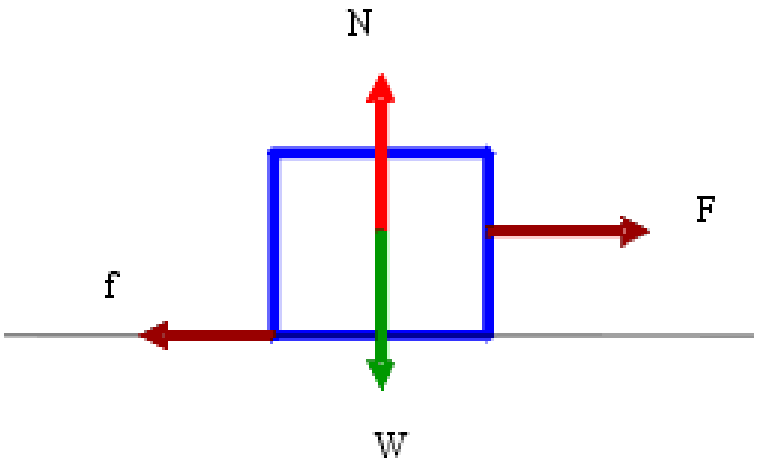
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ

T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
FİZİK BÖLÜMÜ

FİZİK I LABORATUVARI

DENEY KILAVUZU



MANİSA-2026

ÖĞRENCİNİN Adı Soyadı : Numarası :		
GİRİŞ	**Fiziksel Ölçümler ve Hatalar**	**1**
DENEY 1	**Bileşke ve Dengeleyici Kuvvet**	**6**
DENEY 2	**Bir Boyutta Hareket**	**13**
DENEY 3	**Eğik Atış Hareketi**	**17**
DENEY 4	**Newton'un İkinci Yasası**	**25**
DENEY 5	**Dinamik**	**29**
DENEY 6	**Sürtünme Kuvveti ve Sürtünme Katsayısının Bulunması**	**32**
DENEY 7	**Çarpışmalar ve Lineer Momentumun Korunumu**	**35**
DENEY 8	**Esnek Olmayan Çarpışma**	**42**

GİRİŞ: FİZİKSEL ÖLÇÜMLER VE HATALAR

Fizikte hiç bir ölçüm hatasız değildir. Deneylerde bulunan sayısal sonuçlar ölçüm hataları belirlenmedikçe hiçbir anlam ifade etmez. Yani her ölçülen sonuçta, bu sonucun güvenirliği (hata sınırları) belirtilmelidir. Laboratuar çalışmalarında asıl amaç, fiziksel sabitlerin ölçümü, verilerin geniş kapsamlı istatistik analizi ve ölçüm sonuçlarının hangi sınırlar içinde güvenilir olduğunu incelemektir. Bu amaçla hataların tespitine yönelik bazı pratik bilgiler aşağıda sunulmuştur.

İki tür hata çeşidi vardır: Sistematik ve istatistik hatalar.

Sistematik Hatalar

Bu tip hatalar, adından da anlaşılacağı gibi sistemin kendisinden gelen sabit hatalardır ve sonucu sürekli olarak aynı yönde etkilerler. Örneğin 1 kg'lık bir referans kütle gerçekte olduğundan daha ağırsa, bu referansa göre yapılan tüm ölçüm sonuçları aynı oranda düşük değerler verecektir. Bu tip hataların var olması durumunda hatalar tek yönlüdür; ya sürekli daha büyük ya da daha küçüktür. Sistematik hatalar;

1. Ölçüm sonucunda gerekli düzeltme yapılarak,
2. Ölçüm sistemindeki hata giderilerek,
3. Ölçüm yöntemi değiştirilerek giderilir.

İstatistik Hatalar

Fizikte ölçüm hassaslığının doğal olarak sınırlı oluşundan, ölçülen nesne ya da ölçüm sistemindeki kararsızlıklardan kaynaklanan ve önemi olmayan genellikle küçük çift yönlü hatalardır. Bu tip hataların varlığı aynı ölçümün çok sayıda tekrarıyla görülebilir. Ölçülen sonuçlar birbirinden farklı olup belirli bir değer çerçevesinde dağılım gösterir. Bu hatalar ölçüm sonuçlarından ayıklanamaz, ancak hata paylarının ve ölçülen büyüklüğün hangi sınırlar içinde güvenilir olduğunun yaklaşık olarak tespit edilmesi ihtimalidir. Bu tip hataların ölçüm sonuçlarına etkisi, aynı ölçümün çok sayıda yinelenmesi ve sonuçların istatistik değerlendirilmesiyle azaltılabilir.

Fiziksel bir büyüklük olan x, N kez ölçüldüğünde, ölçüm sonuçlan $x_1, x_2, \ldots, x_N$ olsun x 'in ortalama değeri $\bar{x}$,

$$\bar{x} = (x_1 + x_2 + \cdots + x_N)/N$$

olarak verilir. $\bar{x}$ değeri, x' in en yaklaşık değeridir. O halde bir büyüklük *N* kez ölçülmüşse, ortalama değerini ölçüm sonucu olarak alabiliriz. Bulunan ölçüm sonucu, ölçüm sayısı *N* ile orantılı olarak güvenilirliği artırıyor olmasına rağmen deneylerde pratik sayıda tekrarla yetinmek zorundayız. Hataların tespit edilmesinde uygulanan genel bir yöntem, ortalama sapma değerinin saptanmasıdır. Örneğin; x, ölçümünde sapma,

$$d_t = x_t - \bar{x}$$

ve ortalama sapma,

$$\bar{d} = (|d_1| + |d_2| + \cdots + |d_N|/N)$$

ile verilir.

Bu bağıntı, $\bar{x}$' dan ortalama sapmayı verir ve ortalama, istatistik hata olarak alınabilir. x için ölçüm sonucu, $x = \bar{x} \pm \bar{d}$ şeklindedir. Bazı hallerde hatalar hata yüzdesi olarak verilir. Bu durumda hata yüzdesi $(\bar{d}/\bar{x}).100\ \%$ olacağından,

$$\bar{x} = \bar{x} \pm \left(\frac{\bar{d}}{\bar{x}}\right).100\ \%$$

bulunur. *N* ölçümü için ortalama değerden sapma, ölçülen değerin hassaslığının saptanmasında bir ölçü olabilir. Ancak bu sapma miktarı gerçek hata değildir. Bu yalnızca istatistik hatanın sapmasında bir yaklaşım olarak düşünülmelidir. Laboratuar çalışmalarında öğrenci, ortalama değerden sapma olmasına rağmen $\bar{d}$' yi bir hata olarak alabilir. Bir seri ölçüm sonucunda $\bar{d}$ büyükse daha az hassaslıkla ölçülmüş olduğunu gösterir. Yani ortalama hata istatistik hatanın büyüklüğünün tespit edilmesinde yalnızca bir kıstastır. Ortalama değer ve sapmanın anlamlı olabilmesi *N* sayısının büyüklüğüyle orantılı olacağından, öğrenci laboratuar çalışmalarında *N* ölçüm sayısının tespitinde pratik bir yaklaşım yapılmalıdır.

İstatistik hataların tespitinde çok kullanılan bir başka yöntemde,

Standart sapma;

$$\sigma = \sqrt{(d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + \cdots + d_N^2)}/N(N-1)$$

olarak verilir. Öğrenci deney sonuçlarının analizinde $\bar{d}$ ya da σ' dan herhangi birini kullanabilir. σ' nın seçimi, tekrarlanan ölçüm sonuçlarının hangi sınırlar içinde

değişebileceğinin tespitinde bir yaklaşımdır. Dağılım Gauss eğrisi olması halinde sonuçları yüzde seksen beş ihtimalle, ortalama değer $\pm$ standart sapma aralığında olacaktır.

Ölçümlerin çok sayıda tekrar edildiği durumlarda, ölçüm hatalarının tespitinde en uygun yol, muhtemel en büyük hata değerinin alınmasıdır. Mesela, en küçük bölümü 1 mm olan bir metreyle ölçülen uzunluk için, muhtemel en büyük hata

$$\Delta x = 0.5mm$$

olacaktır. Bu durumda ölçülen bir x uzunluğunun gerçek değeri $x - \Delta x$ ve $x + \Delta x$ arasında değişecektir.

Ölçümler çoğunlukla doğrudan yapılamaz. Başka değerler ölçülür ve belirlenmesi istenen fiziki büyüklük hesaplanır. Bu durumda değişik büyüklüklerin ölçümünden gelecek hata paylarının sonuç üzerindeki bileşik etkisinin tespit edilmesi gerekir. Bu durumlarda hataların hesabında kullanılacak yöntemleri kısaca inceleyelim.

$r = f(x, y, z)$ bağıntısıyla verilen r fiziki büyüklüğün, $x, y, z,$ büyüklüklerinin ölçümüyle hesaplanacak olduğunu kabul edelim. x, y ve z' nin ölçümünde muhtemel en büyük hata sırasıyla $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ ise bu değerlerin r 'nin değişmesine etkisi,

$$\Delta r \leq |f(x + \Delta x, y, z) - f(x, y, z)| + |f(x, y + \Delta y, z) - f(x, y, z)| + |f(x, y, z + \Delta z) - f(x, y, z)|$$

şeklinde olacaktır. Pratikte olmayan bu ifade aslında kısmi türevler şeklinde yazılabilir. Yani,

$$\Delta r = |(\partial f/\partial x)\Delta x| + |(\partial f/\partial y)\Delta y| + |(\partial f/\partial z)\Delta z|$$

Yukarıdaki ifadenin uygulamasına ilişik bazı örnekler inceleyelim.

a. Toplama

$r = x + y$ şeklinde ise,

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

bulunur. Toplamdaki hata, hatalar toplamına eşittir.

b. Çıkarma

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

bulunur. Farktaki hata, hata toplamada olduğu gibi hatalar toplamına eşittir.

c. Çarpma

$r = xy$

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

ya da eşitliğin iki tarafını da $r = xy$ ile bölerek,

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

bulunur, r' deki hata oram, $\Delta r/r$, x ve y' deki hata oranları toplamına eşittir.

d. Bölme

$r = x/y$ ise

$\Delta r = |\Delta x/y| + |(x/y^2)\Delta y| = (\Delta x/y) + r(\Delta y/y)$

her iki tarafı $r = xy$' ye bölersek,

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

bulunur. Bölmede r' deki hata oranı, x ve y' deki hata oranları toplamına eşittir.

Güvenilir Sayılar

Deneylerde verilen sayısal sonuçlar ölçüm hassaslığıyla uyumlu olmak zorundadır. l mm bölmeli bir cetvelle en çok 1 mm hassaslığında ölçüm yapılabilir. Mesela, 32,2 cm gibi bir ölçüm sonucu, ancak 32,15 cm ile 32,25 cm arasında değişebilir. Yani, ölçüm hassaslığı l mm büyüklüğündedir. Aynı cetvelle yapılan bu ölçümün 32,222 cm olarak verilmesi yanlış olur. Çünkü 1 mm bölmeli bir cetvelle böylesine hassas bir ölçüm yapılmaz. Bazı durumlarda birden fazla büyüklük farklı hassaslıklarda ölçülerek deney sonuçlan hesaplanır.

