerçekimi İvmesinin Bulunması:



Şekil-6

1. Şekil-6'daki tek ışık kapılı ve makaralı düzenek kurulur. Araç ışık kapısının tam sınırında duracak şekilde tutulur. Sayıcı sıfırlanır ve araç bu noktadan serbest bırakılır. Geçiş süresi (t) Tablo 4'e işlenir.

2. Kefeye 10 gr'lık kütleler ilave edilerek ölçümler tekrarlanır.

3. Araç boyu (l) ölçülür. (5) bağıntısı kullanılarak yerçekimi ivmesi (g) hesaplanır ve bağıl hata bulunur.

Tablo-4

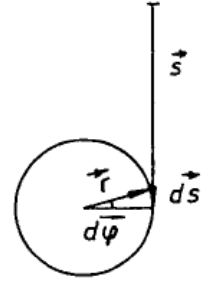
$l_{\text{araç}} (m)$	$M_{\text{araç}} (kg)$	$m_{\text{kefe}} (kg)$	$t_{\text{geçiş}} (s)$	$g (m/s^2)$
		0,02		
		0,03		
		0,04		
		0,05		
		0,06		

g_{ort}

AMAÇ: Maxwell diskini kullanılarak sistemin mekanik enerjisinin incelenmesi ve Maxwell diskinin eylemsizlik momentinin belirlenmesi.

GENEL BİLGİLER

Açısal Hız ve Açısal İvme: Bir eksen etrafında dönmekte olan katı bir cismin, dönme ekseninden r kadar uzaklığındaki m kütleli bir parçası, r yarıçaplı çembersel yörünge üzerinde v çizgisel hızı ile hareket eder. Çizgisel hız r yarıçapına her noktada diktir. Cismin konumunu belirleyen φ açısına karşılık olan çizgisel yol ise $s=r\varphi$ olduğundan, cismin çizgisel hızının şiddeti



Şekil-1

$$v = \frac{ds}{dt} = r \frac{d\varphi}{dt} \quad (1)$$

olarak verilir. (1) bağıntısındaki açının zamanla değişme hızına *açısal hız* denir. Birimi rad/s'dir ve

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{v}{r} \quad (2)$$

şeklinde ifade edilir. Çizgisel hız vektörel bir büyüklük olduğuna göre, (2) bağıntısından açısal hızın da vektörel bir büyüklük olduğu anlaşılır. (2) bağıntısının türevi alınarak çizgisel ivme

$$a_t = \frac{dv}{dt} = r \frac{d\omega}{dt} \quad (3)$$

olarak elde edilir. Açısal hızın zamanla değişme hızına *açısal ivme* denir ve

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} \quad (4)$$

olarak verilir. Birimi rad/s^2 'dir. Buna göre, dönen cismin açısal ivmesi ile a_t teğetsel ivmesi arasında

$$a_t = r\alpha \quad (5)$$

ilişkisi vardır. Ayrıca, teğetsel ivme vektörel bir fiziksel nicelik olduğundan, açısal ivme de vektörel bir büyüklüktür.

Eylemsizlik Momenti: Bir cismin dönme hareketine karşı gösterdiği direncin ölçüsüne *eylemsizlik momenti* denir. Bir eksen etrafında ω açısal hızıyla dönen katı bir cisimi oluşturan tüm parçacıklar, belirli kinetik enerjilere sahiptir. Dönme ekseninden r kadar uzakta bulunan m kütleli bir parçacık, r yarıçaplı çembersel yörünge üzerinde v çizgisel hızı ile dönerken

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mr^2\omega^2 \quad (6)$$

ile ifade edilen bir kinetik enerjiye sahip olacaktır (Şekil-1). Dolayısıyla, dönme ekseninden farklı uzaklıklarda bulunan çok sayıda parçacıktan oluşmuş katı bir cisim için (6) ifadesi

$$K = \frac{1}{2}(m_1r_1^2 + m_2r_2^2 + \dots)\omega^2 = \frac{1}{2}\left[\sum_i m_i r_i^2\right]\omega^2 \quad (7)$$

şeklinde yazılabilir. Bu bağıntı kesikli sistemler (parçacıklar sistemi) için geçerlidir. (7) bağıntısındaki

$$I = \sum_i m_i r_i^2 \quad (8)$$

ifadesine yani parçacıkların kütleleri ile dönme eksenine olan uzaklıklarının karelerinin çarpımlarının toplamına *eylemsizlik momenti* denir. Diğer taraftan, cismin sürekli bir yapıya sahip olduğu kabul edilirse, (8) bağıntısındaki toplam, integrale dönüşür ve tüm cisim üzerinden integral alınarak eylemsizlik momenti

$$I = \int r^2 dm \quad (9)$$

şeklinde ifade edilir. Dolayısıyla eylemsizlik momenti, cismin hem şekli ve kütle dağılımına hem de dönme eksenine bağlıdır. Eylemsizlik momentinin SI sistemindeki birimi kg.m^2 'dir. Buna göre, bir eksen etrafında dönmekte olan bir cismin, (9) ile verilen toplam kinetik enerjisi

$$K = \frac{1}{2}I\omega^2 \quad (10)$$

olur. (10) denkleminde görüldüğü gibi eylemsizlik momenti büyüdükçe, cismin dönme hareketi yapabilmesi için daha fazla iş yapması gerekir.

Düzgün Bir Cismin Eylemsizlik Momentinin Belirlenmesi: Belirli bir geometrik şekle sahip olmayan bir cismin eylemsizlik momentinin (9) bağıntısı yardımıyla hesaplanması oldukça zor iken, basit şekilli katı cisimlerinki gayet kolaydır. Örneğin, R yarıçaplı M kütleli düzgün bir diskin merkezinden geçen ve disk düzlemine dik olan bir eksene göre eylemsizlik momenti,

$$I = \frac{1}{2}MR^2 \quad (11)$$

ile verilir.

Mekanik Enerji: Mekanik enerjinin korunumu yasasına göre bir sisteme sadece korunumlu kuvvetler etkiyor ise sistemin toplam mekanik enerjisi sabit kalır. Sürtünme gibi korunumlu olmayan kuvvetler sisteme etkidiği zaman mekanik enerji korunmaz. Yalıtılmış bir sistemi analiz ettiğimizde enerjinin tüm biçimlerini hesaba kattığımız zaman sistemin toplam enerjisini bulabiliriz. Yalıtılmış bir sistemin toplam enerjisi daima sabittir, yani enerji ne yaratılabilir ne de yok edilebilir. Enerji bir biçimden diğerine dönüştürülebilir. Bu eğer korunumlu bir sistemin kinetik enerjisi bir miktar artar veya azalır ise potansiyel enerjinin de aynı miktarda azalacağı veya artacağı anlamına gelmektedir.

$$\Delta E_K + \Delta E_P = 0 \quad (12)$$

Bir sistemin toplam mekanik enerjisi o sistemin kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamıdır ve hareket boyunca sabittir.

$$E_K + E_P = E_M \quad (13)$$

Tekerlek gibi büyük bir cisim, kendi eksenini etrafında döndüğünde, herhangi bir anda cismin farklı kısımları farklı hız ve ivmelere sahip olacağından, bu cismin hareketini bir parçacık gibi düşünerek analiz edemeyiz. Bu cisim her biri kendi hız ve ivmesi ile hareket eden pek çok parçacıktan oluşmuş bir sistem olarak kabul etmek uygundur.

Dönen katı bir cismin toplam kinetik enerjisi onun kütle merkezinin öteleme kinetik enerjisinin ve dönme kinetik enerjisinin toplamına eşittir.

$$E_{\dot{o}} + E_D = E_K \quad (14)$$

$$E_{\dot{o}} = \frac{1}{2}mv^2$$

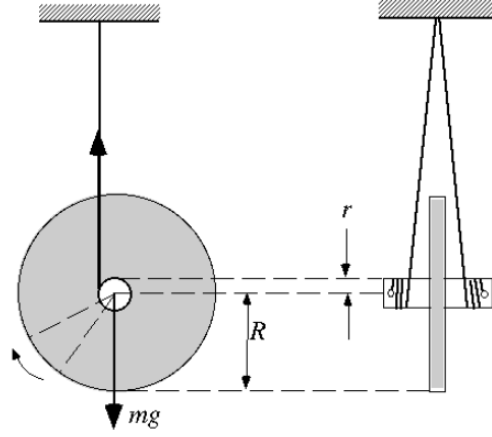
Öteleme Kinetik Enerjisi

$$E_D = \frac{1}{2}I\omega^2$$

Dönme Kinetik Enerjisi

Kendi eksenini üzerindeki iki ip üzerinde gravitasyonel alanda dönebilen Maxwell diskinin ait olduğu sistemi düşünelim (Sekil-2). Diskin toplam mekanik enerjisi; m kütlesi ve dönme eksenini etrafındaki I eylemsizlik momenti, E_P potansiyel enerjisi, $E_{\dot{o}}$ öteleme enerjisi ve E_D dönme enerjisinin birleşimidir. ω açısal hız ve v öteleme hızı olmak üzere;

$$E_M = E_P + E_{\dot{o}} + E_D = mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 \quad (15)$$



Şekil-2

Bu durumda sistemin toplam enerjisi;

$$E_M = mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\left(\frac{v}{r}\right)^2 = mgh + \frac{1}{2}\left(m + \frac{I}{r^2}\right)v^2 \quad (16)$$

Sistemin toplam enerjisi zamanla değişmediğinden, türevi;

$$\frac{dE_M}{dt} = mg \frac{dh(t)}{dt} + \frac{1}{2}\left(m + \frac{I}{r^2}\right) \frac{d}{dt} [v(t)^2] = mgv(t) + \left(m + \frac{I}{r^2}\right)v(t) \frac{dv(t)}{dt} = 0 \quad (17)$$

Sistemin hızı aşağıdaki eşitlik ile elde edilebilir.

$$v(t) = \frac{1}{\left(m + \frac{I}{r^2}\right)} mgt = \left(\frac{mg}{m + \frac{I}{r^2}} \right) t \quad (18)$$

Düşey yer değiştirme; (1) bağıntısı kullanılarak

$$h(t) = \frac{1}{2} \left(\frac{mg}{m + \frac{I}{r^2}} \right) t^2 \quad (19)$$

olarak elde edilir.

Böylece Maxwell tekerleğinin eylemsizlik momenti;

$$I = mr^2 \left(\frac{gt^2}{2h(t)} - 1 \right) \quad (20)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir.



DENEY

1. Çözük durumda olan Maxwell diskinin eksenini, destek kolu üzerindeki vida yardımı ile ayarlayınız.
2. Diski eksenini yardımı ile dikkatli bir şekilde yukarı doğru sarınız ve serbest bırakma anahtarını açık durumda iken anahtarı, diskin çevresinde bulunan deliğe yerleştiriniz.
3. Destek kollarının yanında bulunan cetvel yardımı ile diskin h , düşey yer değiştirme uzaklığını ölçünüz.
4. Serbest bırakma kolunu kullanarak Maxwell diskini mekanik olarak serbest bırakınız. Bu durumda disk serbest kaldığında sayaç çalışmaya başlayarak tekerleğin serbest bırakıldığı andan ışık kapısına girene kadar geçen zamanı ölçecektir. Ölçtüğünüz h uzaklığı ve sayaçtan okuyacağınız t süresini Tablo-1'e işleyiniz.

5. Tablo-1 yardımı ile $h=f(t)$ grafiğini çiziniz. Bu grafiğin eğiminden Maxwell tekerleğinin ortalama hızını belirleyiniz ve Tablo-1'e işleyiniz.

6. Her bir ölçüm için $I = mr^2 \left(\frac{gt^2}{2h(t)} - 1 \right)$ denklemi ile kütlesi

$m=0,436 \text{ kg}$ ve ekseninin yarıçapı $r=2,5 \text{ mm}$ olan Maxwell tekerleğinin eylemsizlik momentini hesaplayınız ve Tablo-2'ye işleyiniz.

7. $v(t) = \left(\frac{mg}{m + \frac{I}{r^2}} \right) t$ ve $\omega = \frac{v}{r}$ denklemlerini kullanarak Maxwell

tekerleğinin doğrusal ve açısal hızını hesaplayınız ve Tablo-2'ye işleyiniz.

Tablo-1

$h(m)$	$t(s)$
$v_{grafik}(m/s)$	

8. Tablo-2 yardımı ile $v=f(t)$ grafiğini çiziniz. Bu grafiğin eğiminden Maxwell tekerleğinin ortalama eylemsizlik momentini belirleyiniz ve Tablo-2'ye işleyiniz.

Tablo-2

$h(m)$	$t(s)$	$I(kgm^2)$	$v(m/s)$	$\omega(rad/s)$
$I_{ortalama}(kgm^2)=$		$I_{grafik}(kgm^2)=$		

9. Maxwell tekerleğinin potansiyel enerjisini, öteleme kinetik enerjisini, dönme kinetik enerjisini ve mekanik enerjisindeki değişimi hesaplayınız ve Tablo-3'e işleyiniz.

Tablo-3

$h(m)$	$E_P(J)$	$E_{\dot{O}}(J)$	$E_D(J)$	$\Delta E_M(J)$

10. $E_P=f(t)$, $E_{\dot{O}}=f(t)$ ve $E_D=f(t)$ grafiklerini çiziniz ve bu grafikleri karşılaştırınız.

SORULAR:

1. Mekanik enerji nedir? Bir sistemin mekanik enerjisi hangi şartlar altında korunur?
2. Öteleme, dönme ve yuvarlanma hareketi yapan bir silindir için farklı noktalarındaki hız vektörlerini çizerek hareketini açıklayınız!
3. Eylemsizlik momenti 950 g.cm^2 , kütlesi 120 g , dönme ekseninin yarıçapı 3.2 mm ve üzerinde bulunduğu ipin uzunluğu 120 cm olan bir yo-yo oyuncakını düşünelim.
 - a) Yo-yo'nun çizgisel ivmesi nedir?
 - b) Yo yo ne kadar süre sonra ipin sonuna ulaşır?
Yo-yo ipin sonuna ulaştığında,
 - c) Çizgisel hızı,
 - d) Öteleme kinetik enerjisi,
 - e) Dönme kinetik enerjisi ve
 - f) Açısal hızı nedir?

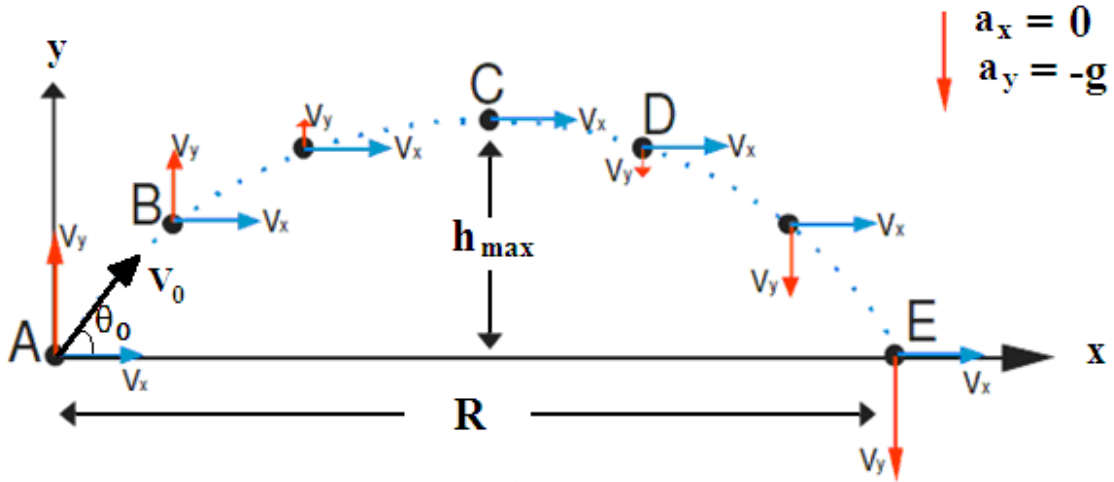
1. EĞİK ATIŞ HAREKETİ

AMAÇ:

Hava masası yardımıyla eğik atış hareketinin incelenmesi ve atılan cismin izlediği yolun gözlenmesi.

GENEL BİLGİLER

Eğik atış hareketi; Yatayla belli bir açı yapacak şekilde bir ilk hızla atılan bir cismin düşeyde aşağıdan yukarıya doğru düşey atış, yatayda ise sabit hızlı hareketinin 2 boyutlu bir düzlem üzerinde bileşik parabolik hareketidir. Bu hareketlerde hava direncinin etkisini ihmal ettiğimizde hareket boyunca parçacığa etki eden tek kuvvet yerçekimi kuvveti olup ($g =$ yerçekimi ivmesi) , sabit ve aşağıya doğrudur. Bu durumda; ivmenin yatay bileşeni, a_x sıfır ve ivmenin dikey bileşeni, a_y ise $-g$ dir.



Şekil-1 Eğik atış yapan noktasal bir cismin izlediği yol.

Parçacığın $t=0$ anında bulunduğu konumu $x_0 = 0$, $y_0 = 0$, ve hızı v_0 olarak alırsak,

$$v_{0x} = v_0 \cos \theta_0 \quad (1)$$

$$v_{0y} = v_0 \sin \theta_0 \quad (2)$$

denklemlerini elde ederiz. Herhangi bir t anında, ($t \neq 0$) hız bileşenleri;

$$v_x = v_{0x} = v_0 \cos \theta_0 = \text{sabit (yatay hız bileşeni)} \quad (3)$$

$$v_y = v_0 \sin \theta_0 - gt \quad (\text{dikey hız bileşeni}) \quad (4)$$

denklemleri ile ifade edilir. Herhangi bir t anında cismin konumunun x ve y bileşenleri ise;

$$x = v_0 \cos \theta_0 t \quad (5)$$

$$y = v_0 \sin \theta_0 t - \frac{1}{2} gt^2 \quad (6)$$

denklemleri ile ifade edilir. 5 numaralı denklemden t'yi çekip 6 numaralı denklemde yerine

yazarsak, $y = \tan \theta_0 x - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2 \theta_0}$ denklemini elde ederiz. Bu denklem ise bir parabol

denklemdir ve cismin parabolik bir hareket yaptığını gösterir.

Eğik atışta incelenmesi gereken bir konu da, parçacığın maksimum yüksekliği (h_{\max}) ve menzili (R) dir.

Cisim h_{\max} yüksekliğine ulaştığında, düşeydeki hızı (V_y) sıfır olur ve koordinatları (R/2, h_{\max}) olur. Cismin bu yüksekliğe ulaşılması için geçen süre (t_h)

$$t_h = \frac{v_0 \sin \theta_0}{g} \quad (7)$$

denklemini ile hesaplanır. Bundan sonra maksimum yükseklik 6 nolu denlemde “t” yerine “ t_h ”, “y” yerinde “ h_{\max} ” konularak

$$h_{\max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta_0}{2g} \quad (8)$$

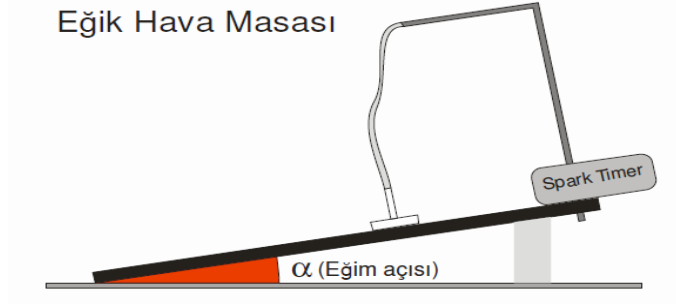
olarak elde edilir.

R(menzil) ise cismin atıldığı nokta ile yere çarptı nokta arasında “x” ekseninde aldığı toplam yoldur. Bu esnada koordinatları (R, 0) olur. Yere çarpma anına kadar geçen süre $2t_h$ olduğundan, 5 nolu denklem kullanılarak menzil

$$R = 2(v_0 \cos \theta_0)t_h \quad (9)$$

ile ifade edilir.

Bu formülasyonları, eğik düzlem haline getirdiğimiz hava masası düzlemi için düzenlersek:



Şekil-2 Eğik hava masası.

Bu durumda sisteme etki eden ivmeyi yerçekimi ivmesinden hesaplarız. Şekil 2'deki hava masası düzlemini düşünelim. Yeni ivmenin yönü aşağı doğru (- y eksenini) ve $a = g\sin\alpha$ kadardır (α =hava masasının eğim açısı). Bu durumda cismin hız ve hareket denklemleri “g” yerine “ $g\sin\alpha$ ” yazılarak elde edilir. v_y ve y bileşenlerinin

$$v_y = v_0 \sin \theta_0 - (g \sin \alpha) t \quad (10)$$

$$y = v_0 \sin \theta_0 t - \frac{1}{2} (g \sin \alpha) t^2 \quad (11)$$

şekilde değiştiği, diğer konum ve hız bileşenlerinin değişmediği görülür. Cismin maksimum yüksekliğe çıkması için geçen süre ve maksimum yükseklik;

$$t_h = \frac{v_0 \sin \theta_0}{g \sin \alpha} \quad (12)$$

$$h_{\max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta_0}{2 g \sin \alpha} \quad (13)$$

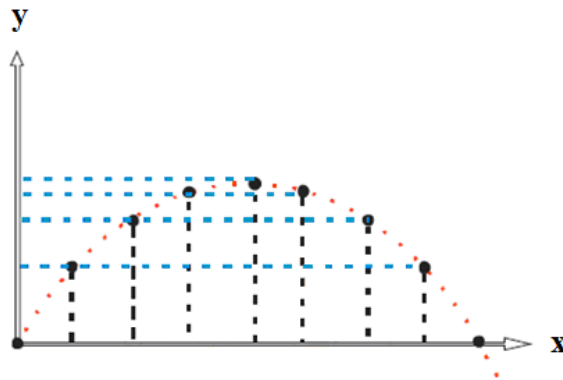
denklemlerinden hesaplanabilir. Menzil ise,

$$R = 2(v_0 \cos \theta_0) t_h \quad (14)$$

ifadesinden hesaplanır.

DENEY

1. Hava masasının camının üzerine altta karbon kağıt, üstte data kağıdı (beyaz kağıt) olacak şekilde kağıtları yerleştirin.
2. Hava masasını plastik blok yardımıyla eğik düzlem haline getirin. Hava masasını yatayla yaptığı α açısını eğik düzlemin geometrisinden yararlanarak belirleyin ve tablo 1'e yazın.
3. Açılı atışlar için kullanılan aparatı hava masasının alt kenarına, mümkün olduğunca sol köşeye yakın olacak şekilde monte edin.
4. Disklerden bir tanesini hava masası üzerinde bir yere sabitleyin.
5. Atış aparatının fırlatma açısını (θ_0) istenilen açıya ayarlayın.
6. Datalarınızın sıklığını arttırmak ya da azaltmak için spark timer (ark zamanlayıcısı)'dan uygun bir frekans ayarı seçin.
7. Yalnız kompresör pedalını çalıştırarak diskin ayarlanmış atıcıya yerleştirin ve atıcının uygun bir yol çizebilmesi için lastik gerilimini ayarlayan birkaç test atışı yapın.
8. Son olarak hem kompresör pedalına hem de spark timer (kıvılcım zamanlayıcı) pedalına basarak deneyinizi yapın.
9. Veri kağıdını hava masasından alın ve elde ettiğiniz yolu dikkatlice gözden geçirin.
10. Yoldaki verileri birinci noktadan başlayarak daire içine alın ve 0, 1, 2, ..., gibi numaralandırın.
11. Yol için x ve y-eksenlerini çizin.
12. Şekil 3'dekine benzer şekilde, noktaların x ve y eksenlerine izdüşümlerini çizin. Disk, yatay ve dikey eksenler boyunca ne tür bir hareket yapmıştır?



Şekil-3

13. Maksimum yüksekliğe çıkış için geçen t_h süresini, uçuş zamanını t_f (diskin hareketi süresince geçen toplam zaman) ve atışla alınan yolu R (hareket süresince kat edilen yatay uzaklık) değerlerini cetvel ile ölçün ve tablo 1'e kaydedin.
14. İlk atış hızı v_0 'ı 14 nolu denklemi kullanarak hesaplayıp tablo 1'e kaydedin.

15. Atışın maksimum yüksekliğini ölçün. Bu değeri bir kez de 13 nolu denklemleri kullanarak hesaplayın ve hesaplanan değer (h'_{\max}) ile ölçülen değerleri (h_{\max}) kıyaslayın.

Tablo-1

α	θ_0	f(Hz)	t_h (s)	t_f (s)	R(cm)	v_0 (cm/s)	h_{\max} (cm)	h'_{\max} (cm)	$\frac{ \Delta h_{\max} }{h'_{\max}}$

SORULAR

- 1- Diskin x-ekseni boyunca eşit zaman aralıklarında kat ettiği yol hakkında ne söyleyebilirsiniz. Bunlar birbirine eşitse sizce nedeni nedir?
- 2- Eşit zaman aralıklarında y-ekseni yönünde kat edilen yollar eşit midir? Değilse sebebi nedir?
- 3- Diskinizi farklı açılarda, fakat aynı hızda attığınızı düşünürseniz, çıkacağı maksimum yükseklik ve erişilen menzil değerleri nasıl değişir? En büyük menzil hangi açı ile yapılan atışa aittir?

2. ÇARPIŞMALAR VE LİNEER MOMENTUMUN KORUNUMU

AMAÇ:

İzole edilmiş bir sistemde farklı şekildeki çarpışmaların lineer momentumunun korunumunu doğrulamak,

Çarpışma sırasında kütle merkezindeki hareketi araştırmak, esnek ve esnek olmayan çarpışmalarda kinetik enerji korunumunu incelemek.

GENEL BİLGİLER

Bir cismin lineer momentumu ya da kısaca momentumu \vec{P} , cismin kütlesi ile hızının çarpımı şeklinde tanımlanır.

$$\vec{P} = m\vec{v} \quad (1)$$

Bir cisme sadece net bir dış kuvvet \vec{F}_d uygulandığı zaman cisim ivmelenecektir. Dolayısıyla cismin hızı ve momentumu değişecektir. Newton'un ikinci kanununa göre sabit kütleli bir cisim için;

$$\vec{F}_d = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (2)$$

m sabit olduğu için bu denklem açıkça;

$$\vec{F}_d = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \frac{d\vec{P}}{dt} \quad (3)$$

şeklinde yazılır. Yukarıdaki denklemden eğer bir cismin üzerine etki eden hiçbir net kuvvet yoksa bu cismin momentumunun zamanla değişmediği yani korunduğu anlamı çıkarılabilir.

Burada sabit derken, momentum zamanla değişmez yani tüm zamanlarda cisim aynı momentuma sahiptir.

$m_1, m_2, m_3, \dots, m_N$ kütlelerin oluşturduğu N parçacıklı bir sistemin herhangi bir andaki toplam momentumu,

$$\vec{P}_{top} = \vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \vec{P}_3 + \dots + \vec{P}_N \quad (4)$$

olarak parçacıkların momentumlarının vektörel toplamı şeklinde ifade edilir. 3 numaralı denklem geliştirilirse

$$\vec{F}_d = \frac{d\vec{P}_{top}}{dt} = \frac{d}{dt}(\vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \dots + \vec{P}_N) \quad (5)$$

Olur. Burada \vec{F}_d , parçacıkların oluşturduğu sistemdeki net dış kuvvet anlamına gelir. Yani

parçacıkların oluşturduğu sistemde birbirleri üzerindeki kuvvet (parçacıkların kuvvetleri), etkilerinden farklı bir kuvvettir. Bu dış kuvvetler sürtünme, yerçekimi gibi kuvvetler olabilir. Bu yüzden parçacıkların oluşturduğu sisteme hiçbir net dış kuvvet etki etmiyorsa, sistemin toplam

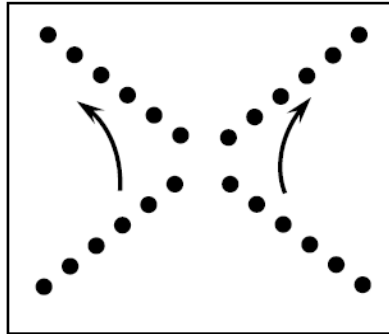
momentumu korunacaktır. Yani;

$$\vec{F}_d = \frac{d\vec{P}_{top}}{dt} = \frac{d}{dt}(\vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \dots + \vec{P}_N) = 0 \quad (6)$$

$$\vec{P}_{top} = \vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \vec{P}_3 + \dots + \vec{P}_N = Sabit$$

olacaktır. Hiçbir net kuvvetin etki etmediği parçacıkların oluşturduğu bir sistemin ya da izole edilmiş bir sistemin toplam momentumu zamanın herhangi bir anında aynı olacaktır, yani sabit kalacaktır.

Bu deneyde yatay konumdaki hava masasında hareket eden iki diskli sistemde momentumun korunumu incelenecektir. Yatay konumda olan ve sürtünmesi en aza indirilmiş hava masası üzerine konmuş olan disklerin üstünde açıkça hiçbir net dış kuvvet oluşmaz. Bu nedenle disklerin toplam momentumu korunmuş olabileceğini düşünüyoruz. Disklerin çarpışmaları sağlanır, çarpışmadan önceki ve sonraki toplam momentumları ölçülür ve karşılaştırılır. Veri kağıdımızda elde ettiğimiz noktaların biçimi aşağıda, Sekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil-1 Yatay konumdaki hava masasında esnek çarpışma yapan iki diskin veri noktaları.

İki diskin çarpışmadan önceki hızları \vec{v}_A ve \vec{v}_B , çarpışmadan sonraki hızları ise, \vec{v}'_A ve \vec{v}'_B olacaktır. Sistemin izole edilmiş bir sistem olduğuna göre toplam momentum korunmuş olacaktır ve zamanın herhangi bir anı için;

$$\vec{P}_{top} = Sabit$$

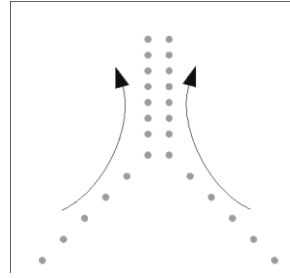
$$\vec{P}_A + \vec{P}_B = \vec{P}'_A + \vec{P}'_B \quad (7)$$

azılır. Burada, $\vec{P}_A = m_A \vec{v}_A$, $\vec{P}_B = m_B \vec{v}_B$, vb olur.

Disklerin kütleleri özdeş olduğuna göre yukarıdaki bağıntı aşağıdaki gibi yazılır,

$$\vec{v}_A + \vec{v}_B = \vec{v}'_A + \vec{v}'_B \quad (8)$$

Sistem izole edilmiş bir sistem olduğuna göre tamamen esnek olmayan çarpışmada da açıkça momentum korunmaktadır. Bu çarpışmada iki disk birbirine yapışarak $2m$ kütleli bir cisim formunda \vec{v}' hızıyla hareket eder. Veri kağıdındaki noktalar ise şekil 2'deki gibi olmaktadır.