Mesela, A ve B kenarları ölçülen bir dikdörtgenin alanının hesaplandığını düşünelim. A kenarı bir verniye ile 0,01 cm hassaslıkla ve B kenarı l mm bölmeli bir cetvelle ölçülerek,

A=5,34 ± 0,01 cm (3 güvenilir sayı)

B= 124,2 ± 0,1 cm (4 güvenilir sayı)

bulunmuş olsun. Bir dikdörtgenin alanı, A x B = (5,34 x 124,2)=663,228 cm2 olarak alınamaz. Bu sonuç yanlış olur, çünkü 3 güvenilir sayılı bir boyut ölçüm sonucu 6 güvenilir sayılı bir alanı verir. Genel bir kural; sonuçlar en az güvenilir sayılı ölçümden daha çok güvenilir sayıyla belirlenemez. Bu örnek için A kenarı en çok 3 güvenilir sayılıdır ve çarpım için, S = A x B =

663 alınmalıdır. A ve B deki ölçüm hatalarına bakıldığında A x B çarpımındaki hata kolayca belirlenir. A'nın ölçüm hatası yaklaşık olarak % 0,2 ve B'nin ölçüm hatası % 0,01'dir. A x B de olası en büyük hata % 0,2 olacaktır. $\Delta S=563.\%0,2\approx 1$ bulunur ve sonuç S = (663± 1) cm2 olarak alınır.

Deneylerde önemli olan, sonuçlardaki hata sınırlarının belirlenmesidir. Güvenilir sayılar yukarıda verildiği gibi, sonuçlarda kolayca belirlenebilir. % 1 (yüzde 1) hassaslıkla yapılan bir ölçüm için sonuçlar 2 ya da 3 güvenilir sayılı olmak zorundadır. Benzer şekilde % 0,001 (yüz binde1) hassaslıkla yapılan bir ölçüm 5 ya da 6 güvenilir sayılı olmalıdır.

10'un Kuvvetleri İçin Kısaltmalar

Kuvvet	Ön ek	Kısaltma	Kuvvet	Ön ek	Kısaltma
10^{-24}	yocto	y	10^{1}	deka	da
10^{-21}	zepto	z	10^{2}	hecto	h
10^{-18}	atto	a	10^{3}	kilo	k
10^{-15}	femto	f	10^{6}	mega	M
10^{-12}	pico	p	10^{9}	giga	G
10^{-9}	nano	n	10^{12}	tera	T
10^{-6}	micro	μ	10^{15}	peta	P
10^{-3}	milli	m	10^{18}	exa	E
10^{-2}	centi	c	10^{21}	zetto	Z
10^{-1}	deci	d	10^{24}	yotta	Y

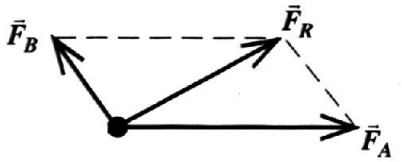
DENEY 1: BİLEŞKE VE DENGELEYİCİ KUVVET

Deneyin Amacı: Bileşke ve dengeleyici kuvvetlerin bulunması.

Teorik Bilgi: Fizikte kullanılan nicelikler skaler ve vektörel olmak üzere ikiye ayrılırlar. Sadece büyüklüğü olan niceliklere ***skaler***, hem büyüklüğü hem de yönü bulunan niceliklere de ***vektörel*** denir. Kuvvet vektörel bir büyüklüktür. Bir noktaya etki eden kuvvetlerin vektörel toplamına ***bileşke kuvvet*** denir. Bir noktaya etkiyen kuvvetleri ***dengeleyen kuvvet***, bileşke kuvvete eşit ve zıt yönlüdür. Bileşke kuvveti bulmak için kullanılan yöntemlerden bazıları aşağıda verilmiştir.

Paralelkenar Yöntemi:

Bir noktaya etki eden ve aralarında belli bir açı bulunan iki kuvvetin bileşkesini bulmak için kullanılır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Paralelkenar yöntemi

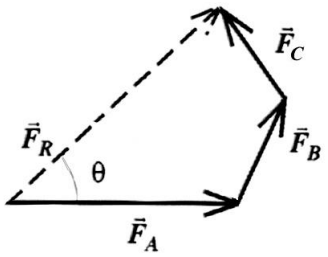
Bileşkenin büyüklüğünü hesaplamak için:

$$\boldsymbol{R^2 = R_x^2 + R_y^2 + 2R_xR_ycos\alpha} \qquad \textbf{(1.1)}$$

bağıntısı kullanılır.

Poligon Yöntemi:

Bir noktaya etki eden ve aralarında belli bir açı bulunan birden fazla kuvvetin bileşkesini bulmak için kullanılır (Şekil 1.2).

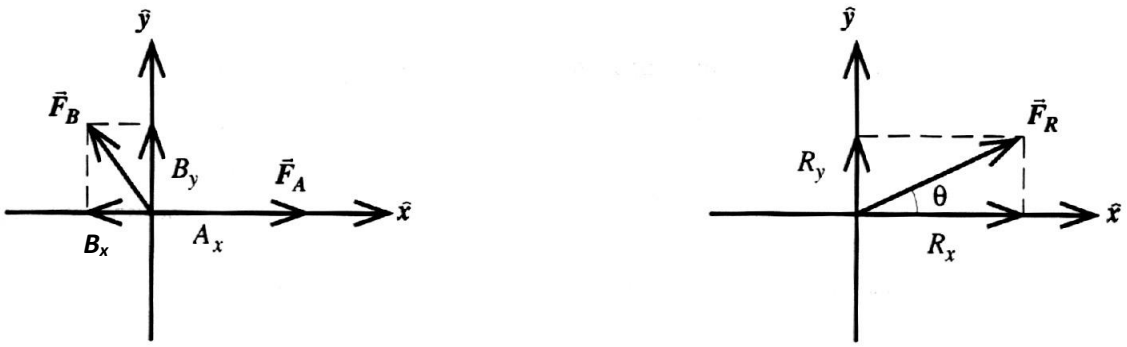


Şekil 1.2. Poligon yöntemi

Bileşenlerine Ayırarak Bileşke Kuvveti Bulma Yöntemi:

Kuvvetlerin her birinin x ve y eksenlerindeki izdüşümleri (bileşenleri) bulunur. Her bir eksende bu bileşenler ayrı ayrı toplanır (Şekil 1.3).

$$\boldsymbol{R_x = A_x + B_x} \qquad \boldsymbol{R_y = A_y + B_y} \qquad \boldsymbol{R^2 = R_x^2 + R_y^2} \qquad \textbf{(1.2)}$$

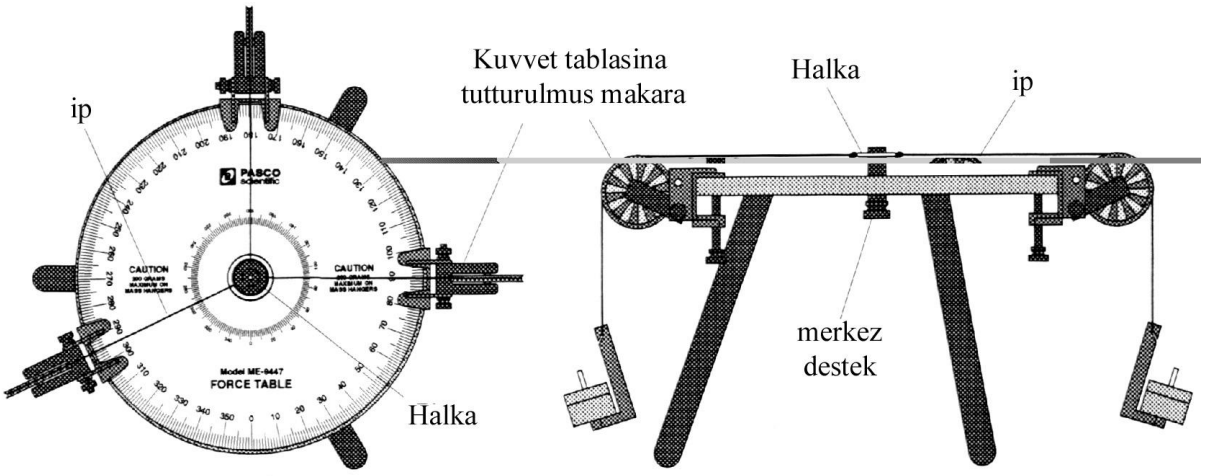


Şekil 1.3. Bileşenlerine ayırma yöntemi

Deneyin Yapılışı:

a. **Farklı büyüklükteki kuvvetler arasındaki açı 120° olduğunda dengeleyici ve bileşke kuvvetin bulunması:**

✓ Kuvvet masası üzerinde, 0° ve 120°'ye sırasıyla 50 ve 100 gramı yerleştirin.



Şekil 1.4. Deneysel halka metodu

- ✓ Üçüncü makarayı hareket ettirerek, deneysel halka metoduna (Şekil 1.4) göre ipleri bağladığımız halka, kuvvet masasındaki siyah halkanın tam üzerine geldiğinde dengeleyici ve bileşke kuvvetin hangi açıda ve hangi kütlelerle elde edildiğini aşağıdaki tabloya kaydediniz.

	Açı	**Kütle**
Dengeleyici kuvvet		
Bileşke Kuvvet		

- ✓ Grafik yöntemi: Size verilen açıölçerli tablonun üzerinde uygun ölçek kullanarak kuvvetleri çiziniz. Bileşke kuvveti ve dengeleyen kuvveti bulunuz.
- ✓ Bileşenlerine ayırma yöntemi ile teorik hesaplama: Açı değerlerini kullanıp her bir kuvvetin bileşenlerini bulunuz. Sistemin bileşkesini hesaplayınız.

b. Kuvvetler birbirine eşit, iki kuvvet arasındaki açılar sırasıyla 60°, 90° ve 120° olduğunda bileşke kuvvetin bulunması:

- ✓ Kuvvet masası üzerinde, 0° ve 60°'ye 20 gramı yerleştirin. Üçüncü makarayı hareket ettirerek ve gerekli kütleleri yerleştirerek sistemi dengeye getirin. Elde ettiğiniz açı değerini ve kütleyi aşağıdaki tabloya kaydediniz.

	Açı	**Kütle**
Dengeleyici kuvvet		
Bileşke Kuvvet		

- ✓ Grafik yöntemi: Size verilen açıölçerli tablonun üzerinde uygun ölçek kullanarak kuvvetleri çiziniz. Bileşke kuvveti ve dengeleyen kuvveti bulunuz.
- ✓ Kuvvet tablosu üzerinde, 0° ve 90°'ye 20 gramı yerleştirin. Üçüncü makarayı hareket ettirerek ve gerekli kütleleri yerleştirerek sistemi dengeye getirin. Elde ettiğiniz açı değerini ve kütleyi aşağıdaki tabloya kaydediniz.