Şekil-2 Yatay konumdaki hava masasında iki diskin tamamen esnek olmayan çarpışmadaki veri noktaları.

Çarpışma sırasında momentum korunumu;

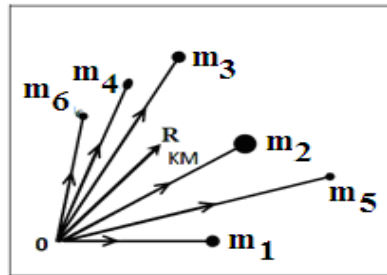
$$\vec{P}_A + \vec{P}_B = \vec{P}' \quad (9)$$

$$\vec{v}_A + \vec{v}_B = 2\vec{v}' \quad (10)$$

olarak yazılır.

Bu deneyde karşılaşılabilecek ve araştırılacak bir başka kavram da kütle merkezidir (KM). Şekil 3'deki gibi, konum vektörleri $\vec{r}_1, \vec{r}_2, \dots, \vec{r}_N$ olan, m_1, m_2, \dots, m_N kütlelerine sahip N parçacıklı bir sistemin kütle merkezinin konumu (\vec{R}_{KM});

$$\vec{R}_{KM} = \frac{m_1 \vec{r}_1 + m_2 \vec{r}_2 + \dots + m_N \vec{r}_N}{m_1 + m_2 + \dots + m_N} \quad (11)$$



Şekil-3 Kütle dağılımları için sistemin kütle merkezi

Zamanla parçacıklar pozisyonunu (konumunu) değiştirirse, KM'ninde konumu değişir ve KM'nin konumunun zamanla değişimi ise KM'nin hızını verir;

$$\vec{v}_{KM} = \frac{d\vec{R}_{KM}}{dt} \quad (12)$$

Sabit kütleli parçacıklar için, denklem 11 eşitliğinin her iki tarafının türevini aldığımızda KM'nin hızı;

$$\dot{\vec{R}}_{KM} = \frac{m_1 \dot{\vec{r}}_1 + m_2 \dot{\vec{r}}_2 + \dots + m_N \dot{\vec{r}}_N}{m_1 + m_2 + \dots + m_N} \quad (13)$$

$$\vec{v}_{KM} = \frac{m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + \dots + m_N \vec{v}_N}{m_1 + m_2 + \dots + m_N} \quad (14)$$

şeklinde yazılır.

Deneyde kullandığımız iki diskli sistemde KM'nin konumu,

$$\vec{R}_{KM} = \frac{m\vec{r}_A + m\vec{r}_B}{m + m} \quad (15)$$

olur. Disklerin kütleleri eşit olduğundan sistemin KM'nin konumu

$$\vec{R}_{KM} = \frac{\vec{r}_A + \vec{r}_B}{2} \quad (16)$$

olarak yazılabilir. O zaman KM'nin hızı;

$$\vec{v}_{KM} = \frac{\vec{v}_A + \vec{v}_B}{2} \quad (17)$$

İzole edilmiş bir sistemde, çarpışmadan önce ve sonraki momentumlar korunacağından, sistemin KM'nin hızı değişmez sabit kalır. Sistemin KM sabit hızla düzgün doğrusal hareket eder. Çarpışmadan önce ve sonra iki diskli sistemimiz için;

$$\vec{v}_{KM} = \vec{v}'_{KM} \quad (18)$$

$$\vec{v}_{KM} = \frac{\vec{v}_A + \vec{v}_B}{2} = \vec{v}'_{KM} = \frac{\vec{v}'_A + \vec{v}'_B}{2} \quad (19)$$

olur.

Bu deneyde, çarpışma için disklerin kinetik enerji korunumlarını da araştıracağız. Esnek çarpışmada, çarpışmadan önce iki diskin kinetik enerjileri toplamı,

$$K = \frac{1}{2}mv_A^2 + \frac{1}{2}mv_B^2 \quad (20)$$

çarpışmadan sonraki kinetik enerjilerinin toplamına;

$$K' = \frac{1}{2}mv_A'^2 + \frac{1}{2}mv_B'^2 \quad (21)$$

eşit olur. Yani, kinetik enerji korunur.

Bununla birlikte tamamen esnek olmayan çarpışmada iki disk birbirine yapışarak $2m$ kütleli ve \vec{v}' ortak hızıyla hareket ederler. Çarpışmadan sonraki toplam kinetik enerjileri;

Tanıma göre tamamen esnek olmayan çarpışmada kinetik enerji korunmaz. Çarpışmadan sonraki toplam kinetik enerji, çarpışmadan önceki toplam kinetik enerjiden küçüktür. Kinetik enerji farkı, ya ısı enerjisine dönüşür ya da çarpışan cisimlerde potansiyel enerji olarak depo edilir. Kinetik enerjideki kayıp (E.K), % olarak,

$$E.K(\%) = \frac{K - K'}{K} \cdot 100$$

ile hesaplanır.

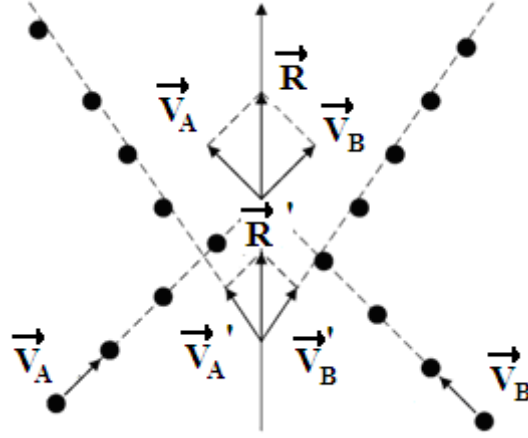
DENEY

Bölüm A: Esnek Çarpışma

1. Yatay hava masasında, sadece pompa anahtarını (P) çalıştırın ve iki diski hava masasının bir tarafından öbür tarafına diyagonal olarak birbirine doğru masanın ortasında bir yerde çarpışabilmesi için fırlatın. Yeterli derecede uygun bir çarpışma elde edene kadar bu işlemi birkaç kez tekrarlayın. Şimdi uygun bir spark timer frekansı seçin (örneğin 20Hz) ve ardından (P) anahtarını çalıştırırken diskleri hava masasının bir tarafından öbür tarafına fırlatma anında sparktimer anahtarını (S) çalıştırın. İki disk hareketlerini tamamlayana kadar her iki anahtarı da açık tutun. Daha sonra hava pompasını durdurun ve ark üreticini kapatın.
2. Veri kağıdında oluşan noktalar şekil 1'deki gibi olacaktır. Her iki disk için noktaları 0, 1, 2,ve benzeri şekilde numaralandırın.
3. Her bir yoldaki iki ya da üç aralığın uzunluğunu ölçüp zamana bölerek çarpışmadan önce ve sonra her diskin hızını bulun. Disklerin kat ettiği iki yolu çarpışmadan önce A ve B çarpışmadan sonra da A' ve B' diye isimlendirin.
4. Çarpışmadan önce ve sonraki toplam hız vektörlerini bulmak için, A ve B yolları kesişene kadar uzatın. Bu doğrultular arasındaki açıyı açı ölçer ile belirleyerek, milimetrik grafik kağıdına benzer doğrultuları çizerek, sonra kesişme noktasından başlayarak \vec{v}_A ve \vec{v}_B vektörlerini yönleri boyunca ve de bu hızların büyüklüklerinin uzunluklar ile orantılı vektörlerini çizin. Örneğin 10cm/s'lik bir hızı gösterirken 1cm'lik bir vektör çizebilirsiniz (şekil 4'deki gibi). Daha sonra paralel kenarı tanımlayarak bu hızdan meydana gelen toplamı bulun. $\vec{v}_A + \vec{v}_B$ 'yi bulmak için aynı yöntemi uygulayın. Bu toplam vektörlerin büyüklüklerini hesaplayarak tablo 1'e işleyin. Momentum korunumunun gerçekleşip gerçekleşmediğini kontrol edin.

Tablo-1

Veri Kağıdından Ölçülen Değerler							
$v_A (cm/s)$	$v_B (cm/s)$	$v_A' (cm/s)$	$v_B' (cm/s)$	$ \vec{v}_A + \vec{v}_B $	$ \vec{v}_A' + \vec{v}_B' $	$v_{KM} (cm/s)$	$v_{KM}' (cm/s)$
Hesaplanan Değerler							
$ \vec{v}_A + \vec{v}_B $	$ \vec{v}_A' + \vec{v}_B' $	$v_{KM} (cm/s)$	$v_{KM}' (cm/s)$	K(Erg)	K'(Erg)	$\frac{ K - K' }{K}$	



Şekil-4

5. Çarpışmadan önce ve sonra zamanın aynı anında oluşan noktaları tanımlayın ve bunları birleştirerek her noktalar çiftini birleştiren çizgi boyunca KM'nin konumunu belirleyin.

Bunu yaparken, çarpışma süresince KM'nin konumunu belirleyen kaydı elde edeceksin.

6. Üstte 5 numarada KM için elde ettiğiniz kaydı kullanarak çarpışmadan önceki ve sonraki hızı bulun ve bunları karşılaştırın. Daha sonra, çarpışan kütlelerin hızlarını kullanarak çarpışmadan önceki ve sonraki kütle merkezinin hızını hesaplayarak tablo 1'e yazın. Bu hızları ölçülen değerlerle karşılaştırın.

7. İki diskin çarpışmadan önceki ve sonraki toplam kinetik enerjilerini bulun ve bunları karşılaştırın.

Bölüm B : Tamamen Esnek Olmayan Çarpışma

1. Velcro bandını sıkı bir şekilde iki diskin etrafına sarın, bandın kenarlarının veri kağıdının yüzeyi ile temas etmediğinden emin olun. Sadece pompa anahtarını (P) çalıştırın ve iki diski hava masasının bir tarafından öbür tarafına birbirlerine doğru masanın ortasında bir yerde çarpışıp ve birlikte yapışık hareket edebilmeleri için fırlatın. Disklerin çarpışmadan sonra yön değiştirmeyeceğinden emin olun. Bu işlemi uygun bir çarpışma elde edene kadar birkaç kez tekrarlayın.

2. Şimdi pompa anahtarını (P) çalıştırarak disklerin birbirine doğru fırlatın ve serbest bıraktığınız anda sparktimer anahtarını (S) çalıştırın. Diskler hareketini tamamlayana kadar her iki anahtar da açık tutun. Veri kağıdındaki noktalar şekil 2'deki gibi olmalıdır. Disklerin çarpışmadan önceki V_A ve V_B hızlarını ve de çarpışmadan sonra iki diskin V' ortak hızını bulun ve tablo 2'ye yazın.

3. \vec{v}_A ve \vec{v}_B vektörlerini grafik kağıdına ölçekli olarak çizerek, toplam vektörü ölçüm ve hesap ile belirleyerek karşılaştırın. Daha sonra momentumun korunumunu doğrulayın.
4. Disklerin çarpışmadan önceki ve sonraki toplam kinetik enerjilerini bulun ve kayıp enerjiyi hesaplayın.

Tablo-2

Veri Kağıdından Ölçülen Değerler			
$v_A (cm/s)$	$v_B (cm/s)$	$v' (cm/s)$	$ \vec{v}_A + \vec{v}_B $
Hesaplanan Değerler			
$ \vec{v}_A + \vec{v}_B $	$v' (cm/s)$	K(Erg)	$\frac{ K - K' }{K}$

SORULAR

- 1- Esnek ve tamamen esnek olmayan çarpışmalarda momentum korundu mu? Açıklayınız. Kinetik enerjinin korunup korunmadığı nedenleri ile açıklayınız.
- 2- Kütle merkezi doğrusal bir yörünge boyunca hareket ediyor mu? Sizce bunun nedeni nedir?
- 3- Çarpışan kütlelerden biri diğerinin iki katı ise kütle merkezi nasıl bir yörünge izler?

M 5

DAİRESEL HAREKET VE AÇISAL MOMENTUMUN KORUNUMU

AMAÇ: Çembersel yörünge üzerinde dönen bir cisme etkiyen merkezci kuvvetin incelenmesi ve çembersel yörünge üzerinde dönen bir noktasal kütle için dönme eksenine olan uzaklığı değiştirilerek açısal momentumun korunumu kanununun incelenmesi

GENEL BİLGİLER

1. Merkezci Kuvvet: r uzunluklu bir ipe bağlı m kütleli bir cisim, yatay çembersel bir yörüngede döndürüldüğünde cisim üzerine etkiyen kuvvet,

$$F = \frac{mv^2}{r} = mr\omega^2 \quad (1)$$

olur. Burada v teğetsel, ω açısal hızdır ($v = r\omega$). Hızı bulmak için, periyot (bir dönme için geçen zaman), T , ölçülmelidir.

Buradan,

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

olur. Merkezci kuvvet,

$$F = \frac{4\pi^2 mr}{T^2} \quad (3)$$

bulunur.

2. Açısal Momentumun Korunumu:

yörünge yarıçapı küçültüldüğü zaman

korunur.

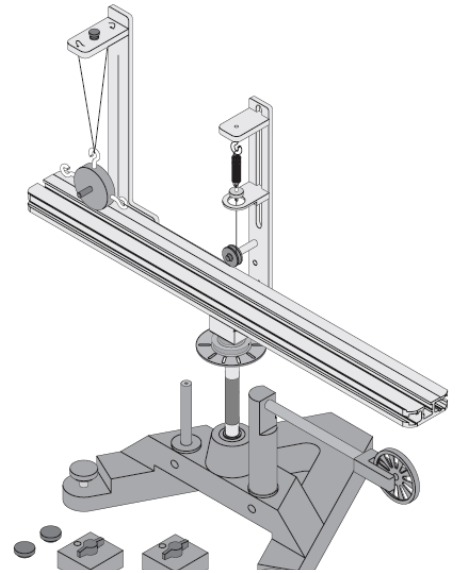
$$L = I_i \omega_i = I_s \omega_s \quad (4)$$

Buradaki I_i ve ω_i , başlangıçtaki eylemsizlik momenti ve açısal hızdır. Son açısal hız,

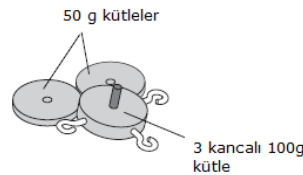
$$\omega_s = \frac{I_i}{I_s} \omega_i \quad (5)$$

şeklinde olur. Eylemsizlik momentini deneysel olarak bulmak için, bilinen bir tork cisme uygulanır ve açısal ivme hesaplanır. $\tau = I\alpha$ olduğundan,

$$I = \frac{\tau}{\alpha} \quad (6)$$



Şekil-1. Deney Düzenegi



Cismin döndüğü
açısal momentum

α , açısal ivmesi, a/r 'ye eşittir. τ , torku düzeneğin altındaki kasnağa bağlı bir iple, bu ipe asılı kütlelerin ağırlığı ile oluşur.

$$\tau = r.T \quad (7)$$

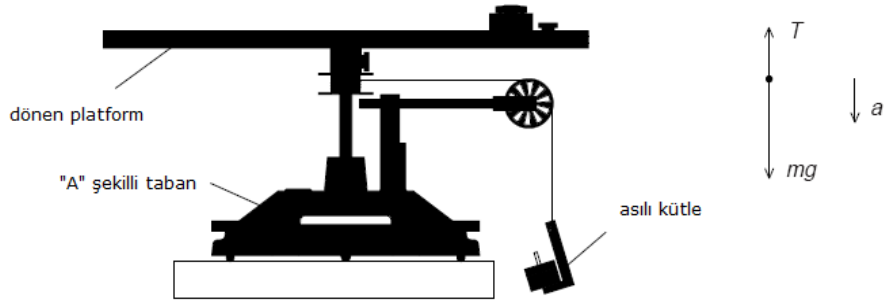
burada r, (ipin etrafına dolandığı) kasnağın yarıçapıdır. T, düzeneğe dönerken ipteki gerilmedir. Newton'un 2. kanununu asılı kütleye uygularsak,

$$\Sigma F = mg - T = m.a \quad (8)$$

İpteki gerilme,

$$T = m(g - a) \quad (9)$$

olur. m kütleli cismin çizgisel ivmesi hesaplandığında, eylemsizlik momenti için gerekli tork ve açısal ivme bulunmuş olur.