	Açı	**Kütle**
Dengeleyici kuvvet		
Bileşke Kuvvet		

- ✓ Grafik yöntemi: Size verilen açıölçerli tablonun üzerinde uygun ölçek kullanarak kuvvetleri çiziniz. Bileşke kuvveti ve dengeleyen kuvveti bulunuz.
- ✓ Kuvvet masası üzerinde, 0° ve 120°'ye 20 gramı yerleştirin. Üçüncü makarayı hareket ettirerek ve gerekli kütleleri yerleştirerek sistemi dengeye getirin. Elde ettiğiniz açı

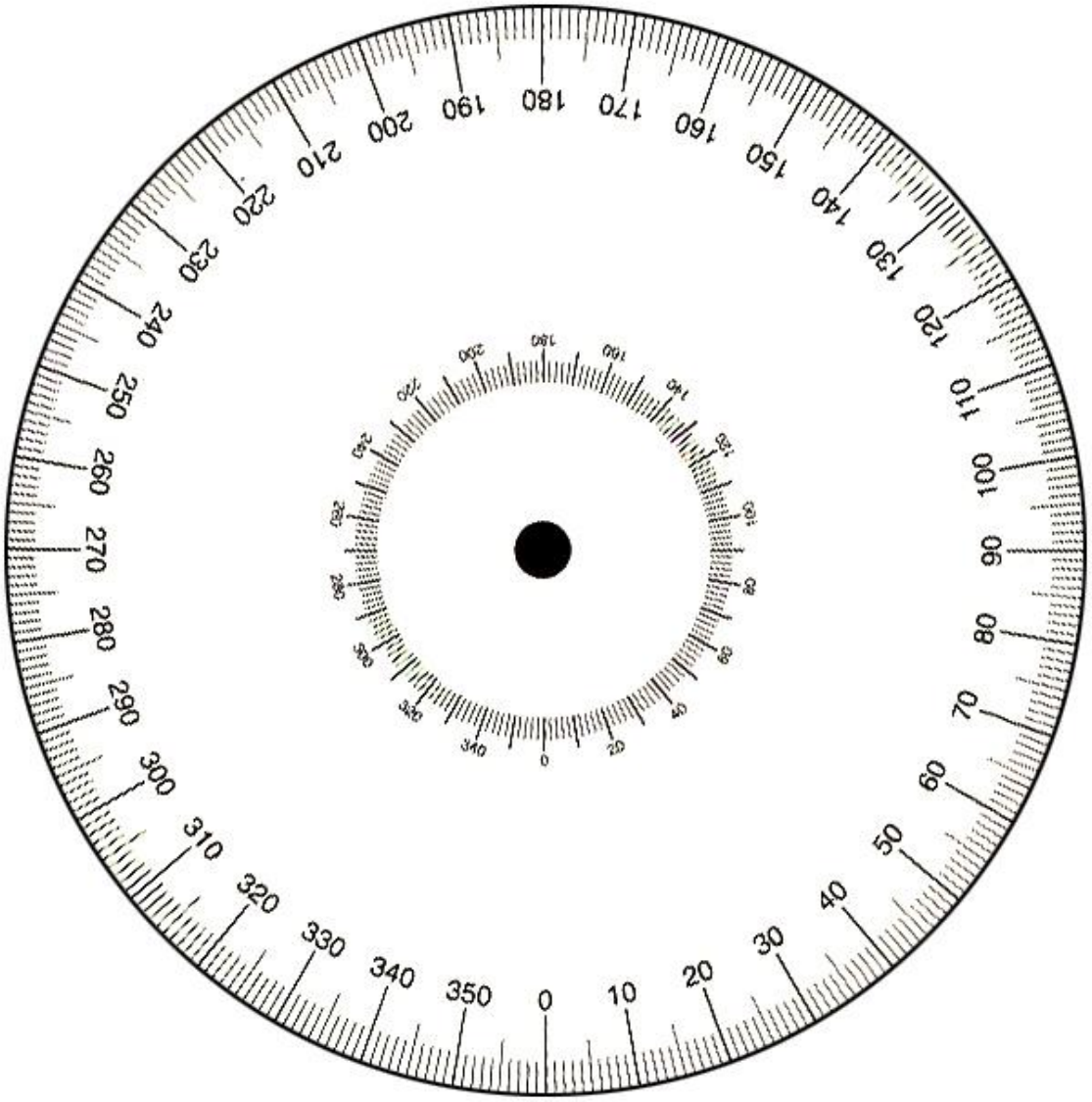
değerini ve kütleyi yazınız.

	Açı	Kütle
Dengeleyici kuvvet		
Bileşke Kuvvet		

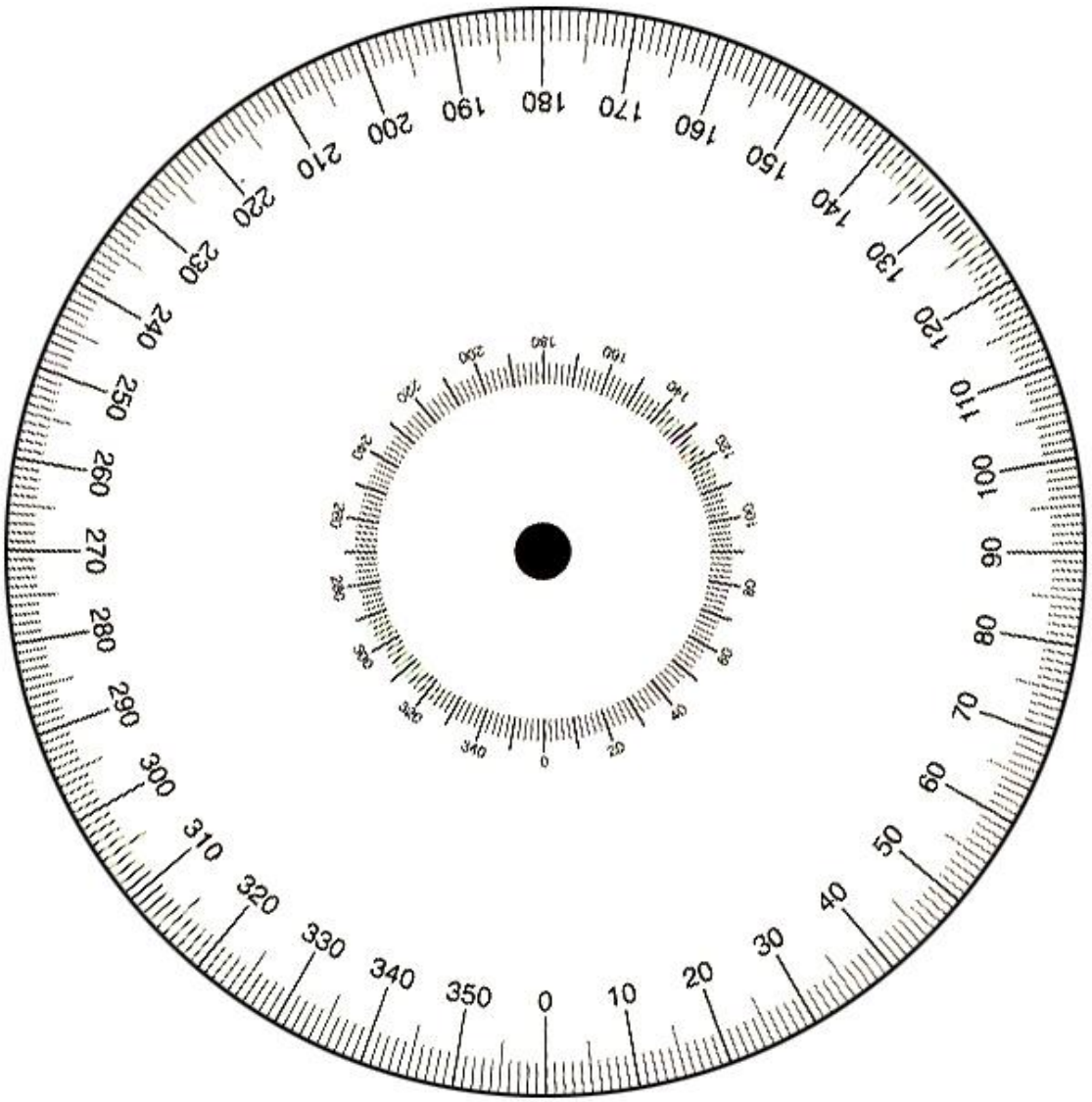
- ✓ Grafik yöntemi*:* Size verilen açıölçerli tablonun üzerinde uygun ölçek kullanarak kuvvetleri çiziniz. Bileşke kuvveti ve dengeleyen kuvveti bulunuz.

Hesaplamalar:

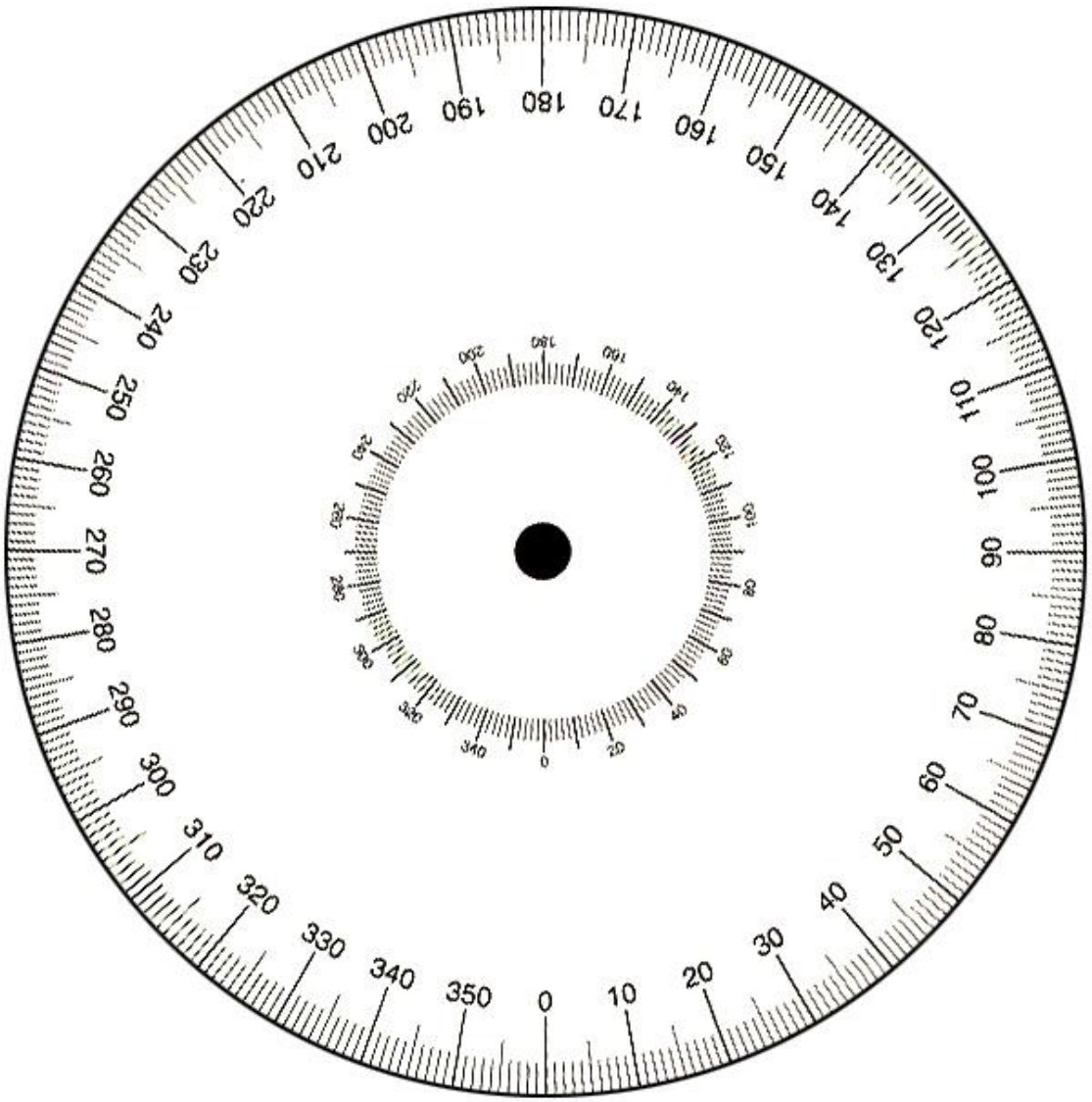
	Açı	Kütle
Dengeleyici kuvvet		
Bileşke Kuvvet		



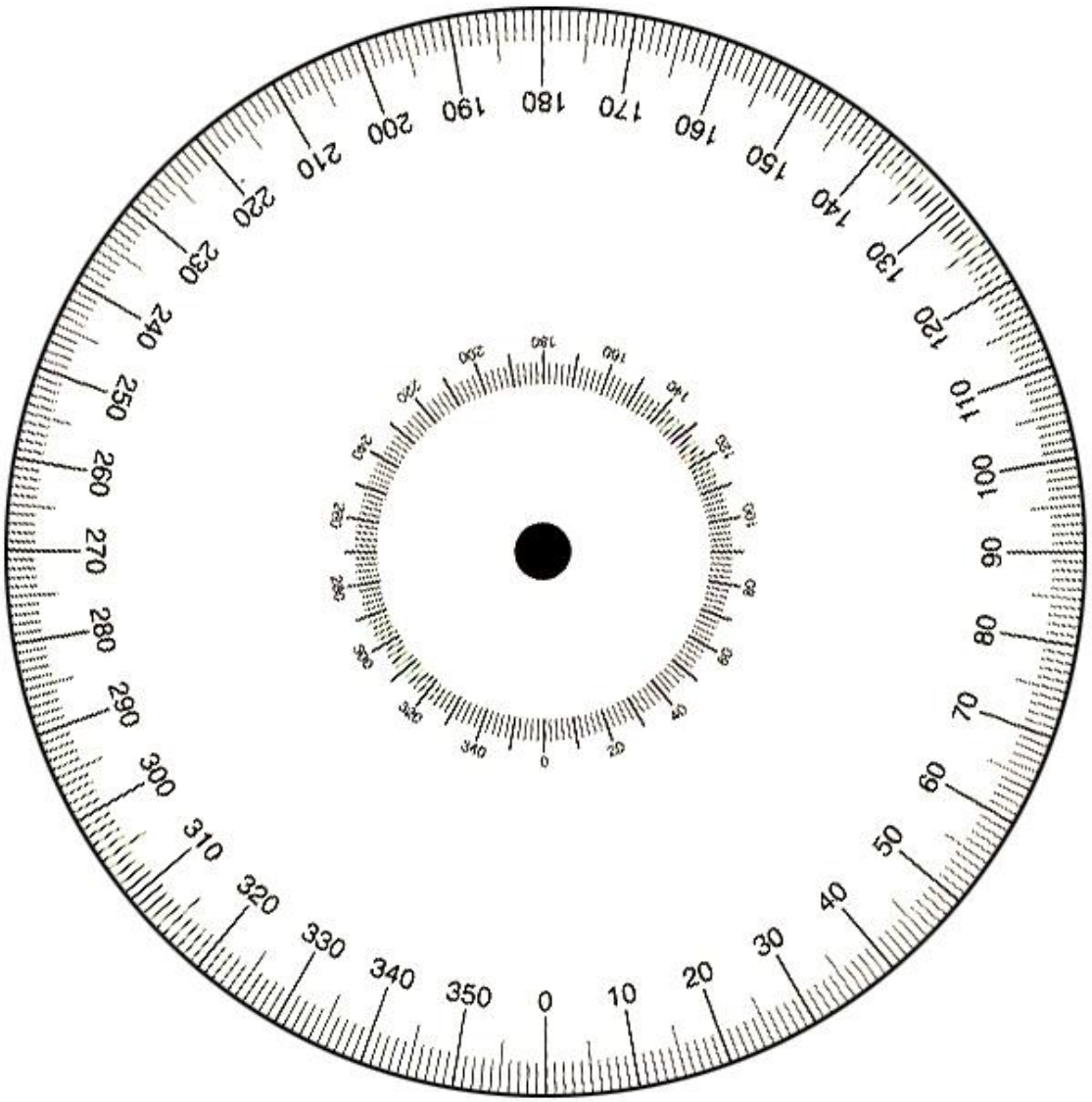
	Açı	Kütle
Dengeleyici kuvvet		
Bileşke Kuvvet		



	Açı	Kütle
Dengeleyici kuvvet		
Bileşke Kuvvet		



	Açı	Kütle
Dengeleyici kuvvet		
Bileşke Kuvvet		



Sorular:

1. Her iki deney sonucu için, iki yöntemle (teorik ve deneysel yöntemler) bulduğunuz sonuçları karşılaştırınız. Sonuçlar birbirinden farklı mı? Neden?
2. Deneyde yapılan hata kaynakları nelerdir?
3. Üç vektörün vektörel toplamlarının sıfır olabilmesi isteniyorsa bu üç vektör için ne tür uzunluk koşullamaları gereklidir? Açıklayınız.

DENEY 2: BİR BOYUTTA HAREKET

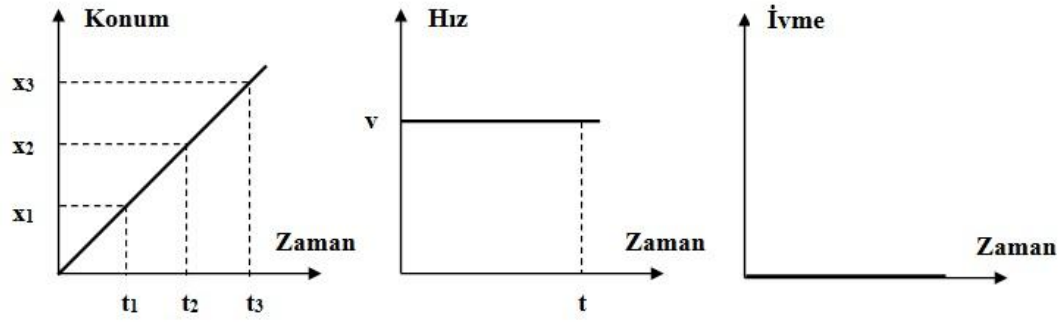
Deneyin Amacı: Bir boyutta düzgün doğrusal hareketin incelenmesi.

Teorik Bilgi: Bir doğru boyunca sabit hızla giden cismin hareketine ***düzgün doğrusal hareket*** denir. Hız sabit ise ivme sıfırdır. Yukarıdaki eşitliklerde $a = 0$ alırsak, düzgün doğrusal hareket formülü elde edilmiş olur:

$$\boldsymbol{x = x_0 + v_0\ t} \qquad \textbf{(2.1)}$$

Eğer, cismin son konumunu değil de aldığı yolu bilmek istersek bu formülü $s = x - x_0$ alınan s yol cinsinden şöyle yazabiliriz:

$$\boldsymbol{s = x - x_0 = vt} \qquad \textbf{(2.2)}$$



Şekil 2.1: Düzgün hızlanan harekette diskin konum, hız ve ivmesinin zamana göre değişim grafiği.

Deneyin Yapılışı:

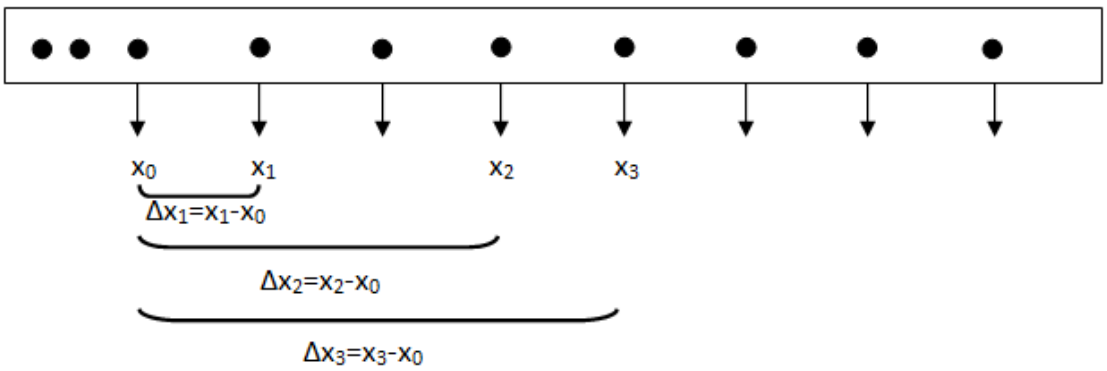
- Veri alırken masanın metal kısmına kesinlikle dokunmayın.
- Ölçüm alırken disklerden ikisi de masa üzerinde değilken kıvılcım zamanlayıcıyı asla çalıştırmayın.
- Kıvılcım ateşleyicisini çalıştırdığınız anda masa üzerinde olması gereken disklerden birisi elinizde bulunmamalıdır.
- Aksi durumda **zararlı olmayan ama canınızı acıtan bir elektrik şoka maruz kalabilirsiniz.**

✓ Hava masasını yatay konuma getirin.

✓ Hava masasının üzerine karbon kağıdını ve ölçüm alacağınız kağıdı yerleştirin.

✓ Disklerden birini ölçüm almak üzere masanın bir kenarına, diğerini ise ölçümü engellemeyecek ve plastik sabitleyiciler ile hareket etmeyecek şekilde cam yüzey üzerine yerleştirin.

- ✓ Kompresörü çalıştırın.
- ✓ Kıvılcım zamanlayıcısını açın ve uygun değere ayarlayın (40,60 veya 80 ms).
- ✓ Diski iterek harekete başlatın, aynı anda kıvılcım ateşleyicisine basın ve hareketin sonuna kadar basılı tutun.
- ✓ Ölçüm sonucunu görmek için kompresörü ve kıvılcım ateşleyicisini kapatın.
- ✓ Disklerin altından kağıdı çekerek kağıt üzerindeki noktaları gözlemleyin.
- ✓ Aldığınız ölçümlerden emin olduktan sonra laboratuvar görevlisine onaylatın.
- ✓ Noktalar başlangıç noktasında çok sık ise belirtilen zaman ve konum noktasını bir sonraki noktadan alın ve bu noktayı referans noktası kabul edin.
- ✓ Referans noktasından itibaren birkaç nokta seçerek noktalar arasındaki mesafeyi ölçün.