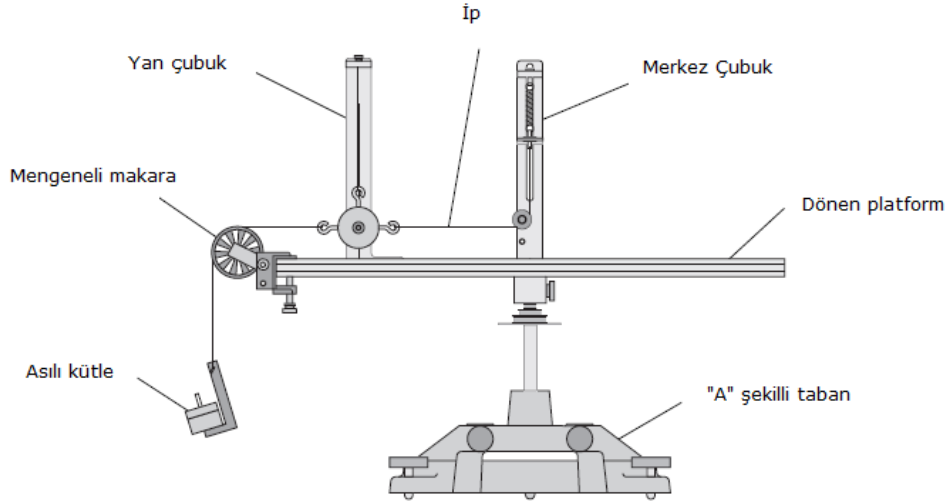
Şekil-2. Dönme düzeneği ve serbest cisim diyagramı

DENEY

Deneye başlamadan önce, “A” tipi tabanın denge ayarı, üzerindeki vidalar yardımıyla **mutlaka** yapılmalıdır. Aksi halde deney boyunca alınan veriler hatalı olur.

A. Merkezci Kuvvetin Hesaplanması

1. Yan çubuğun üzerine şekilde 3’ki gibi üç kancalı cismi asın. Cismin kütlesini bulun ve Tablo 1’e yazın.
2. Mengeneli makarayı yan çubuğa yakın bir şekilde yolun sonuna bağlayın ve bu makara üzerinden sarkın ipin ucundaki kancaya takmak için bir cisim alın. Cismin kütlesini Tablo 1’e yazın.
3. Daha sonra bu kütleyi mengeneli makara üzerinden sarkan kancaya takın ve ipin diğer ucunu yan çubuk üzerinde asılı halde duran üç kancalı kütlenin kancasına takın. Bu, sabit bir merkezci kuvvete karşılık gelecektir.
4. Merkez çubuk üzerindeki turuncu göstergenin ucundaki ipi de yine üç kancalı kütlenin diğer kancasının üzerine takın (bu şekle göre sağdaki kanca). İp, “merkez çubuk” üzerindeki makaranın altından geçerek turuncu göstereye gitmelidir. Şekle bakınız.

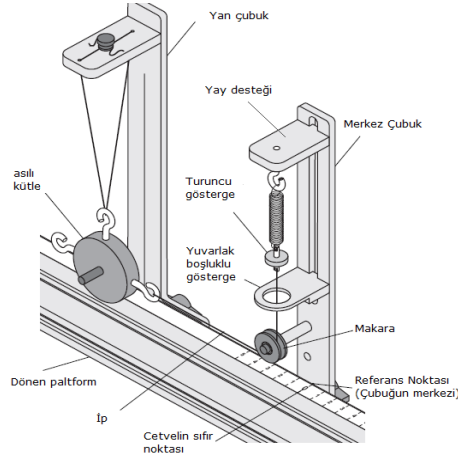


Şekil-3. Merkezci kuvvet düzeneği

Tablo-1

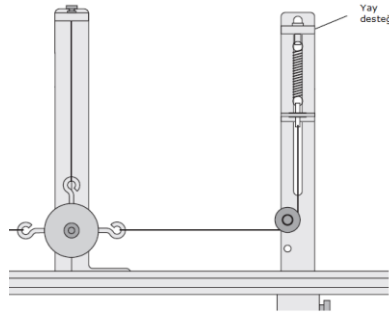
Cismin Kütlesi		
Makaradan sarkan cismin kütlesi		
Grafiğin eğimi		
Yarıçap (m)	Periyot (T) (s)	$T^2 (s^2)$

5. Yan çubuk sağa sola sürüklenerek merkezindeki çizgi ile cetvel üzerinde bir yarıçap seçilir. Yan çubuğun üzerindeki vida sıkılarak konumu sabitlenir ve dik olduğundan emin olunur. Bu yarıçap değeri Tablo 1'e işlenir.



Şekil-4

6. Merkez çubuk üzerindeki yay desteğini vidası yardımıyla yukarı ve aşağı yönde hareket ettirerek yan çubuk üzerindeki cisim dikey olarak tutulmalıdır.



Şekil-5. Sağdaki yan çubuk üzerindeki yay desteği yukarı ve aşağı yönde hareket ettirilerek soldaki yan çubuk üzerindeki cisim şekildeki gibi tutulmalıdır.

7. Merkez çubuktaki yuvarlak boşluklu göstereyi üzerindeki vida yardımıyla yukarı aşağı hareket ettirerek turuncu gösterge ile aynı hizaya getiriniz.
8. Makaranın üzerinden sarkıtılmış asılı duran kütleli kaldırın.
9. Bilgisayarda “Data Studio” programını çalıştırın. “Deney yarat” üzerine tıklayın. “Science workshop 750 interface” cihazı üzerindeki kanallardan hangisi kullanılıyorsa programda ilgili kanaları 1,2,3 ve 4 nolu kanallardan seçerek işaretleyin.
- 10 “Algılayıcı seç” ekranından “dairese hareket sensörü” nı seçin.
11. “Deney Kurulumu” penceresindeki “ölçümler” sekmesinde ölçülmek istenilen veri tipi ve kanal numarasını seçin. Örneğin, “Hız, Knl 1&2” gibi.
12. Deneyde periyodu bulabilmek için açısal hızı okumamız gerekmektedir. Açısal hızı okuyabilmek için, “Deney Kurulumu” ekranında “Ölçümler” sekmesinde sadece “Açısal hız, Knl 1&2” kutucuğunu işaretleyin. Soldaki “Ekranlar” kısmında “Grafik” üzerine tıklayın. Veri almak için bilgisayarınız hazır haldedir.
13. Düzeneği ani itmeler vermeden döndürmeye çalışın. Hız arttıkça turuncu gösterge hareket eder. Bu arada açısal hızı okuyabilmek için Açısal hız-zaman grafik ekranında aynı zamanda “BAŞLAT” tuşuna basarak açısal hızı ölçmeye başlayın. Merkez çubuk üzerinde turuncu gösterge yuvarlak boşluklu göstereyi ortalayana kadar platformu çevirmeye devam edin. Tam ortaladığı zaman, yan çubuk üzerinde asılı cisim destekleyen ip ilk durumundaki gibi dik olacaktır ve bundan dolayı asılı cisim istenilen yarıçapta tutulacaktır. Bunu gözlediğiniz zaman programda başlat sekmesine bir daha basarak programı durdurun.
14. Bu dengelenme olayının gözleendiği durumdaki açısal hız değerini grafik üzerinden açısal olarak, hareketin periyodunu bularak Tablo 1’e işleyin.
15. “Yan çubuğu” yeni bir yarıçapa hareket ettirin ve yukarıdaki süreci tekrarlayın. Bunu 3 farklı yarıçap için tekrarlayın.

Hesaplama:

1. Makaranın üzerinden asılan ağırlık, yay tarafından uygulanan merkezci kuvvete eşit olur. Makara üzerine asılan kütle değerini, g ile çarparak bu kuvveti bulun ve Tablo 2’nin en üst kısmına yazın.
2. Tablo 1’deki periyot değerlerinin karesini alın ve üçüncü sütuna yazın.
3. Yarıçapın, periyodun karesine göre değişim grafiğini çizin. Grafik düz bir çizgi çıkar.

$$r = \left(\frac{F}{4\pi^2 m} \right) T^2$$

4. Veriler boyunca en uygun doğruyu çizin ve çizginin eğimi ölçün. Eğim, Tablo 1’e yazın.

5. Eğimden, merkezci kuvveti hesaplayın ve Tablo 2'ye yazın.

6. Merkezci kuvvet için bulunan iki değer arasındaki yüzde hatayı bulun ve tabloya işleyin.

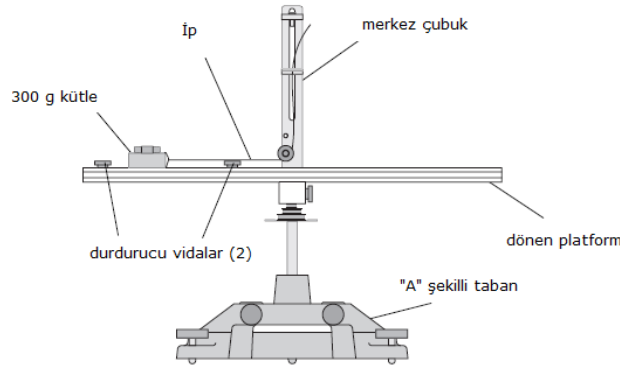
Tablo-2

Merkezcil Kuvvet = mg	
Eğimden bulunan merkezci kuvvet	
Yüzde hata	

B. Açısal Momentumun Korunumu

B1. Deney setinin hazırlanması: Açısal hız ölçümü

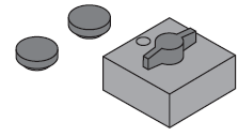
1. Şekil deki düzeneği kurun.



Şekil-6. Açısal momentumun korunumu düzeneği

2. Durdurucu vidayı, T yolunun üzerine, 5cm yazılı yere vidalayın. Bu vida, kare kütle kaydığı anda, durdurucu görevi görür.

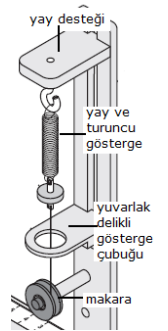
3. Kare kütle üzerindeki delik merkez çubuğa bakacak şekilde yola takın.



4. İkinci durdurucu vidayı, kare kütle tarafından yola takıp cetvel üzerinde 20 cm mesafesine vidalayın. Kare kütle bu iki durdurucu vida arasında serbestçe hareket edebilmelidir.

5. Yay ve takılı olduğu yay desteğini, turuncu gösterge ile beraber düzenekten çıkarın.

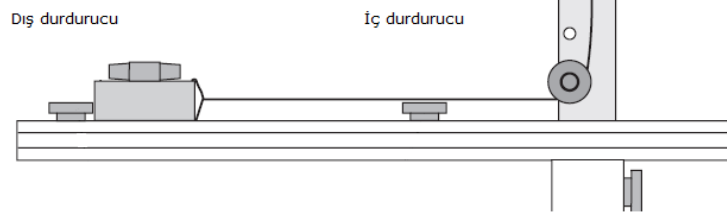
6. Kare kütle üzerindeki deliğe bir ip takın, bu ipi merkez çubuk üzerindeki makaranın etrafından ve yuvarlak delikli gösterge çubuğunun içinden geçirin.



7. Bilgisayar programında Açısal hızın ölçülmesi için gerekli ayarlamaları yukarıdaki kısımda anlatıldığı gibi hazırlayın. Programda "BAŞLAT" düğmesine basarak ölçümü başlatın.

8. Merkez çubuk üzerindeki ipi tutun.

9. Kare kütleyi dış durdurucunun yanında tutun. Buradan ilk konum için açısal hız w_i bulunur. Bunun için “T” yoluna hafif bir dönme verin. Yaklaşık 25 veri noktası alındıktan sonra ipi yukarı doğru çekin böylece kare kütle dış durdurucudan iç durdurucuya doğru kayar.



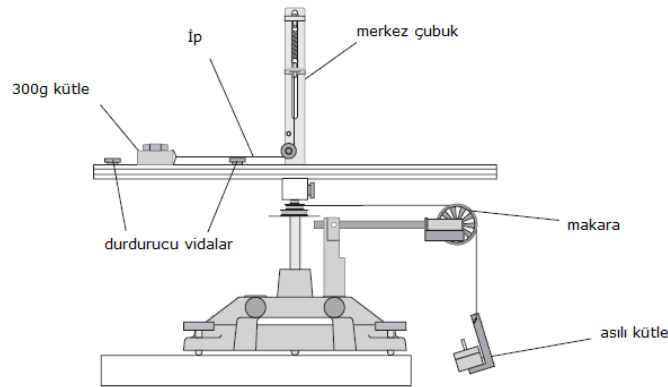
10. İpi yukarıda tutmaya devam edin ve 25 veri noktası daha alın. Daha sonra zamanı durdurun.

11 İpi çekmeden hemen önceki açısal hız değeri ile hemen sonraki açısal hız değerini grafikten alıp Tablo 3 e yazın. Bu ölçümü birkaç kez tekrarlayın ve değerleri Tablo 3’e yazın.

Tablo-3

Deneme No	Açısal Hızlar	
	İlk	Son
1		
2		
3		

Eylemsizlik Momentinin Ölçümü



1. Eylemsizlik momenti ölçülürken deney düzeneği şekildeki gibi olacaktır.

2. Bir önceki sete ilave olarak makara ve üzerinden sarkan kütle eklenecektir.

Sürtünme Kütlesinin Bulunması

1. Yukarda eylemsizlik momentinin bulunması ile ilgili denklemde sürtünme ihmal edildiği için, makaranın ucuna düzeneği harekete geçirebilecek kadar bir kütle koyarız. Böylece kinetik sürtünmeyi yenebilmek için ne kadar kütle gerektiğini anlayabiliriz. Bu anda kütle aşağı doğru inerken sabit bir hıza sahip olması gerekir. Daha sonra “Sürtünme kütlesi” sistemi ivmelendiren kütleden çıkaracağız.
2. Bilgisayarda programı çalıştırarak tekrar açışal hız ölçümü yapılacak duruma getirin.
3. Kinetik sürtünmeyi yenebilecek kütle miktarını hız-zaman grafik ekranından bulacağız.
4. İpin ucundaki kütle miktarını öyle ayarlayın ki zaman içinde hız sabit kalsın. Hızın sabit kalıp kalmadığını hız-zaman grafiğinden takip edin.
5. Bu sürtünme kütlesini Tablo 4’eya yazın.