Hesaplamalar:

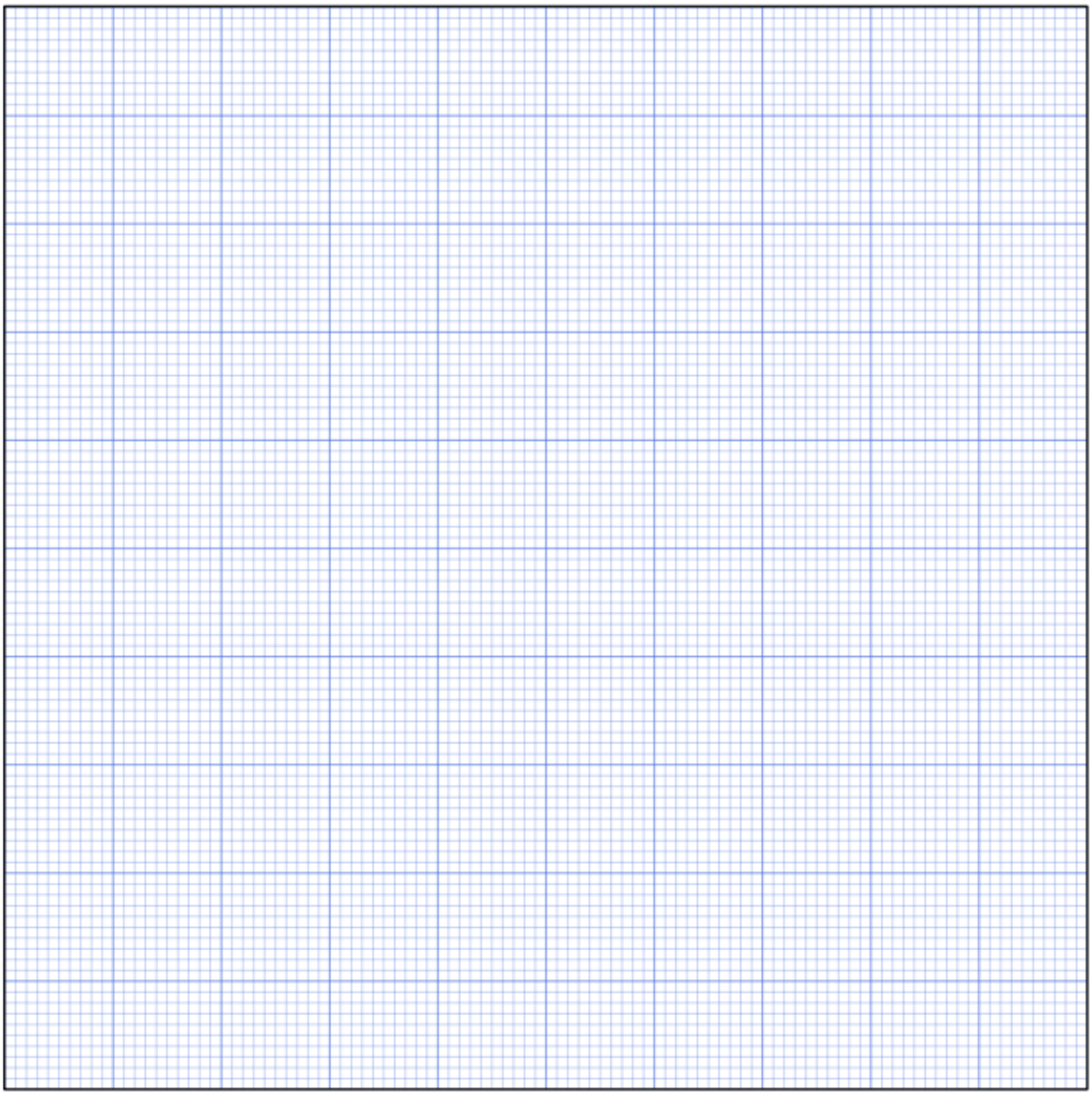
$\boldsymbol{x, t, \Delta x}$ *ve* $\boldsymbol{\Delta t}$ değerlerini aşağıdaki tabloya kaydediniz.

	$\boldsymbol{xi(cm)}$	$\boldsymbol{ti(s)}$	$\boldsymbol{\Delta xi(cm)}$	$\boldsymbol{\Delta ti(s)}$
1				
2				
3				
4				
5				
	$\boldsymbol{x_{ort}(cm) =}$	$\boldsymbol{t_{ort}(s) =}$		

Yukarıdaki tabloya göre $\boldsymbol{\Delta x}$–$\boldsymbol{\Delta t}$ grafiğini çiziniz. Eşitlik (2.1)' de $x_0 = 0$ değeri alınırsa, yer değiştirme ifadesi aşağıdaki şekli alır:

$$\boldsymbol{x = v_0\, t}$$

Bu eşitlikte $\boldsymbol{v_0}$ yalnız bırakılırsa $\boldsymbol{v_0 = x/t}$ ifadesini verir ki bu değer çizilen $\boldsymbol{\Delta x}$–$\boldsymbol{\Delta t}$ grafiğinin eğimidir. Bulunan bu hız değeri deneysel hız değeridir.



Bu harekete ait olan teorik hız değerini

$$\boldsymbol{x_{ort} = v_0\ t_{ort}}$$

ifadesini kullanarak elde edin.

Elde etmiş olduğunuz teorik ve deneysel ivme değerleri için hata hesabını;

$$\%\ \boldsymbol{Hata} = \frac{\boldsymbol{|Teorik - Deneysel|}}{\boldsymbol{Teorik}} \times \boldsymbol{100}$$

eşitliğini kullanarak yapın.

Sorular:

1. Bir parçacığın hızı sıfır değilse, ivmesinin sıfır olduğu bir durum mümkün müdür? Açıklayınız.
2. Bir parçacığın hızı sıfır ise, ivmesi sıfırdan farklı olur mu? Açıklayınız.
3. 72 km/saat hızla giden bir otomobil frene basılarak yavaşlatılıyor ve 5 s içinde hızı 36 km/s ye düşürülüyor:

a. Arabanın sabit ivmesi ne kadardır?

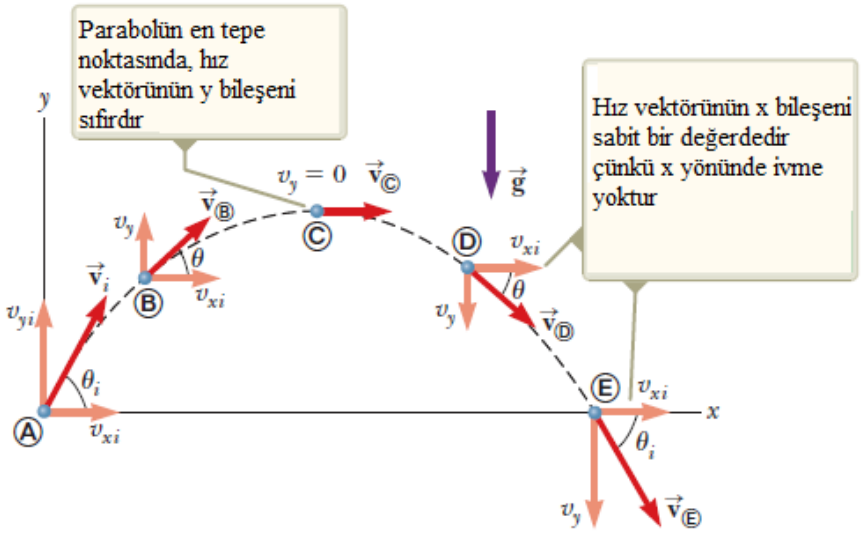
b. Bu süre içinde ne kadar yol alır?

c. Başlangıçtan itibaren, arabanın tamamen durması için geçen süre ne kadardır?

DENEY 3: EĞİK ATIŞ HAREKETİ

Deneyin Amacı: Eğik düzlemde eğik atış hareketinin iki boyutta deneysel olarak incelenmesi.

Teorik Bilgi: Cisim, bir eğri yol boyunca hareket eder ve şu iki kabul yapılırsa, bu hareket biçiminin analizini yapmak çok basitleşir. (1) g yerçekimi ivmesi hareket süresince sabit ve aşağıya doğru yöneliktir. (2) hava direncinin etkisi ihmal edilmektedir. Bu varsayımlarla, eğik olarak atılan bir cismin yolu diyeceğimiz eğrinin daima Şekil 3.1' de görüldüğü gibi bir parabol olduğunu bulacağız. Bu varsayımları bu deneyde kullanacağız.



Şekil 3.1. Orijini $\vec{v}_i$ hızıyla terkeden, eğik atılan bir cismin parabolik yolu. $\vec{v}$ hız vektörü zamanla hem büyüklük hem de doğrultuca değişmektedir. Bu değişme, negatif y doğrultusundaki ivme sonucudur.

Eğik atış yapan bir cismin konum vektörünün ifadesi $\vec{a} = \vec{g}$ alınarak şu şekilde yazılabilir;

$$\vec{r}_s = \vec{r}_i + \vec{v}_i t + \frac{1}{2}\vec{g}t^2 \qquad (3.1)$$

Böylece, ilk hızın x ve y bileşenleri;

$$v_{xi} = v_i cos\theta_i \qquad v_{yi} = v_i sin\theta_i \qquad (3.2)$$

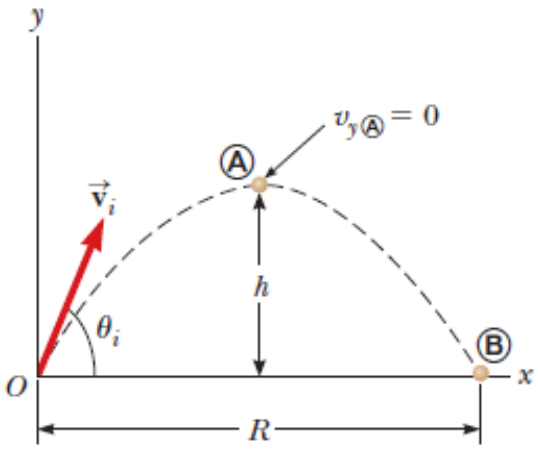
Hareket, ivme olmadığında yer değiştirmeyi veren $\vec{v}_i t$ terimiyle, yerçekimi ivmesinden kaynaklanan $\frac{1}{2}\vec{g}t^2$ teriminin toplamı şeklinde ifade edilir. Diğer bir ifadeyle, yerçekimi ivmesi olmasaydı, parçacık $\vec{v}_i$ yönünde doğru bir yol boyunca hareket etmeye devam edecekti. Yerçekimi ivmesinin olması halinde parçacığın y ekseninde aldığı yol,

serbest düşen cismin aynı zaman zarfında alacağı $\frac{1}{2}\vec{g}t^2$ yoluna eşit olacaktır.

Sabit ivmeli iki-boyutta hareketin, x ve y-doğrultusunda bağımsız iki hareketin kombinasyonu olduğu söylenebilir: (1) yatay doğrultuda sabit hızla hareket (2) düşey doğrultuda serbest düşme hareketi. Eğik olarak atılan bir cismin yolunun parabol olduğunu göstermek için, y doğrultusu düşey ve yukarı yön pozitif olarak seçildiğinde, hava direnci ihmal edilirse, $\boldsymbol{a_y = -g}$ olur. Uçuş zamanı t hariç, eğik atış hareketindeki düşey ve yatay bileşenler birbirinden bağımsızdırlar.

Atışta Cismin Menzili ve Maksimum Yüksekliği

Cismin Şekil 3.2' deki gibi, pozitif $\vec{v}_{yi}$ bileşeniyle $t = 0$' da orijinden atıldığını varsayalım.



Şekil 3.2: Bir $\vec{v}_i$ ilk hızıyla t_i=0' da orijinden, eğik atılan bir cisim. Cismin maksimum yüksekliği h ve menzili R'dir. Cismin yolunun tepe noktasında, parçacığın koordinatları (R/2, h)' dır.

İncelenmesi gereken ilginç iki özellik vardır: $(R/2, h)$ koordinatlarına sahip A tepe ve $(R, 0)$ koordinatlarına sahip B noktaları. R uzaklığına eğik atılan cismin ***menzili***, h uzunluğuna da ***maksimum yüksekliği*** denir. h ve R' yi $\vec{v}_i$, $\boldsymbol{\theta_i}$ ve $\boldsymbol{g}$ cinsinden bulmak istersek,

$$\boldsymbol{v_{yf} = v_{yi} + a_y t}$$

$$\boldsymbol{0 = v_i sin\theta_i - g t_A}$$

$$\boldsymbol{t_A = \frac{v_i sin\theta_i}{g}} \qquad \textbf{(3.3)}$$

$\boldsymbol{t_A}$'nın bu ifadesi 2.1 eşitliğinde yerine yazılırsa h, ilk hız vektörünün büyüklüğü ve

doğrultusu cinsinden bulunur.

$$\boldsymbol{h = (v_i sin\theta_i)\frac{v_i sin\theta_i}{g} - \frac{1}{2}g\left(\frac{v_i sin\theta_i}{g}\right)^2}$$

$$\boldsymbol{h = \frac{v_i^2 sin^2\theta_i}{2g}} \qquad \textbf{(3.4)}$$

R menzili cismin tepe noktasına ulaşmak için geçen zamanın iki katında yani $t_B = 2t_A$ zamanı içinde alınan yatay uzaklıktır. Eşitlik 2.1' de $v_{xi} = v_{xB} = v_i cos\theta_i$ olduğuna dikkat ederek ve $t = 2t_A$ da $x_B = R$ alarak,

$$\boldsymbol{R = v_{xi}t_B = (v_i cos\theta_i)2t_A}$$

$$\boldsymbol{R = (v_i cos\theta_i)\frac{2v_i sin\theta_i}{g} = \frac{2v_i^2 sin\theta_i cos\theta_i}{g}}$$

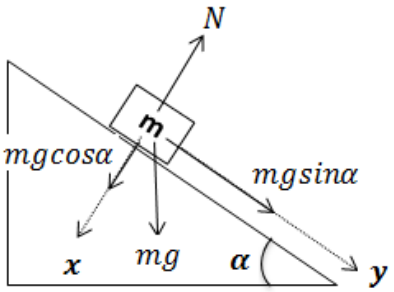
buluruz. $sin2\theta = 2sin\theta cos\theta$ özdeşliğini kullanarak, R daha sade biçimde,

$$\boldsymbol{R = \frac{v_i^2 sin2\theta_i}{g}} \qquad \textbf{(3.5)}$$

yazılabilir.

Eğik Düzlem

Sürtünmesiz eğim düzlemde bir blok üzerine uygulanan dış kuvvetler Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Sürtünmesiz eğik bir düzlemde bir blok üzerine uygulanan dış kuvvetler

y yönünde hareket eden bloğa etki eden net kuvvet, Newton yasasına göre aşağıdaki gibidir.

$$\boldsymbol{\vec{F}_y = \sum m\vec{a}_y = mgsin\alpha\,\hat{y}}$$

Bu nedenle y yönünde hareket eden bloğun net ivmesi,

$$a_y = gsin\alpha \tag{3.6}$$

ile verilir.

Atış hareketi eğik bir düzlem üzerinde yapıldığında (***eğik atış hareketi***), eşitlik 3.1'den eşitlik 3.5'e kadar olan formüllerde verilen g yer çekimi ivmesi yerine $gsin\alpha$ alınmalıdır. Yani

$$t_A = \frac{v_i sin\theta_i}{gsin\alpha} \tag{3.7}$$

$$h = \frac{v_i^2 sin^2\theta_i}{2gsin\alpha} \tag{3.8}$$

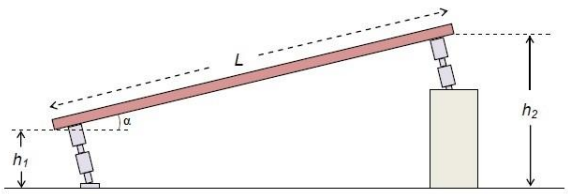
$$R = \frac{v_i^2 sin2\theta_i}{gsin\alpha} \tag{3.9}$$

şeklini alır.

Deneyin Yapılışı:

- Veri alırken masanın metal kısmına kesinlikle dokunmayın.
- Ölçüm alırken disklerden ikisi de masa üzerinde değilken kıvılcım zamanlayıcıyı asla çalıştırmayın.
- Kıvılcım ateşleyicisini çalıştırdığınız anda masa üzerinde olması gereken disklerden birisi elinizde bulunmamalıdır.
- Aksi durumda **<u>zararlı olmayan ama canınızı acıtan bir elektrik şoka maruz kalabilirsiniz.</u>**

✓ Hava masasını Şekil 3.4'te gösterildiği şekilde tahta blok yardımıyla eğik hale getirin.



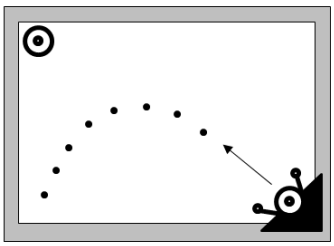
Şekil 3.4: Hava masasının eğik düzlem şeklinde gösterimi

✓ Bu konumda hava masasının h_1, h_2 ve L uzunluklarını ölçün. Sonuçları değerler tablosuna yazın.

✓ Hava masasına karbon kağıdını ve üzerine ölçüm alacağınız kağıdı yerleştirin.

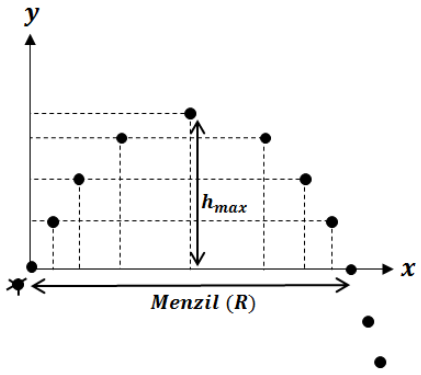
✓ Disk fırlatıcısını masanın sağ alt köşesine herhangi bir açı verecek şekilde sabitleyin. Fırlatıcının lastiğini ikinci konuma alın.

- ✓ Disklerden birini ölçüm almak üzere disk fırlatıcısına, diğerini ise ölçümü engellemeyecek ve plastik sabitleyiciler ile hareket etmeyecek şekilde masanın üst kenarına yerleştirin (Şekil 3.5).



Şekil 3.5: Eğik atış yöntemi.

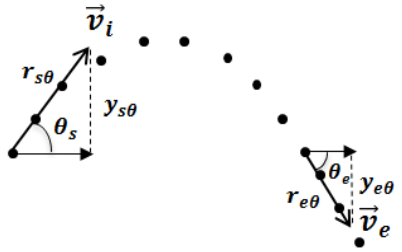
- ✓ Kompresörü çalıştırın ve atış hareketinde en iyi şekli elde edinceye kadar denemeler yapın.
- ✓ Kıvılcım zamanlayıcısını açın ve uygun değere ayarlayın (40,60 veya 80 ms).
- ✓ Disk fırlatıcısını kullanarak harekete başladığınız anda kıvılcım ateşleyicisine basın ve hareketin sonuna kadar basılı tutun.
- ✓ Ölçüm sonucunu görmek için kompresörü ve kıvılcım ateşleyicisini kapatın.
- ✓ Aldığınız ölçümlerden emin olduktan sonra laboratuvar görevlisine onaylatın.
- ✓ Ölçüm kağıdında elde ettiğiniz izleri incelemek için Şekil 3.6' da gösterildiği gibi x ve y koordinatlarının izdüşümlerini çizin. Hareketin en başındaki nokta problemli olabileceğinden, x ve y koordinatının köşesini hareketin başladığı noktadan sonraki noktanın üzerine yerleştirin. Hareketin h_{max} ve R değerlerini ölçerek tabloya yazın.



Şekil 3.6: İlk ve son hızların açılarının ölçülmesi.

- ✓ Noktaları sayarak t ve t_A uçuş süresini belirleyin.
- ✓ Harekete başlangıç (θ_s) ve yere çarpma (θ_e) sırasındaki açıları belirlemek için Şekil 3.7' de görülen ($r_{s\theta}, y_{s\theta}, r_{e\theta}, y_{e\theta}$) uzunluklarını ölçün. Uzunlukları ölçebilmek için

düz çizgi halini bozmayacak kadar nokta kullanın. Hassasiyeti arttırmak için $r_{s\theta}, r_{e\theta}$ boylarını uzatın.



Şekil 3.7: Eğik atış açılarının ölçülmesi.

Hesaplamalar:

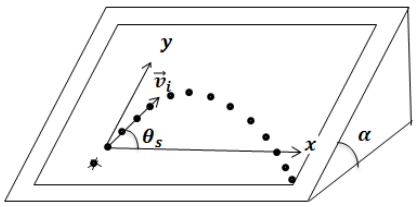
Harekete başlangıç (θ_s) ve yere çarpma (θ_e) açılarını aşağıdaki eşitlik yardımı ile bulun.

$$\boldsymbol{sin\theta = \frac{y_\theta}{r_\theta}} \qquad \textbf{(3.10)}$$

Hava masasının eğim açısını aşağıdaki eşitlik yardımı ile bulun.

$$\boldsymbol{sin\alpha = \frac{h_2 - h_1}{L}} \qquad \textbf{(3.11)}$$

Atış hareketini, eğik düzlem haline getirdiğimiz hava masasında gerçekleştirdiğimiz için, eğik atış hareketinde kullanılan formüllerde yerçekimi ivmesi "$\boldsymbol{g}$" yerine "$\boldsymbol{gsin\alpha}$" ifadesi kullanılır.



Şekil 3.7: Ölçüm kağıdındaki temsili eğik atış hareketi.

Diskin x ekseni boyunca eşit zaman aralıklarında kat ettiği yol uzunluklarının ortalamasını alın.

Disk yatayda düzgün doğrusal hareket yaptığı için, aşağıda gösterildiği gibi diskin ilk hızının x bileşeni v_{xi}'i hesaplayın.

$$\boldsymbol{v_{xi} = \frac{\bar{x}}{t}} \qquad \textbf{(3.12)}$$

Burada t; diskin hareketi boyunca ölçüm kağıdına bıraktığı izlerin sayısı N ile ateşleyicinin periyodunun çarpımıdır. Bu bize deneysel olarak hesaplanan uçuş süresini

vermektedir. Diskin ilk hızını $\boldsymbol{v_{si} = \frac{v_{xi}}{sin\theta_s} = \frac{v_{xi} r_{s\theta}}{y_{s\theta}}}$ denklemini kullanarak deneysel olarak hesaplayın. Aynı formül ile son hızı v_{ei} 'da hesaplayın.