Tablo-4

	Dış durdurucudaki kütle	İç durdurucudaki kütle
Sürtünme Kütlesi		
Asılı kütle		
Eğim		
Yarıçap		
Eylemsizlik Momenti		

Sistemin ivmesinin Bulunması

1. Kancanın ucuna 50 g kütle koyun. Kare kütle önce dış durdurucudaki durum için açışal hızın zamanla değışim grafiğini elde edin.
2. Bunun için, “Deney Kurulumu” ekranında “Ölçümler” sekmesinde sadece “Açışal Hız, Knl 1&2” kutucuğu işaretle olsun. Soldaki “Ekranlar” kısmında “Grafik” üzerine tıklayın. Veri almak için bilgisayarınız hazır haldedir. Hız-zaman grafik ekranı karşınıza geldiğinde, “BAŞLAT” tuşu ile süre ölçeri çalıştırın.
3. Açışal hızın eğimini bulmak için bilgisayar ekranından birkaç değer alıp bunu grafik kâğıdına çizin. Grafiğin eğimini tabloda yerine yazın.
4. İpin dolandığı kasnağın yarıçapını Tablo 4’e yazın.
5. Kare kütleli iç durdurucuda sabitleyip, aynı ölçümleri tekrarlayın ve ölçüm sonuçlarınızı tablo 4’e yazın.

Eylemsizlik Momenti Hesabı

1. Asılı kütlede sürtünme kütlesini çıkarın. Böylece sistemi ivmelendiren kütle bulun.
2. Kare kütlenin her iki durumu için sistemin eylemsizlik momentinin deneysel hesabını yapın ve tabloya yazın.
3. Son açısal hız değerini teorik(beklenen değer) olarak bulun ve tablo 5'e yazın.
4. Her bir deneme için son açısal hızın deneysel ve teorik değerler arasındaki yüzde farkı tabloya yazın.

Tablo-5

	Deneme 1	Deneme 2	Deneme 3
Teorik Açısal Hız			
% Fark			

SORULAR

1. Yarıçap azaltıldığında dönmenin periyodu arttı mı yoksa azaldı mı?
2. Dönen cismin yarıçapı ve kütlesi sabit tutulduğunda periyodun arttırılması merkezci kuvveti arttırdı mı yoksa azalttı mı?
3. Cismin kütlesi arttırıldığında merkezci kuvvet arttı mı yoksa azaldı mı?
4. İp çekilmeden önce dönme kinetik enerjisini bulun $K_i = \frac{1}{2} I_i \omega_i^2$, ip çekildikten sonra dönme kinetik enerjisini bulun $K_s = \frac{1}{2} I_s \omega_s^2$. Hangisi daha büyüktür? Neden?

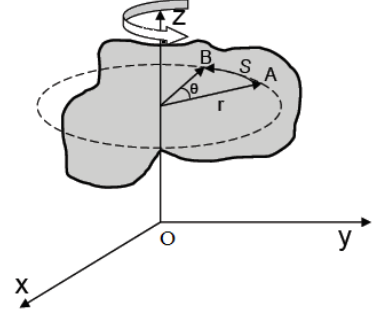
M 6

EYLEMSİZLİK MOMENTİ

AMAÇ: Katı bir cismin eylemsizlik momentinin bulunması.

GENEL BİLGİLER

Açısal Hız ve Açısal İvme: Bir eksen etrafında dönmekte olan katı bir cismin, dönme ekseninden r kadar uzaklığındaki m kütleli bir parçası, r yarıçaplı çembersel yörünge üzerinde v çizgisel hızı (yörünge hızı) ile hareket eder. Çizgisel hız r yarıçapına her noktada diktir. Cismin konumunu belirleyen θ açısına karşılık olan yay uzunluğu (çizgisel yol) ise $s = r\theta$ olduğundan, cismin çizgisel hızının şiddeti



Şekil 1

$$v = \frac{ds}{dt} = r \frac{d\theta}{dt} \quad (1)$$

olarak verilir. (1) bağıntısındaki açının zamanla değişme hızına **açısal hız** denir. Birimi **rad/s**'dir ve

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \quad (2)$$

şeklinde ifade edilir. Buna göre (1) bağıntısı

$$v = r\omega \quad (3)$$

olarak yazılabilir. Diğer taraftan çizgisel hız vektörel bir büyüklük olduğuna göre, (3) bağıntısından açısal hızın da vektörel bir büyüklük olduğu anlaşılır. (3) bağıntısının türevi alınarak çizgisel (teğetsel) ivme

$$a_t = \frac{dv}{dt} = r \frac{d\omega}{dt} \quad (4)$$

olarak elde edilir. Açısal hızın zamanla değişme hızına **açısal ivme** denir ve

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} \quad (5)$$

olarak verilir. Birimi **rad/s²**'dir. Buna göre, dönen cismin açısal ivmesi ile a_t teğetsel ivmesi arasında

$$a_t = r\alpha \quad (6)$$

ilişkisi vardır. Ayrıca, teğetsel ivme vektörel bir fiziksel nicelik olduğundan, açısal ivme de vektörel bir büyüklüktür.

Eylemsizlik Momenti: Bir cismin dönme hareketine karşı gösterdiği bir tür dürencin ölçüsüne *eylemsizlik (atalet) momenti* denir. Bir eksen etrafında ω açısal hızıyla dönen katı bir cismi oluşturan tüm parçacıkların, belirli kinetik enerjilere sahip olmaları gerekir. Dönme ekseninden r kadar uzakta bulunan m kütleli bir parçacık, r yarıçaplı çembersel yörünge üzerinde v çizgisel hızı ile dönerken

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mr^2\omega^2 \quad (7)$$

ile ifade edilen bir kinetik enerjiye sahip olacaktır (Şekil-1). Dolayısıyla, dönme ekseninden farklı uzaklıklarda bulunan çok sayıda parçacıktan oluşmuş katı bir cisim için (7) ifadesi

$$K = \frac{1}{2}(m_1r_1^2 + m_2r_2^2 + \dots)\omega^2 = \frac{1}{2}\left[\sum_i m_i r_i^2\right]\omega^2 \quad (8)$$

şeklinde yazılabilir. Bu bağıntı kesikli sistemler için geçerlidir. (8) bağıntısındaki

$$I = \sum_i m_i r_i^2 \quad (9)$$

ifadesine yani parçacıkların kütleleri ile dönme eksenine olan uzaklıklarının karelerinin çarpımlarının toplamına *eylemsizlik momenti* denir. Diğer taraftan, cismin sürekli bir yapıya sahip olduğu kabul edilirse, (9) bağıntısındaki toplam sembolü yerini integral işaretine bırakır ve tüm cisim üzerinden integral alınarak eylemsizlik momenti

$$I = \int r^2 dm \quad (10)$$

şeklinde ifade edilir. Dolayısıyla eylemsizlik momenti, cismin hem şekline ve kütle dağılımına hem de dönme eksenine bağlıdır. Eylemsizlik momentinin SI sistemindeki birimi $\mathbf{kg.m^2}$ 'dir. Buna göre, bir eksen etrafında dönmekte olan bir cismin, (8) ile verilen toplam kinetik enerjisi

$$K = \frac{1}{2}I\omega^2 \quad (11)$$

olur. (11) denkleminde görüldüğü gibi eylemsizlik momenti büyüdükçe, cismin dönme hareketi yapması için daha fazla iş yapması gerekir.

Düzgün Bir Cismin Eylemsizlik Momentinin Belirlenmesi: Belirli bir geometrik şekle sahip olmayan bir cismin eylemsizlik momentinin (10) bağıntısı yardımıyla hesaplanması oldukça zor iken, basit şekilli katı cisimlerinki gayet kolaydır. Örneğin, R yarıçaplı M kütleli düzgün bir diskin merkezinden geçen ve disk düzlemine dik olan bir eksene göre eylemsizlik momenti,

$$I = \frac{1}{2} MR^2 \quad (12)$$

ile verilir. İç yarıçapı R_1 , dış yarıçapı R_2 olan bir halkanın eylemsizlik momenti

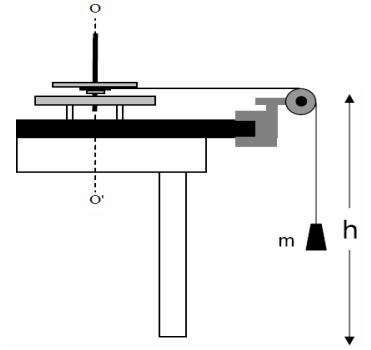
$$I = \frac{1}{2} M (R_1^2 + R_2^2) \quad (13)$$

ile tanımlıdır. Eni a boyu b olan dikdörtgen levhanın eylemsizlik momenti ise

$$I = \frac{1}{12} M (a^2 + b^2) \quad (14)$$

dir.

Şekil-2’de şematik olarak gösterilen sistem, düşey bir eksen etrafında dönebilen disk şeklinde bir tabla ile h yüksekliği boyunca düşen bir m_1 kütesinden oluşmuştur. m_1 kütesinin ağırlığı r yarıçaplı bir makaraya sarılı olan ipi çekerek, tablayı döndürür. Makaranın kütle merkezi ise OO' dönme eksenini üzerindedir. m_1 kütesinin belirli bir h yüksekliğini kat ettiği andaki hızı v_1 için, makaranın açısal hızı ω ’ya bağlı olarak



Şekil-2

$$v_1 = r\omega \quad (15)$$

bağıntısı ile yazılabilir. Sistem durgun halden harekete başlarsa $v_0 = 0$ ve $\omega_0 = 0$ olacağından, başlangıçta sistemin kinetik enerjisi sıfırdır. Sistemin enerjisi, m_1 kütesinin potansiyel enerjisi olan m_1gh kadardır. m_1 kütle h kadar alçalınca, başlangıçta sadece m_1gh kadar potansiyel enerjisi olan m_1 kütle, bu enerjiyi kendi hızlanması (v_1) ve ipin sarılı olduğu disk şeklindeki tablanın dönmesinden (ω) kaynaklanan kinetik enerjilere dönüştürecektir. Bu durum enerji korunumuna göre,

$$m_1gh = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} I_{\text{tabla}} \omega^2 \quad (16)$$

şeklinde olmalıdır. Sistem sabit bir kuvvetin etkisiyle hareket ettiğine göre, m kütesinin hareketi düzgün hızlanan doğrusal harekettir. Dolayısıyla hız için

$$v_1 = \frac{2h}{t_1}$$

(17)

yazılabilir. (15), (16) ve (17) denklemleri kullanılarak, tablanın eylemsizlik momenti için

$$I_{\text{tabla}} = m_1 r^2 \left(\frac{gt_1^2}{2h} - 1 \right) \quad (18)$$

ifadesi elde edilir. Tabla üzerine eylemsizlik momenti belirlenecek bir cisim, kütle merkezi OO' dönme eksenini üzerinde bulunacak şekilde konulduğunda, tabla ve üzerindeki cisimden oluşan sistemin OO' dönme eksenine göre eylemsizlik momenti ($I_{\text{tabla}} + I_{\text{cisim}}$) olur. Bu durumda sistem, m_2 kütlelerinin ağırlığı ile harekete geçer ve t_2 kadar bir zamanda bu kütle h kadar alçalır. Bu koşulda sistemin eylemsizlik momenti (18) denklemi;

$$I_{\text{tabla}} + I_{\text{cisim}} = m_2 r^2 \left(\frac{gt_2^2}{2h} - 1 \right) \quad (19)$$

ile verilir. (18) ve (19) bağıntıları kullanılarak I_{cisim} bulunur.

DENEY

Deney düzeneğindeki ipin sarılı olduğu makaranın yarıçapı verniyeli kompasla birkaç kez değişik yerlerinden ölçülür ve Tablo-1'e işlenir. 20 gr'lık kütleinin bırakılacağı h yüksekliği 75cm olarak ayarlanır. Kütleinin bu yükseklikten aşağıya iniş süresi 3 kez ölçülüp, ortalaması alınır. Denklem (18) kullanılarak tablanın eylemsizlik momenti hesaplanır. Sonuçlar Tablo1'e işlenir.

Tablo-1

r(m)	m(kg)	h(m)	t(s)	I _{tabla} (kgm ²)
			t _{ort} =	

Disk:

1. Deney düzeneğindeki tablanın üzerine disk yerleştirilir.
2. 30g'lık kütleinin bırakılacağı h yüksekliği 75cm olarak ayarlanır. Değerler Tablo 2'ye işlenir.
3. Kütleinin bu yükseklikten aşağıya iniş süresi 3 kez ölçülüp, ortalaması alınır.
4. Denklem (19) kullanılarak tabla ve diskin toplam eylemsizlik momenti olan (I_{tabla}+I_{disk}) hesaplanır.
5. Toplam eylemsizlik momentinden (I_{tabla}+I_{disk}), tablanın eylemsizlik momenti (I_{tabla}) çıkarılarak diskin deneysel eylemsizlik momenti (I_{disk})_{deneysel} hesaplanır.
6. Denklem (12) kullanılarak diskin teorik eylemsizlik momenti hesaplanır ve hata hesabı yapılır. Tüm sonuçlar Tablo-2'ye işlenir.

Tablo-2

r(m)	m(kg)	h(m)

t(s)	I _{tabla} +I _{disk} (kgm ²)	(I _{disk}) _{deneysel} (kgm ²)	M _{disk} (kg)	R _{disk} (m)	(I _{disk}) _{teorik} (kgm ²)	$\frac{ I_{teorik}-I_{deneysel} }{I_{teorik}}$
t _{ort} =						

Halka:

1. Deney düzeneğindeki tablanın üzerine halka yerleştirilir.
2. Disk için yapılan işlemler halka için tekrar edilerek halkanın deneysel olarak eylemsizlik momenti hesaplanır.
3. Halkanın iç yarıçapı R_1 ve dış yarıçapı R_2 ölçülerek, denklem (13) yardımıyla halkanın teorik eylemsizlik momenti hesaplanır ve hata hesabı yapılır. Sonuçlar Tablo-3'e işlenir.

Tablo-3

r(m)	m(kg)	h(m)

t(s)	$I_{\text{tabla}}+I_{\text{halka}}$ (kgm²)	$(I_{\text{halka}})_{\text{deneysel}}$ (kgm²)	$M_{\text{halka}}(\text{kg})$	$R_1(\text{m})$	$R_2(\text{m})$	$(I_{\text{halka}})_{\text{teorik}}$ (kgm²)	$\frac{ I_{\text{teorik}}-I_{\text{deneysel}} }{I_{\text{teorik}}}$
t_{ort}=							

Dikdörtgen Levha:

1. Deney düzeneğindeki tablanın üzerine levha yerleştirilir.
2. Halka için yapılan işlemler dikdörtgen levha için tekrar edilerek, dikdörtgen levhanın deneysel eylemsizlik momenti hesaplanır.
3. Levhanın kısa kenarı a ve uzun kenarı b ölçülerek, Denklem (14) yardımıyla levhanın teorik eylemsizlik momenti hesaplanır ve hata hesabı yapılır. Sonuçlar Tablo-4'e işlenir.

Tablo-4

r(m)	m(kg)	h(m)

t(s)	$I_{\text{tabla}}+I_{\text{levha}}$ (kgm²)	$(I_{\text{levha}})_{\text{deneysel}}$ (kgm²)	$M_{\text{levha}}(\text{kg})$	$a(\text{m})$	$b(\text{m})$	$(I_{\text{levha}})_{\text{teorik}}$ (kgm²)	$\frac{ I_{\text{teorik}}-I_{\text{deneysel}} }{I_{\text{teorik}}}$
t_{ort}=							

SORULAR:

1. Eylemsizlik momenti öteleme hareketinde hangi fiziksel büyüklüğe karşılık gelir, neden?
2. Bu deney ayda yapılsaydı eylemsizlik momenti değişir miydi? Neden?
3. Düzgün geometrik şekilli katı cisimlerin eylemsizlik momentleri nasıl hesaplanır? Bir örnekle açıklayınız.