$\boldsymbol{\theta_s}$ ve $\boldsymbol{\theta_e}$ değerleri birbirinden farklı olabilir mi? Sonuçları ve nedenlerini yorumlayınız.

Diskin maksimum yüksekliğe çıkması için geçen sürenin deneysel hesabı, yukarıda sayılan N değerini kullanarak:

$$\boldsymbol{t_A = \frac{N}{2} T} \qquad \textbf{(3.13)}$$

Maksimum yüksekliğe çıkış süresinin teorik değerini Denklem (3.7) 'i kullanarak hesaplayın.

Diskin menzile ulaşma süresini $\mathbf{t = 2t_A}$ formülünden deneysel olarak hesaplayın.

Diskin, ölçüm kağıdında bıraktığı izlerin yatay izdüşümlerini cetvel yardımıyla ölçerek menzilin deneysel değeri R_{Deney} 'i elde edin. Menzilin teorik değerini Denklem (3.9)'i kullanarak hesaplayın.

Diskin çıkabildiği maksimum yüksekliğin deneysel değerini, diskin ölçüm kağıdında bıraktığı izlerin düşey izdüşümlerini cetvelle ölçerek bulun. Maksimum yüksekliğin teorik değerini Denklem (3.8)'i kullanarak hesaplayın.

Elde etmiş olduğunuz teorik ve deneysel değerleri aşağıdaki tabloya yazınız ve her bir fiziksel nicelik için hata hesabını;

$$\% \, \boldsymbol{Hata = \frac{(Teorik - Deneysel)}{Teorik} \times 100} \qquad \textbf{(3.14)}$$

eşitliğini kullanarak yapın.

Değerler Tablosu:

	Ölçülen Değer
Zaman (t) (s)	
$\boldsymbol{h_1}$**(cm)**	**11.5 cm**
$\boldsymbol{h_2}$ **(cm)**	**15 cm**
$\boldsymbol{L}$ **(cm)**	**63.5 cm**
$\boldsymbol{x_\theta}$**(cm)**	
$\boldsymbol{y_\theta}$ **(cm)**	
Max. Yüksekliğe çıkış süresi ($\boldsymbol{t_A}$**) (s)**	
Uçuş süresi t(s)	
Menzil (R) (cm)	
Maksimum yükseklik ($\mathbf{h_{max}}$**) (cm)**	

Sonuç Tablosu:

	Deneysel	***Teorik***	***% Hata***
θ (^{0})			
sin α			
v_i (cm/s)			
Max. Yüksekliğe çıkış süresi (t_A) (s)			
Uçuş süresi t(s)			
Menzil (R) (cm)			
Maksimum yükseklik (h_{max}) (cm)			

Sorular:

1. Eğik olarak atılan bir cisim, parabolik yolu boyunca giderken eğer varsa, şu niceliklerin hangisi sabit kalır?

a. Hızının büyüklüğü,

b. İvme,

c. Hızının yatay bileşeni,

d. Hızının düşey bileşeni.

2. Bir futbolcunun vurduğu top 30 m/s ilk hızla ve yatayla 37º açı altında yükseliyor.

a. Topun hareket denklemlerini yazınız.

b. t=1s anında topun konum ve hız bileşenleri ne olur?

c. Maksimum yüksekliğe kaç saniyede çıkar?

d. Topun maksimum yüksekliği ne kadardır?

e. Top ne kadar uzağa düşer?

3. Bir top 33m yükseklikte bir binanın çatısından, yatayla 53º açı altında 5 m/s hızla atılıyor. Yerde, binanın kapısında beklemekte olan bir çocuk topla aynı anda ve aynı yönde, sabit a ivmesi ile koşmaya başlıyor.

a. Bir koordinat sistemi seçip topun ve çocuğun hareket denklemlerini yazınız.

b. Topun yere düşünceye kadar uçuş süresi ne olur?

c. Top binadan ne kadar uzağa düşer?

d. Çocuğun ivmesi ne olmalıdır ki top yere düşmeden onu tutabilsin?

DENEY 4: NEWTON'UN İKİNCİ YASASI

Deneyin Amacı: Kütle, ivme ve kuvvet arasındaki ilişkinin düzgün ivmeli hareket için, hava rayı sistemi yardımıyla belirlenmesi.

Teorik Bilgi: Maddenin durgun halini onun doğal hali olarak düşünen diğer bilim adamlarına karşı, tarihte ilk kez Galileo, sürtünmesiz yüzeylerde hareket eden cisimlerle ilgili bir deney gerçekleştirerek, "hareket halindeki cismin durması, onun doğal hali olmadığını, hiç durmadan yola devam etmesi gerektiğini" söylemiştir. Ayrıca, cisimlerin hareket halindeyken durma veya hızlanma hareketine (eylemsizlik) doğal olarak sahip olduğu sonucuna varmıştır. Bu yaklaşım daha sonra Newton tarafından formülleştirilerek, kendi adıyla anılan Newton'un birinci hareket yasası olarak tanınmış ve aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

"Bir cisme bir dış kuvvet (bileşke kuvvet) etki etmedikçe, cisim durgun ise durgun kalacak, hareketli ise sabit hızla hareketine doğrusal olarak devam edecektir."

Daha basit bir ifade ile bir cisme etki eden net kuvvet sıfır ise ivmesi de sıfırdır.

$$\sum \vec{F} = 0 \;\Rightarrow\; \vec{a} = 0 \qquad \textbf{(4.1)}$$

Bir cismin ivmesi, onun kütlesine ve üzerine etki eden kuvvete bağlıdır. Etki eden kuvvet arttıkça ivme de artar. Kütle arttıkça ivme azalır. Buna da Newton'un ikinci yasası denir.

"Bir cismin ivmesi, ona etki eden net kuvvetle doğru orantılı, kütlesi ile ters orantılıdır."

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \qquad \textbf{(4.2)}$$

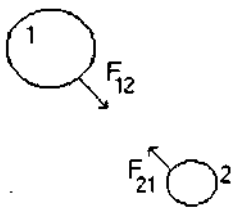
Dikkat edilirse birinci yasa, ikinci yasanın özel bir halidir. Cismin üzerindeki net kuvvet sıfır ise ivme de sıfırdır. Bu durum denge hali olarak adlandırılır ve cismin hareketsiz kalması ya da sabit hızla hareket etmesi sonucunu doğurur. Parçacık dinamiğinde, net kuvvetin sıfır olduğu sistemlere statik sistemler adı verilir. Eşitlik (4.2), kuvvetin vektörel bir nicelik olduğunu ifade etmektedir. Bu vektör denklemi, m kütlesi için toplam kuvvetin ($\vec{F}_x$, $\vec{F}_y$, $\vec{F}_z$), x, y, z bileşenleri ve ivmenin ($\vec{a}_x$, $\vec{a}_y$, $\vec{a}_z$), x, y, z bileşenleri cinsinden üç vektörel denklem olarak şöyle yazılır;

$$\sum \vec{F}_x = m\vec{a}_x,\ \sum \vec{F}_y = m\vec{a}_y,\ \sum \vec{F}_z = m\vec{a}_z \qquad \textbf{(4.3)}$$

Eşitlik (4.3), Newton'un ikinci hareket kanunun evrensel tanımıdır.

SI birim sisteminde kuvvet birimi, 'Newton' dur. Newton birimi, kısaca N sembolü ile gösterilir. $1N$, $1kg$ kütleli bir cismi $1m/s^2$' lik ivme ile hareket ettirebilen kuvvet olarak tanımlanır. Buna göre, $1N \equiv 1\ kg\ m/s^2$' dir.

Newton'un üçüncü yasası; "iki cisim etkileşiyorsa, 2. cismin l. cisme uyguladığı kuvvet, l. cismin 2. cisme uyguladığı kuvvete eşit ve zıt yönlüdür."

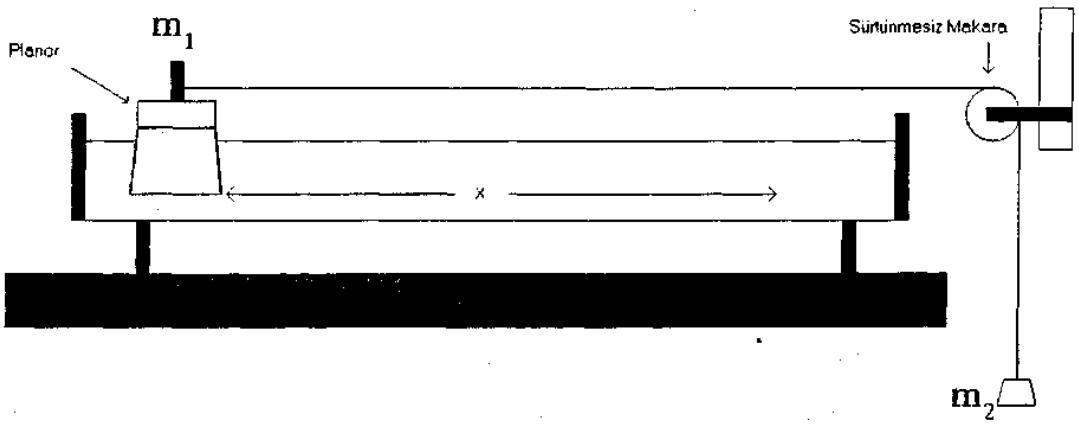


Şekil 4.1: Etkileşimde bulunan iki cismin birbirine uyguladıkları kuvvetlerin gösterimi.

$$\boldsymbol{F_{12} = -F_{21}} \qquad \textbf{(4.4)}$$

Deneyin Yapılışı:

- ✓ Şekil (4.2)' deki sistemi kurunuz.
- ✓ m_1 ve m_2 değerlerini sabit tutup, x' i değiştirerek geçen süreyi tabloya kaydediniz. (m_2 kütlesi bırakıldığı an süre başlatılmalıdır).
- ✓ Bulunan değerlerden $t^2 = f(x)$ grafiğini çiziniz.