AMAÇ

- 1) Bir spiral yayın yay sabitinin belirlenmesi ve basit harmonik hareket yapan bir cismin periyodunun incelenmesi.
- 2) Basit sarkaç yardımıyla yerçekimi ivmesinin belirlenmesi ve sarkaç periyodunun ölçülmesi.

GENEL BİLGİLER

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

$$F = -ky \quad (1.1)$$

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

$$F = ma = m \frac{dv}{dt} = m \frac{d^2y}{dt^2} \quad (1.2)$$

dir. Buradan,

$$-ky = m \frac{dv}{dt} \text{ veya } m \frac{d^2y}{dt^2} + ky = 0 \quad (1.3)$$

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

$$\frac{d^2y}{dt^2} + \omega^2 y = 0 \quad (1.3')$$

şeklinde ifade edilir. (1.3') denkleminde genellikle *harmonik osilatör denklemi* denir ve çözümü, A bir sabit *genlik*, δ *başlangıç fazı* olmak üzere

$$y = A \sin(\omega t + \delta) \quad (1.4)$$

şeklindedir.

(1.4) bağıntısından hareket ederek;

$$v = \frac{d x}{d t} = \omega A \cos(\omega t + \delta) \quad (1.5)$$

$$a = \frac{d v}{d t} = -\omega^2 A \sin(\omega t + \delta) = -\omega^2 y \quad (1.6)$$

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

hareketin periyodu da

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (1.7)$$

olarak bulunur.

1.2 Hooke Kanunu: Esnek bir cisme esneklik sınırları içinde kalmak koşuluyla bir kuvvet uygulandığında cisimde oluşan boyut değişikliği uygulanan kuvvetle orantılıdır. Tek boyutlu kabul edilebilecek bir cisme F kuvvetinin uygulanması halinde boyutundaki $\Delta\ell=y$ değişme miktarı

$$F = ky \quad (1.8)$$

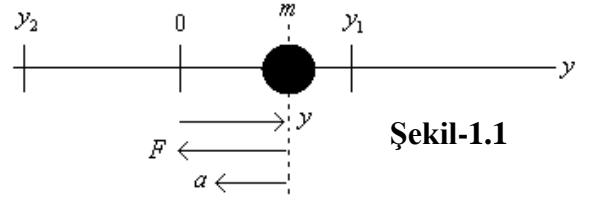
bağıntısı ile verilir. (1.8) bağıntısındaki k matematiksel anlamda bir orantı katsayısıdır. Newton'un üçüncü kanununa göre cisme etkiyen F kuvvetine cisim de eşit şiddetle fakat zıt yönlü tepki göstereceğinden, tepki kuvveti,

$$F' = -ky$$

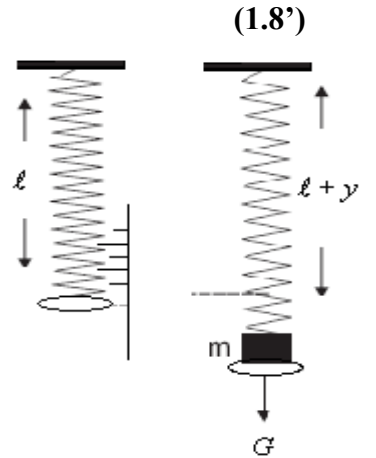
şeklinde yazılabilir. Genellikle **Hooke Kanunu** olarak anılan bu son bağıntıdaki F' kuvvetine **geri getirici kuvvet** denir. Bir ucundan asılı boyu ℓ olan hafif bir yayın diğer ucuna m kütlesi asıldığında yay ilk durumdan y kadar uzar (Şekil-1.2). Bu uzamayı sağlayan m kütesinin G ağırlığıdır. Bu nedenle, (1.8) bağıntısından

$$k = \frac{mg}{y} \quad (1.9)$$

elde edilir. Dolayısıyla **k** orantı katsayısı, spiral yayın yay sabitidir.



Şekil-1.1



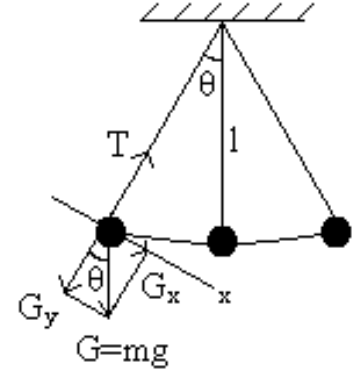
Şekil-1.2

2.1 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,

$$G = mg \quad (2.1)$$

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 ettirmelidir.

2.2 Basit Sarkaç: Bir ucundan tespit edilmiş ℓ uzunluğundaki hafif iplikle taşınan m kütleli noktasal bir cismin oluşturduğu düzeneğe **basit sarkaç** denir (Şekil-2.1). 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. $mg\sin\theta$ bileşeni ise, m kütlesini 0 denge durumuna getirmeye çalışan geri getirici kuvvetin şiddeti olup,



Şekil-2.1

$$F = mg\sin\theta \quad (2.2)$$

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,

$$F = -mg\theta = -mg \frac{x}{\ell} \quad (2.3)$$

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

$$F = -kx \quad (2.4)$$

yazılabilir. (2.4) bağıntısındaki (-) işareti geri getirici kuvvet olduğunu ifade eder. (2.3) ve (2.4) bağıntıları yardımıyla

$$-kx = -mg \frac{x}{l} \text{ veya } k = \frac{mg}{l} \quad (2.5)$$

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

$$-kx = m\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right) \quad (2.6)$$

elde edilir. $\omega^2 = \frac{k}{m}$ olmak üzere, (2.6) bağıntısı

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0 \quad (2.7)$$

şekline dönüşür. Bu bağıntı ise basit harmonik hareketin diferansiyel denklemdir. (2.7) denkleminin çözümü, A bir sabit olan ‘genlik’ değeri, δ ‘başlangıç fazı’ olmak üzere,

$$x = A\sin(\omega t + \delta) \quad (2.8)$$

şeklindedir. Ancak başlangıç şartına bağlı olarak, çözüm

$$x = A\cos(\omega t + \delta)$$

(2.8’) şeklinde de olabilir. Öte yandan $\omega = \frac{2\pi}{T}$ olduğundan hareketin periyodu,

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{mg/l}} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \quad (2.9)$$

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 (2.9) bağıntısı θ açısının küçük olması halinde geçerlidir.”

DENEY 1

1. Spiral yayın ucundaki işaret okunun gösterdiği y_0 değeri okunur ve Tablo-1'e işlenir.
2. Spiral yayın alt ucuna m kütlesi asılır ve denge durumunda işaret okunun gösterdiği y değeri okunur ve Tablo-1'e işlenir.
3. Yayın esneklik sınırları aşılmamak koşuluyla yaya asılan kütleler gittikçe artırılır ve her bir durum için işaret okunun gösterdiği y_n değeri okunarak Tablo-1.1'e işlenir.

Tablo-1.1

m (kg)					
y_n (m)	$y_0=$	$y_1=$	$y_2=$	$y_3=$	$y_4=$
$y=y_n-y_0$ (m)					
$F=mg$ (N)					
$k=F/y$ (N/m)					
					$k_{ort}=$ (N/m)
					$k_{grafik}=$ (N/m)

4. Her bir durum için F kuvveti ve $k=F/y$ bulunarak **Tablo-1.1'e** işlenir.
5. Tablo-1'deki değerler kullanılarak " $F=f(y)$ " grafiği çizilir. Bu eğri (1.1) bağıntısına göre orijinden geçen doğru olmalıdır. Bu doğrunun eğiminden spiral yayın ortalama yay sabiti k_{grafik} hesaplanır ve Tablo-1.1'e işlenir.
6. 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.
7. BHH'in periyodunu belirlemek için birkaç tam salınımlık (yaklaşık 10) süre ölçülür. Ölçüm hatasını azaltmak için bu süre iki kez ölçülür. Bu değerlerden ortalama periyot hesaplanır. Sonuçlar **Tablo-1.2'**ye işlenir.
8. Yaya asılan kütleler gittikçe artırılarak benzer şekilde ortalama periyot hesaplanır. Sonuçlar Tablo-1.2'ye işlenir.
9. Tablo-1.2'deki değerlerden " $T^2=f(m)$ " grafiği çizilir. Bu eğri (1.7) bağıntısına göre orijinden geçen bir doğru olmalıdır.

Tablo-1.2

m (kg)	10T(s)	T _{ort} (s)	T ² (s ²)

10. Çizilen bu eğriden seçilen iki tane (m, T²) değer çifti için (1.7) bağıntısı yardımıyla yay sabiti hesaplanır. Sonuçlar **Tablo-1.3**'e işlenir.

Tablo-1.3

m (kg)	T ² (s ²)	k (N/m)
		k _{ort} =

DENEY 2

1. Asılma noktasından sarkaç cisminin kadar olan ℓ' ip boyu bir metre çubuğu ile ve kürenin 2R çapı da kompasla ölçülerek sarkacın $\ell = \ell' + \ell_c + R$ uzunluğu hesaplanır. Bu işlem birkaç kez (yaklaşık 3 defa) tekrarlanarak ortalama sarkaç boyu bulunur. Değerler **Tablo-2.1**'e işlenir.
2. 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 birkaç salınım (yaklaşık 10°) için geçen süre kronometre ile okunarak sarkaç periyodu bulunur. Bu işlem birkaç defa tekrar edilerek ortalama periyot hesaplanır, Tablo-2.1'e işlenir.
3. Bu işlemler farklı uzunluklu sarkaçlar (yaklaşık 3 tel) için tekrarlanarak, bulunan değerler Tablo-2.1'e işlenir.
4. Tablodan yararlanarak $T^2 = f(\ell)$ grafiği çizilir. Grafikten bulunan ℓ / T^2 oranı ve (2.9) ifadesi yardımıyla g yerçekimi ivmesi hesaplanır.
5. Yerçekimi ivmesinin bulunulan yerde bilinen değeri yardımıyla g'nin belirlenmesinde yapılan bağıl hata,

$$\frac{|\Delta g|}{g'} = \frac{|g' - g|}{g'} \quad (2.9')$$

bağıntısından hesaplanarak Tablo-2.1'e işlenir.

$l_{\phi} = \dots\dots\dots$	$2R = \dots$ $R = \dots$	$g' = \dots\dots\dots$
------------------------------	-----------------------------	------------------------

Tablo-2.1

l'	l	10T	T	10T ek kütle	T ek kütle	g	$\Delta g/g'$

6. Sarkaç cismi üzerine ek kütle takılarak periyot iki kez ölçülür bulunan değer, daha önce kullanılan aynı boylu sarkacın periyot değeri ile karşılaştırılarak periyodun kütle ile değişip değişmediği kontrol edilir.

SORULAR:

1. Genlik nedir? BHH'de periyot genliğe bağımlıdır? Periyot hangi büyüklüklerle değişir?
2. Gravitasyonel alan şiddeti $g=G/m$ olarak tanımlanır. Tablo-1'den yararlanarak gravitasyonel alan şiddeti hesaplanabilir mi?
3. Basit harmonik hareket nedir?
4. Yerçekimi ivmesi nelere bağlı olarak değişir?

M 8

BURULMA SARKACI

AMAÇ: Esnek bir telin burulma sabitinin bulunması ve burulma sarkacı ile bir cismin eylemsizlik momentinin ölçülmesi.

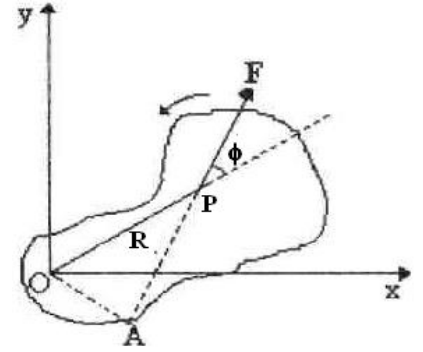
GENEL BİLGİLER

Dönme Momenti: Bir kuvvet etkisiyle bir cisim bir nokta (O noktası) etrafında dönmeye zorlanırsa, deneyler dönme etkisinin O noktasının kuvvet doğrultusuna olan OA uzaklığı ile, başka bir deyimle $O\bar{A}$ kuvvet kolu ile arttığını göstermektedir (Şekil-1). Cismin kolaylıkla dönebilmesi için $O\bar{A}.F = O\bar{P}.F.\sin\phi$ nin büyük olması gerekir. Bu büyüklüğe **dönme momenti** (tork) denir ve

$$\vec{\tau} = \vec{R} \times \vec{F} \quad (1)$$

şeklinde ifade edilir. Dönme momentinin SI sistemindeki birimi N.m dir.

O' dan geçen, şekil düzlemine dik olan eksen etrafında dönen bir cismin P noktasına, dolayısıyla cisme etki eden dönme momenti, P de bulunan ve F kuvvetinin etkisi altında aynı eksen etrafında dönen bir parçacığa etki eden dönme momentine eşdeğerdir. Şu halde cismin bu eksen etrafında dt gibi kısa bir sürede dönmesiyle, cismin herhangi bir P noktasının bu sürede dairesel yörüngede aldığı yol $ds = R d\theta$ dır (Şekil-2).



Şekil 1

Bu durumda yapılan iş,

$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{s} = F ds \cos\left(\frac{\pi}{2} - \phi\right) = FR \sin\phi d\theta = \tau d\theta \quad (2)$$

dır. Bir eksene göre konumları R_1, R_2, \dots ile belirtilen m_1, m_2, \dots kütleli parçacıklardan oluşan ve bu eksen etrafında dönen bir cismin kinetik enerjisi,

$$E_k = \frac{1}{2} (m_1 R_1^2 + m_2 R_2^2 + \dots) \omega^2 = \frac{1}{2} (\sum m_i R_i^2) \omega^2 = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (3)$$

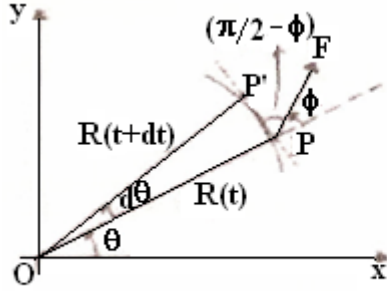
şeklinde ifade edilir (Şekil-3). (3) bağıntısındaki

$$I = \left(\sum_i m_i R_i^2 \right) \quad (4)$$

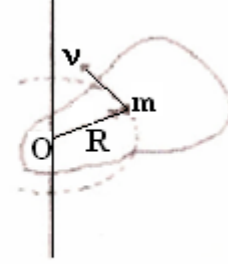
ifadesine cismin bu dönme eksenine göre *eylemsizlik momenti* denir. Ancak, cismin sürekli bir yapıya sahip olduğu kabul edilirse, (4) bağıntısı,

$$I = \int R^2 dm \quad (5)$$

şeklinde yazılabilir.



Şekil-2



Şekil-3

Diğer taraftan kinetik enerjinin zamana bağlı değişimi,

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} I \omega^2 \right) = \frac{1}{2} I \frac{d}{dt} \omega^2 = I \omega \frac{d\omega}{dt} = I \alpha \omega \quad (6)$$

şeklinde ifade edilebileceğinden, (2) bağıntısı yardımıyla dönme momenti

$$\tau = I \alpha \quad (7)$$

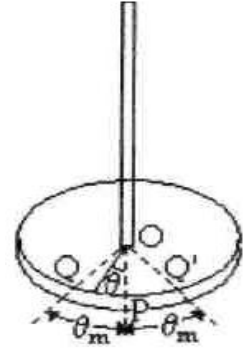
şeklinde yazılabilir. Şu halde, *sabit bir eksen etrafında dönen bir cismin açısal ivmesi ile eylemsizlik momentinin çarpımı cisme etki eden dönme momentine eşittir*. Bu takdirde, (7) bağıntısı öteleme hareketindeki $F=m.a$ bağıntısına eşdeğerdir. Dolayısıyla, öteleme hareketindeki m kütlelerinin yerini, dönme hareketinde kütle dağılımını ifade eden I eylemsizlik momenti alır.

Paralel Eksenler Teoremi: Bir cismin kütle merkezinden geçen bir eksene göre olan I_o eylemsizlik momenti ile bu eksene paralel herhangi bir başka eksene göre olan I eylemsizlik momenti arasında, h eksenler arasındaki uzaklığı ve m de dönen cismin kütleini göstermek üzere

$$I = I_o + mh^2 \quad (8)$$

bağıntısı vardır. Bu bağıntı çok zaman *paralel eksenler teoremi* veya *Steiner teoremi* olarak anılır.

Burulma Sarkacı: Basit bir burulma sarkacı, üst ucu sıkıca tutturulmuş bir tel veya çubuğun alt ucuna yerleştirilmiş yatay bir diskten oluşur (Şekil-4). Disk, P noktası Q ya gelecek şekilde burularak denge durumundan uzaklaştırılıp serbest bırakılırsa P noktası Q ve Q' limit durumları arasında salınır. Diskin salınımı burulmuş telin diske etki ettirdiği τ dönme momentinden kaynaklanır ve diski denge durumuna getirecek yönde etki eder. Ancak, küçük salınımlar için bu dönme momentinin burulma açısı ile orantılı olduğu görülür.



Şekil 4

Şu halde, θ açısal uzanımına zıt yönde etki eden dönme momenti

$$\tau = -k_b \theta \quad (9)$$

dır. Bu bağıntıdaki k_b burulma sabiti olup, diski taşıyan telin özelliklerine bağlıdır. Dolayısıyla (9) bağıntısı basit harmonik hareketin $F = -kx$ bağıntısının açısal türde ifadesidir. Sistemin hareket denklemini ise,

$$\tau = I\alpha = I \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (10)$$

ve (9) bağıntısından

$$-k_b \theta = I \frac{d^2\theta}{dt^2} \Rightarrow \frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{k_b}{I} \theta = 0 \quad (11)$$

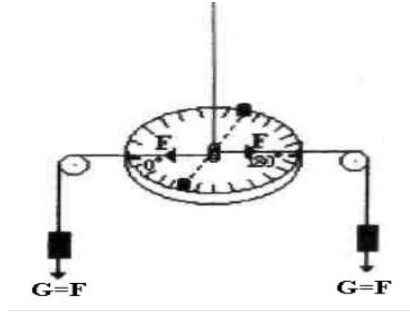
şeklindedir. Bu bağıntıdaki I eylemsizlik momenti O dan geçen düşey eksene, başka bir deyimle, diski taşıyan tel doğrultusundaki eksene göredir, $\omega^2 = k_b/I$ olmak üzere bu diferansiyel denklemin çözümü,

$$\theta = \theta_0 \sin(\omega t + \varphi) \quad (12)$$

dır. Burada φ faz açısıdır ve başlangıç koşullarından belirlenir. ω açısal frekansı $\omega = 2\pi/T$ olduğundan burulma sarkacının küçük salınımlarının periyodu,

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{k_b}} \quad (13)$$

dır. Burulma sarkacı bir cismin eylemsizlik momentinin belirlenmesinde kullanılan en basit bir ayardır. Eylemsizlik momenti ölçülecek cisim, boyut ve kütlesi aynı olan bir diğeri ile sarkaç diski üzerine bir çap boyunca ve sarkacın dönme ekseninden aynı h uzaklığında bulunacak şekilde yerleştirilir (Şekil-5).



Şekil-5

Bu takdirde sistemin $(I + 2 I_1)$ eylemsizlik momenti,

$$I + 2I_1 = \frac{T'^2 k_b}{4\pi^2} \quad (14)$$

$$I_1 = MR^2 + Mh^2 \quad (15)$$

dir. (14) bağıntısındaki T' bu şekilde yüklenmiş burulma sarkacının salınım periyodunu, I_1 ise cismin eylemsizlik momentini ifade eder. (15) bağıntısındaki I_1' ise cismin teorik eylemsizlik momentidir.

DENEY

1. Sarkaç diskinde iplerin sarıldıkları makaranın çapı verniyeli kompasla birkaç defa (yaklaşık 3 kez) ölçülüp, ortalama alınarak Tablo-1'e işlenir,
2. Sabit göstergeler 0° ve 180° lik açı bölmesinin karşısına gelecek şekilde askı telinin üst ucu sıkıca tutturulur ve sarkaç diski altındaki vida yardımıyla yatay duruma getirilir.

Tablo-1

R:					
θ_o:					
m (g)	F (dyn)	$\theta = \theta_{ölçü} - \theta_o$ (derece)	θ (rad)	$\tau = 2FR$ (dyn.cm)	$k_b = \tau/\theta$ (dyn.cm/rad)
5					
10					
15					
20					
25					
30					
35					
40					
45					
50					
					$(k_b)_{ort} =$

3. Disk makarasına ters yönlerde sarılmış ipler askı düzenindeki ayaklara bağlı makaralardan dolaştırılıp, sarkan uçlarına çeşitli kütleler (5, 10, 15g,...) asılarak her bir durum için dönme (burulma) açıları ölçülür, bunlara karşılık olan k_b , burulma sabitleri hesaplanır. Ortalama değer bulunarak sonuçlar Tablo-1'e işlenir.

4. Sarkaç diski θ kadar (yaklaşık 5°) döndürülerek salınımın T periyodu ölçülür. Buradan sarkaç düzeninin eylemsizlik momenti, bulunan $(k_b)_{ort}$ değeri kullanılarak (13) bağıntısı yardımıyla hesaplanır, Tablo-2'ye işlenir.

5. Eylemsizlik momenti bulunacak cisimlerin çap ve kütleleri birkaç defa (yaklaşık 3 kez) ölçülüp Tablo-2'ye işlenir.

6. Bu cisimler sarkaç diski üzerine aynı çap boyunca ve dönme ekseninden aynı h uzaklığına yerleştirilir ve h uzaklığı dikkatle ölçülür, Tablo-2'ye işlenir.

7. Bu durumda sarkaca salınım yaptırılarak salınımın T ' periyodu ölçülür. Bulunan sonuç Tablo-2'ye işlenir.

8. Kullanılan askı teli için $(k_b)_{ort}$ değeri Tablo-1'den alınarak (14) bağıntısı yardımıyla I_1 hesaplanır.

9. Cismin I_1' eylemsizlik momenti (15) bağıntısı ile teorik yoldan hesaplanarak deneyde yapılan bağıl hata,

$$\frac{|\Delta I_1'|}{I_1'} = \frac{|I_1' - I_1|}{I_1'} \quad (16)$$

(16) bağıntısından bulunur Tablo-2'ye işlenir.

Tablo-2

m=
R=
h =
T =
I =
T '=
I₁(ölçü)=
I₁'=
$(\Delta I_1' / I_1') =$

SORULAR:

1. Burulma sabitinin CGS sistemindeki birimini yazınız.
2. Bir burulma sarkacı aya götürüldüğünde frekansı değişir mi, neden?

1. VİSKOZİTE VE YÜZEY GERİLİMİ

AMAÇ:

1. Saydam bir sıvının viskozite katsayısının ölçülmesi.
2. Sıvıların yüzey gerilim katsayılarının ölçülmesi.

GENEL BİLGİLER

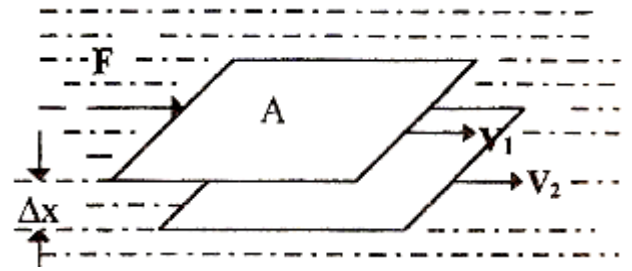
Sıvılar; molekülleri gelişi güzel hareket eden gazlar ile düzgün sıralanmış katılar arasında bir özelliğe sahiptir. Sıvı moleküllerini bir arada tutan en önemli faktör olan moleküller arası çekim kuvvetleri, sıvıların birçok özelliğinin belirlenmesinde yardımcı olur. Bu kuvvetler, katılara göre daha zayıf olduğundan sıvı molekülleri birbiri üzerinde kayarlar.

Sıvıların bazı özellikleri genel olarak;

- ❖ Sıvılar buldukları kabın şeklini alırlar.
- ❖ Akmaya karşı direnç gösterirler (viskozite).
- ❖ Yüzey gerilimleri vardır.

Viskozite Katsayısı: Bir borudan akmakta olan bir sıvı düşünüldüğünde, boruyla temasta olan sıvı tabakası boru çeperi ile sıvı molekülleri arasındaki karşılıklı kuvvet etkileşimleri yüzünden hareketsizdir. Çeperden uzaklaştıkça sıvı tabakalarının hızları artar. Birbirlerine komşu sıvı tabakalarının farklı hızlarla akışlarının nedeni,

bunların birbiri üzerindeki hareketlerinin cinsine bağlı olan bir sürtünme etkisi altında olmasıdır. Akışkanlar içinde oluşan ve sıvı tabakalarının hareketlerine karşı direnç oluşturan kuvvetlere **viskozite** veya **iç sürtünme** adı verilir. O halde bir sıvı içerisinde aralarındaki uzaklık Δx ,



Şekil 1

karşılıklı yüzeyleri A olan paralel iki sıvı tabakası düşünüldüğünde bunlar arasında Δv şeklinde bir hız farkı oluşturmak için levhalardan birine kuvvet uygulanması gerekir (Şekil-1). Bu kuvvet,

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

bağıntısı ile verilir. Burada η bu sıvının **viskozite (iç sürtünme) katsayısıdır**. η ; sıvının cinsine ve sıcaklığına bağlı olarak değişir. Viskozite katsayısının SI birim sisteminde birimi Ns/m^2 dir. Viskozite katsayısının CGS sistemindeki birimi olan **Poise** kullanılmaktadır. $1\text{Poise}=10^{-1} Ns/m^2$ dir.

Stokes Kanunu: Viskoz bir sıvı yüzeyinden ilk hızsız olarak bırakılan küçük bir küresel cisme etki eden kuvvetler, cismin G ağırlığı, sıvının F_k kaldırma ve F_s iç sürtünme kuvvetidir (Sekil-2). İç sürtünme kuvveti hızla orantılı olduğundan, cisme ivme kazandıran aşağı yönlü bileşke kuvvet gittikçe azalır ve kısa bir süre sonra sıfır olur. Bundan sonra cisim sahip olduğu hızla (limit hız) hareketini düzgün doğrusal olarak sürdürür. Bu durumda,

$$G - F_k - F_s = 0 \quad (2)$$

dır.

$$G = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_c g$$

$$F_k = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_{ak} g$$

$$F_s = 6\pi\eta r \mathcal{G}_{lim}$$

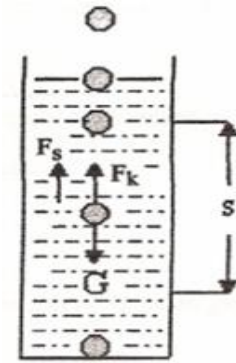
değerleri (2) bağıntısına taşınarak viskozite katsayısı

$$\eta = \frac{2g}{9\mathcal{G}_{lim}} (\rho_c - \rho_{ak}) r^2 \quad (3)$$

olarak bulunur.

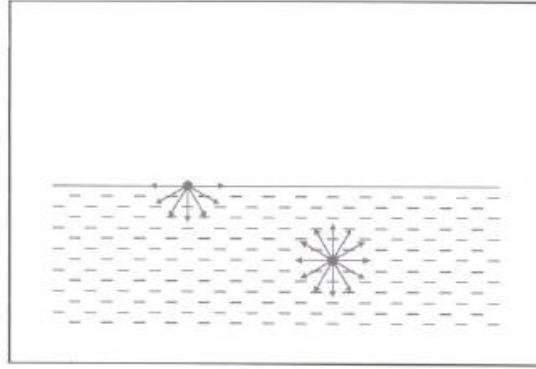
1. Yüzey Gerilim Katsayısı: Durgun sıvılarda yerçekimi ve basınç kuvvetlerinin yanı sıra hidrostatikle açıklanamayan, sıvıların yüzeyinde meydana gelen ve **yüzey gerilimi** olarak adlandırılan bazı kuvvetler bulunur. Sıvı molekülleri arası kısa mesafeli çekim kuvvetlerinden kasıt, Van der Waals kuvvetleri olabileceği gibi örneğin su için hidrojen bağları veya civa için metalik bağlar olabilir.

Aynı tür moleküller arası kuvvetlere **kohezyon**, farklı tür moleküller arasında oluşan kuvvetlere ise **adezyon** kuvvetleri denmektedir. Sıvılarda kohezyon kuvveti sıvı molekülünü sıvı hacminde serbest hareketine izin verecek düzeydedir. İki molekül arası çekim kuvveti, uzaklık arttıkça azalmaktadır ve uzaklık 10^{-8} m olduğunda kuvvet yok sayılır. Sıvıyı iç kısmında bulunan



Şekil 2

moleküller, ortalama her yönden eşit büyüklükte etkiyen kohezyon kuvvetinden etkilenirler ve molekül üzerine etkiyen net kuvvet sıfırdır.



Şekil-3

Sıvı yüzeyindeki moleküller ise, sadece aşağıya doğru bir çekim kuvvetinden etkilenirler. Bu kuvvetin aşağı yönlü bileşeni molekülün sıvıdan kopmasını engellerken, diğer yüzeye paralel bileşeni ise yüzeyde gerilme oluşmasını sağlar (Şekil-3). Komşu moleküllerin çekim artışı, sıvı içindeki molekülleri sıvı yüzeyindekilere göre daha düşük enerjide tutarlar. Bu nedenle moleküllerin çoğu sıvı içine doğru hareketlenir. Yüzey, azalan molekül sayısı nedeniyle küresel bir şekil alarak küçülür. Havadan düşen bir su damlasının küresel şekilde olması buna örnek verilebilir.

Sabit sıcaklıkta sıvının yüzeyinde birim uzunluğa dik doğrultuda etkiyen kuvvet veya sıvıların yüzeyini 1m^2 arttırmak için birim alan başına verilmesi gereken enerji **yüzey gerilimi** olarak tanımlanabilir. σ ile gösterilir ve birimi J/m^2 veya N/m 'dir.

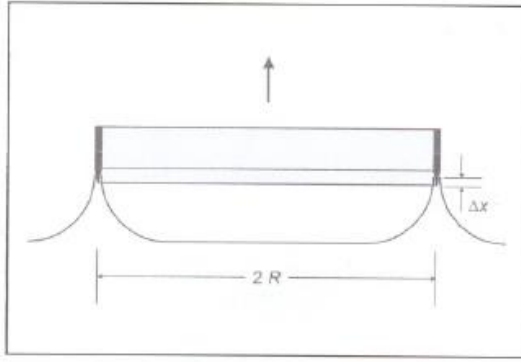
$$\sigma = \frac{\Delta E}{\Delta A} \quad (4)$$

olarak verilir. Burada ΔA ; yüzey alan değişimi, ΔE ; enerji ve σ , yüzey gerilim katsayısıdır.

Bir sıvının yüzey gerilimi yüzeyin her doğrultu ve noktasında aynıdır. Keskin sınırlı bir metal halkanın sıvı içerisine tamamen daldırılıp ıslatılması sağlanır ve yavaş yavaş sıvıdan çıkarılırsa ince bir sıvı tabakası yükselir (Şekil-4). Sıvı tabakasının iç ve dış yüzeylerinin değişimi:

$$\Delta A = 4\pi R \Delta x \quad (5)$$

Burada R metal halkanın yarıçapıdır.



Şekil-4

Metal halkanın Δx kadar kaldırılması için uygulanması gereken kuvvet;

$$F = \frac{\Delta E}{\Delta x} \quad (6)$$

bağıntısıyla verilir. Kuvvet kritik bir noktanın üstüne çıkarsa, sıvı tabaka kopar. Yüzey gerilimi (4) ve (6) formüllerine göre;

$$\sigma = \frac{F}{4\pi R} \quad (7)$$

bağıntısından bulunur.

Tablo-1 20°C de bazı sıvıların yüzey gerilim katsayıları.

Madde	Yüzey Gerilimi (mN/m)
Su	72.8
Etanol	22.3
İsopropanol	22
Civa	485

DENEY

Viskozite Katsayısının Bulunması:

1. Deneyde kullanılacak kürelerin çapları mikrometre yardımıyla ölçülür ve Tablo-2'ye işlenir. Hesaplanan ortalama yarıçap r_{ort} Tablo-4'e kaydedilir.
2. Yarıçapları ölçülen 10 küre birlikte çift tartı yöntemiyle tartılır. Toplam kütle ve bir kürenin ortalama kütlesi m_{ort} hesaplanarak, sonuçlar Tablo-4'e yazılır.
3. Yukarıda elde edilen r_{ort} ve m_{ort} değerleri $V_c = (4/3)\pi(r_{ort})^3$, $\rho_c = m_{ort}/V_c$ bağıntılarında yerine yazılarak kürenin hacmi ve yoğunluğu hesaplanır ve Tablo-4'e işlenir.
4. Şekil-2'de görülen düzenekteki ince boru üzerinde sıvının üst sınırından yaklaşık 15cm alttan başlamak kaydıyla, boru üzerindeki teller ile bir s mesafesi belirlenir. İki çizgi arasındaki uzaklık ölçülür ve Tablo-4'e işlenir.
5. Kürelerden biri Şekil-2'de görülen düzenekteki ince borudan ilk hızsız bırakılır. Kürenin cam boru üzerindeki iki işaret çizgisi arasını geçmesi için geçen zaman kronometre ile ölçülür. Bu işlem her bir küre için tekrarlanarak Tablo-3'e işlenir. Ortalama süre hesaplanarak sonuçlar Tablo-3'e işlenir.
6. Kürelerin limit hızı $\mathcal{G}_{lim} = s/t_{ort}$ bağıntısından hesaplanarak Tablo-4'e işlenir.
7. Sıvı sıcaklığı deneyin yapıldığı ortamdaki bir termometreden okunarak bu sıcaklık için pak değeri bu sıvıya ait sıcaklığa bağlı yoğunluk tablosundan alınır.
8. Bu değerlerden (3) bağıntısı yardımıyla, sıvının viskozite katsayısı bulunur ve Tablo-4'e işlenir.
9. Deneyden bulunan η değeriyle, kullanılan sıvının η' teorik viskozite katsayısı arasındaki bağıl hata

$$\left| \frac{\Delta\eta}{\eta'} \right| = \frac{|\eta' - \eta|}{\eta'} \quad (8)$$

(8) bağıntısından yararlanarak hesaplanır. Sonuç Tablo-4'e işlenir.

Tablo-2

	2r (mm)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
$2r_{ort} =$	
$r_{ort} =$	

Tablo-3

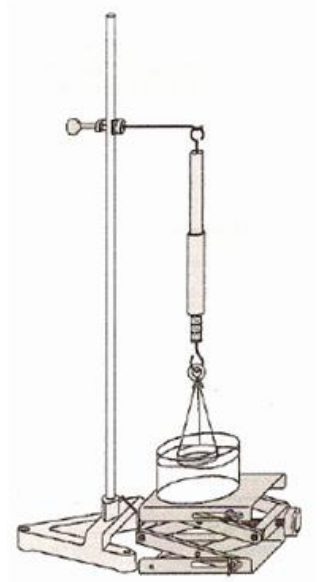
	t (s)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
$t_{ort} =$	

Tablo-4

$r_{ort} =$
$10m =$
$m_{ort} =$
$V_c =$
$\rho_c =$
$t_{ort} =$
$s =$
$v_{lim} =$
$T =$
$\rho_{ak} =$
$\eta =$
$\Delta\eta/\eta' =$

Yüzey Gerilimi Katsayısı Tayini:

1. R yarıçaplı metal halka dinamometreye takılarak çengele asılır.
2. Cam behere su doldurulur ve laboratuvar asansörü üzerine yerleştirilir.
3. Asansör önündeki vida yardımı ile metal halka tamamen su içine dalacak şekilde yükseltilir.
4. Dinamometre üzerindeki oynar başlık yardımı ile sıfır ayarı yapılır (Şekil-5).
5. Dinamometredeki kuvvet değeri gözlenerek, laboratuvar asansörü önündeki vida yardımı ile asansör yavaş yavaş alçaltılır. Bu esnada halka etrafında bir sıvı tabakası oluştuğu gözle görülmektedir (Şekil-4).
6. Bu işlem sıvı tabakanın metal halkadan ayrıldığı ana kadar devam ettirilir. Bu kritik kopma anındaki kuvvet (F_T) değeri dinamometreden okunur. Tablo-5'e işlenir.
7. (7) bağıntısı yardımıyla σ hesaplanır Tablo-5'e işlenir.

**Şekil 5**

Tablo-5

Sıvı	Su
F_T (mN)	
σ (N/m)	
R=0.03m	

SORULAR:

1. Sıvıların viskozite ve yüzey gerilim katsayıları sıcaklıkla nasıl değişir?
2. Viskozite katsayısının belirlenmesinde cam boru üzerinde belirlenen s yolu değişebilir mi? Açıklayınız.
3. Sıvı damlalarının küresel biçim almasını nasıl açıklarsınız?
4. Islatmayan sıvılar kılcal boruda yükselir mi alçalır mı, neden?

2. YOĞUNLUK ÖLÇÜLMESİ

AMAÇ: Archimedes prensibinden yararlanarak katı ve sıvıların yoğunluklarının bulunması.

GENEL BİLGİLER

Yoğunluk ve Özgül Ağırlık: Fizikte, bir cismin birim hacminin kütlesi, *yoğunluk* olarak isimlendirilmektedir. Bu takdirde yoğunluk, m ve V sırasıyla cismin kütlesi ve hacmi olmak üzere,

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

şeklinde ifade edilir. Bir cismin birim hacminin ağırlığı ise *özüml ağırlık* olarak adlandırılır ve

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (2)$$

şeklinde tanımlanır. SI birim sisteminde yoğunluğun birimi kg/m^3 , özgül ağırlığının ise N/m^3 tür.

1. Archimedes Prensibi: Durgun bir akışkan, yani sıvı, gaz vs. içine kısmen veya tamamen

daldırılmış sükunetteki bir cismin akışkanla temasta olan

tüm yüzeylerine akışkan tarafından bir basınç kuvveti

uygulanır (Şekil 1a). Bu kuvvet cismin bulunduğu

derinlikle orantılıdır. Akışkanın cisme uyguladığı tüm

kuvvetlerin sıvı yüzeyine doğru olan bileşkesine *kaldırma*

kuvveti denir. Akışkan içine batmış bir cismin yatay

doğrultuda öteleme ve kütle merkezi etrafında dönme

hareketi yapmadığı düşünülürse, cisme etki eden

kuvvetlerin yatay doğrultudaki bileşenlerinin toplamı ile kuvvetlerin kütle merkezine göre

momentlerinin toplamı sıfır olur. Bu durumda basınç kuvvetlerinin bileşkesi, yerin cisme

uyguladığı çekim kuvveti ile aynı doğrultuda ve yukarı yönelmiştir. Kuvvetin uygulama noktası

ise yer değiştiren sıvının (cismin sıvı içine batan kısmına eşit hacimdeki sıvının) kütle

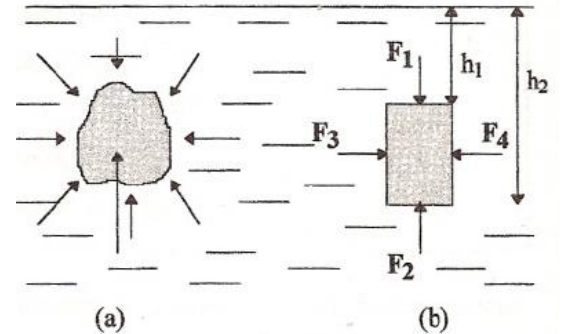
merkezdur. Bileşke kuvvetin büyüklüğü, cismin alt ve üst yüzüne etki eden basınç kuvvetlerinin

farkından (Şekil-1b),

$$F_k = \sum F = F_2 - F_1 = P_2A - P_1A \quad (3)$$

şeklinde elde edilir. Burada P_1 ve P_2 sırasıyla üst ve alt yüzeye etki eden basınçları, A ise üst

(veya alt) yüzeyi göstermektedir. h yüksekliğindeki akışkanın ağırlığı nedeniyle cisme yaptığı



Şekil 1

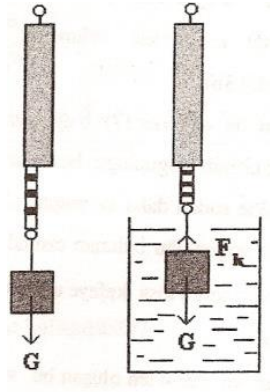
basınç $P = \rho_{ak}gh$ olduğundan (3) bağıntısı,

$$F_k = (h_2 - h_1) \rho_{ak} g A = \rho_{ak} g V \quad (4)$$

şeklini alır.

Bu bağıntı kaldırma kuvvetinin ifadesidir. Burada V yer değiştiren sıvının hacmi, ρ_{ak} akışkanın yoğunluğu, g yerçekimi ivmesidir. Archimedes prensibi genellikle, "***bir akışkan içine kısmen veya tamamen daldırılan bir cisme, yer değiştiren sıvının ağırlığına eşit şiddette bir kaldırma kuvveti aşağıdan yukarıya doğru etki eder ve cisim ağırlığından bu kuvvet kadar kaybeder***" şeklinde ifade edilir. Cismin yoğunluğu akışkanın yoğunluğundan küçük ise ($\rho_c < \rho_{ak}$) cismin bir kısmı akışkan dışında kalacak şekilde yüzer. Bu durumda cismin ağırlığı ile kaldırma kuvveti birbirini dengeler. Cismin yoğunluğu akışkanın yoğunluğuna eşit ise ($\rho_c = \rho_{ak}$) cisim sıvı içinde bırakıldığı yerde dengede kalır. Cismin yoğunluğu akışkanın yoğunluğundan büyükse ($\rho_c > \rho_{ak}$) cisim dibe batır.

2. Yoğunluk Tayini: Bir dinamometreye asılmış bir cisim, bir akışkan içine daldırıldığında havada ölçülen G ağırlığından F_k kaldırma kuvveti kadar kaybeder (Şekil-2).



Şekil-2

Cismin akışkan içindeki ağırlığı,

$$G' = G - F_k \quad (5)$$

veya cisme etki eden kaldırma kuvveti,

$$F_k = G - G' = \rho_{ak} g V$$

Şekil-2

olur. Akışkan olarak su kullanıldığında cismin hacmi, suyun yoğunluğu ρ_{su} olmak üzere,

$$V = \frac{G - G'}{g \rho_{su}} \quad (6)$$

dır. Bu değer, (1) bağıntısında yerine konularak cismin yoğunluğu,

$$\rho_c = \frac{G/g}{(G-G')/\rho_{su}g} = \frac{G}{(G-G')} \rho_{su} = \left(\frac{m}{m-m'} \right) \rho_{su} \quad (7)$$

olarak bulunur. Aynı cisim başka akışkan içine daldırıldığında, akışkan içindeki ağırlığı G'' olarak ölçülmüşse, akışkanın uyguladığı kaldırma kuvveti,

$$F_k = \rho_{ak} g V = G - G''$$

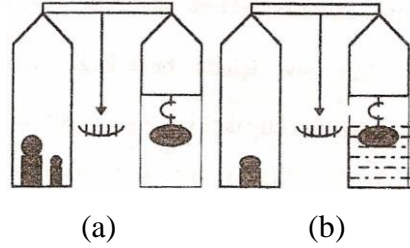
ve akışkanın yoğunluğu,

$$\rho_{ak} = \frac{G - G''}{gV} = \frac{G - G''}{G - G'} \rho_{su} = \left(\frac{m - m''}{m - m'} \right) \rho_{su} \quad (8)$$

şeklinde ifade edilir.

DENEY

1. Terazi denge konumuna getirilir.
2. Yoğunluğu belirlenecek cisim terazi kefesinin altındaki çengele asılarak tartılır ve cismin m kütlesi Tablo-1'e işlenir. (Şekil-3a).



Şekil-3

3. Cisim suya tamamen batacak ve kabın çeperlerine değmeyecek şekilde çengele asılı durumda suya daldırılır. Su içinde cismin dengelendiği m' kütlesi bulunarak Tablo-1'e işlenir (Şekil-3b).
4. Bulunan bu değerler (7) bağıntısında yerine konularak cismin yoğunluğu (ρ_c) hesaplanır, sonuç Tablo-1'e işlenir.
5. Genellikle sudan daha az yoğun olan mantarın suya daldırılarak hacminin belirlenmesi için daha önce yoğunluğu bulunan cisimden yararlanılır. Mantarla bu cisim ince bir telle birbirine bağlandıktan sonra kısa kefeye asılır ve sistemin kütlesi ($m_s = m_m + m$) bulunur, sonuç Tablo-1'e işlenir.
6. Mantar ve cisimden oluşan bu sistem su içine tamamen batacak şekilde daldırılarak, sistemi suda dengeleyen (m_s') değeri belirlenir, Tablo 1'e işlenir.
7. Bulunan m_s ve m_s' değerlerinden sistemin ve mantarın hacimleri

$$V_s = V_m + V = \frac{m_s - m_s'}{\rho_{su}} \quad (9)$$

$$V_m = \frac{m_s - m_s'}{\rho_{su}} - V \quad (10)$$

bağıntılarından; mantarın kütlesi ise

$$m_m = m_s - m \quad (11)$$

bağıntısından hesaplanır. m_m ve V_m değerleri (1) bağıntısında yerine konularak mantarın ρ_m

yoğunluğu elde edilir ve Tablo-1 'e işlenir.

8. Yoğunluğu belirlenen cisim, bu kez terazinin kısa kefesine asılarak tuzlu su içine tamamen batacak şekilde daldırılır ve cisim tuzlu suda dengeleyen m'' değeri bulunur. Sonuç Tablo-1 'e işlenir.

9. Bulunan m'' değeri ile daha önce bulunan m değeri (8) bağıntısında yerine konularak tuzlu suyun yoğunluğu, ρ_{ak} elde edilir ve Tablo-1 'e işlenir.

Tablo-1

$m =$
$m' =$
$\rho_c =$
$m_s =$
$m_s' =$
$V_s =$
$V_m =$
$m_m =$
$\rho_m =$
$m'' =$
$\rho_{ak} =$

SORULAR:

1. Kütle ve ağırlık arasındaki fark nedir?
2. Katı ve sıvıların yoğunluğu sıcaklıkla nasıl değişir?