Şekil 4.2: Hava Rayı

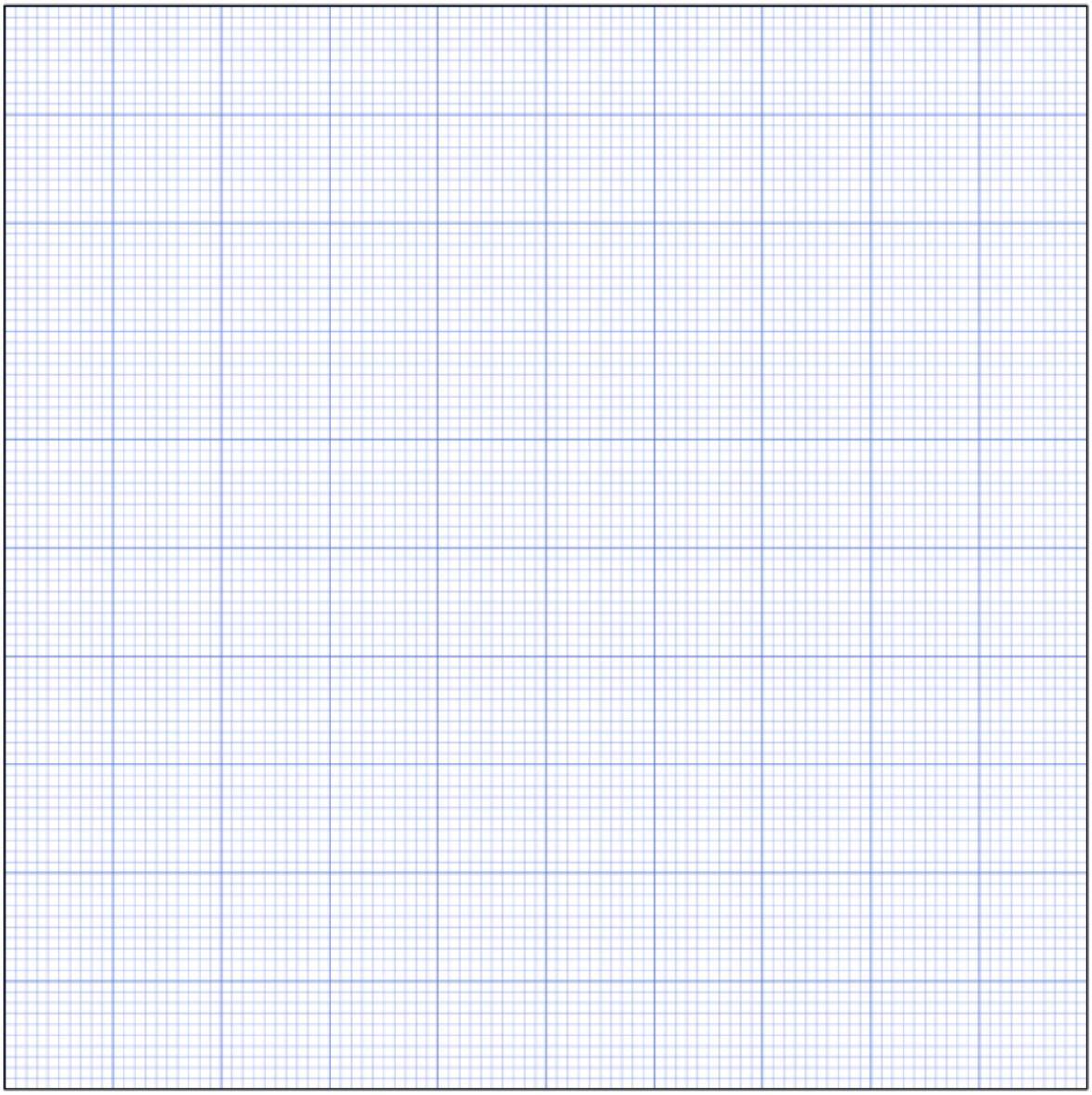
✓ Şekil (4.2) düzeneğinde, ivme ve yol formülü aşağıda verilmektedir;

$$\boldsymbol{a = \frac{m_2 g - \mu m_1 g}{m_1 + m_2}}$$ (μ, sürtünme katsayısı; yaklaşık sıfır) **(4.5)**

$$\boldsymbol{x = \frac{1}{2} a t^2}$$ **(4.6)**

Hesaplamalar:

$\boldsymbol{m_1(kg) =}$ $\boldsymbol{m_2(kg) =}$				
$\boldsymbol{t_1(s)}$				
$\boldsymbol{t_2(s)}$				
$\boldsymbol{t_3(s)}$				
$\boldsymbol{t_{ort}(s)}$				



Sorular:

1. Newton'u CGS birim sistemine çeviriniz.
2. Eşitlik (4.5)' deki ivmenin çıkarılışını gösteriniz.
3. Ağırlık ve kütleyi tanımlayınız. Bu iki nicelik arasında nasıl bir ilişki vardır. Açıklayınız.
4. Bir cisim durgun ise, üzerine hiçbir dış kuvvetin etkimediği söylenebilir mi?
5. m_1 ve m_2 kütlelerinin sabit tutulup cismin alacağı yolun artırılması durumunda, eşitlik (4.5) ve (4.6) dikkate alınarak geçen sürenin nasıl değiştiğini yorumlayın.

DENEY 5: DİNAMİK

Deneyin Amacı: Newton'un ikinci yasasını ($\sum F = ma$) incelemek, kuvvet ile ivme ve kütle ile ivme arasındaki ilişkileri belirlemek.

Teorik Bilgi: Maddenin durgun halini onun doğal hali olarak düşünen diğer bilim adamlarına karşı, tarihte ilk kez Galileo, sürtünmesiz yüzeylerde hareket eden cisimlerle ilgili bir deney gerçekleştirerek, "hareket halindeki cismin durması, onun doğal hali olmadığını, hiç durmadan yola devam etmesi gerektiğini" söylemiştir. Ayrıca, cisimlerin hareket halindeyken durma veya hızlanma hareketine (eylemsizlik) doğal olarak sahip olduğu sonucuna varmıştır. Bu yaklaşım daha sonra Newton tarafından formülleştirilerek, kendi adıyla anılan Newton'un birinci hareket yasası olarak tanınmış ve aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

"Bir cisme bir dış kuvvet (bileşke kuvvet) etki etmedikçe, cisim durgun ise durgun kalacak, hareketli ise sabit hızla hareketine doğrusal olarak devam edecektir."

Daha basit bir ifade ile bir cisme etki eden net kuvvet sıfır ise ivmesi de sıfırdır.

$$\sum \vec{F} = 0 \;\Rightarrow\; \vec{a} = 0 \qquad \textbf{(5.1)}$$

Bir cismin ivmesi, onun kütlesine ve üzerine etki eden kuvvete bağlıdır. Etki eden kuvvet arttıkça ivme de artar. Kütle arttıkça ivme azalır. Buna da Newton'un ikinci yasası denir.

"Bir cismin ivmesi, ona etki eden net kuvvetle doğru orantılı, kütlesi ile ters orantılıdır."

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \qquad \textbf{(5.2)}$$

Dikkat edilirse birinci yasa, ikinci yasanın özel bir halidir. Cismin üzerindeki net kuvvet sıfır ise ivme de sıfırdır. Bu durum denge hali olarak adlandırılır ve cismin hareketsiz kalması ya da sabit hızla hareket etmesi sonucunu doğurur. Parçacık dinamiğinde, net kuvvetin sıfır olduğu sistemlere statik sistemler adı verilir. Denklem (4.2), kuvvetin vektörel bir nicelik olduğunu ifade etmektedir. Bu vektör denklemi, m kütlesi için toplam kuvvetin ($\vec{F}_x$, $\vec{F}_y$, $\vec{F}_z$), x, y, z bileşenleri ve ivmenin ($\vec{a}_x$, $\vec{a}_y$, $\vec{a}_z$), x, y, z bileşenleri cinsinden üç vektörel denklem olarak şöyle yazılır;

$$\sum \vec{F}_x = m\vec{a}_x,\ \sum \vec{F}_y = m\vec{a}_y,\ \sum \vec{F}_z = m\vec{a}_z \qquad \textbf{(5.3)}$$

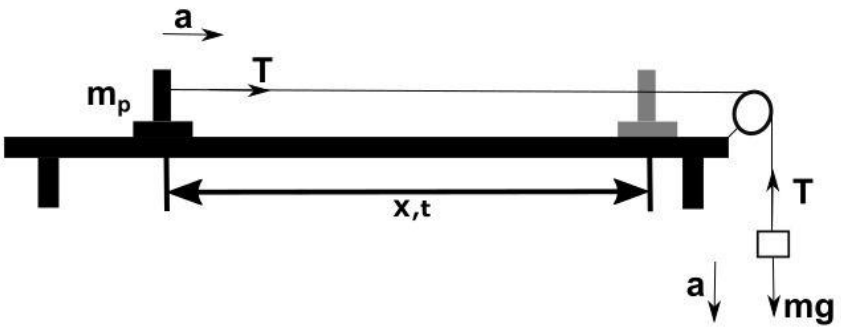
Eşitlik (5.3), Newton'un ikinci hareket kanunun evrensel tanımıdır.

SI birim sisteminde kuvvet birimi, 'Newton' dur. Newton birimi, kısaca N sembolü ile

gösterilir. $1N$, $1kg$ kütleli bir cismi $1\ m/s^{2}$' lik ivme ile hareket ettirebilen kuvvet olarak tanımlanır. Buna göre, $1N \equiv 1\ kg\ m/s^{2}$' dir.

Bir cismin üzerine etki eden net kuvvet, o cismin hızının değişmesine ve ivme kazanmasına neden olur. Cismin kazandığı ivme, kütlesi ile ters orantılıdır. Bu nedenle aynı büyüklükte bir kuvvete maruz kalan iki farklı cisimden kütlesi küçük olan her zaman daha büyük bir ivme ile hızlanacaktır.

Newton tarafından ortaya konulan üçüncü hareket yasası ise *etki-tepki* prensibi olarak adlandırılır. Buna göre, kuvvete maruz kalan bir cisim, kendisine kuvvet uygulayan ikinci cisme, kontak noktasında (veya kontak yüzeyinde) maruz kaldığı kuvvete eş ve onunla zıt yönlü bir tepki kuvveti uygular. Tepki kuvveti genellikle $\vec{N}$ harfi ile gösterilir. Bu nedenle $\vec{F} = -\vec{N}$ ifadesi her zaman geçerlidir.



Şekil 5.1: Deney düzeneği

Deneyin Yapılışı:

- Veri alırken masanın metal kısmına kesinlikle dokunmayın.
- Ölçüm alırken disklerden ikisi de masa üzerinde değilken kıvılcım zamanlayıcıyı asla çalıştırmayın.
- Kıvılcım ateşleyicisini çalıştırdığınız anda masa üzerinde olması gereken disklerden birisi elinizde bulunmamalıdır.
- Aksi durumda **zararlı olmayan ama canınızı acıtan bir elektrik şoka maruz kalabilirsiniz.**

✓ Şekil 5.1 deki düzeneği kurunuz.

✓ Hava masasının üzerine karbon kâğıdını ve ölçüm alacağınız kâğıdı yerleştirin.

✓ Disklerden birini ölçüm almak üzere masanın üst kenarına, diğerini ise ölçümü engellemeyecek şekilde masanın alt kenarına kağıdı kıvırarak yerleştirin.

- ✓ Kompresör çalıştırılmadan önce, diğer diskin hareketsiz kalmasını sağlayın.
- ✓ Kompresörü çalıştırın.
- ✓ Kıvılcım zamanlayıcısını istenilen zaman ayarına getirdikten sonra açın.
- ✓ Yukarıda tutulan disk bırakılıp yerçekimi etkisiyle harekete başladığı anda, kıvılcım ateşleyicisine basın ve hareketin sonuna kadar basılı tutun.
- ✓ Ölçüm sonucunu görmek için kompresörü ve kıvılcım ateşleyicisini kapatın.

Hesaplamalar:

Δx ve $\boldsymbol{\Delta t}$ değerlerini aşağıdaki tabloya kaydediniz.

Δx(cm)	**Δt(s)**

- ✓ Disklerin altından kâğıdı çekerek alınan ölçümden yol ve zamanı bularak, aşağıdaki formülden ivmeyi hesaplayınız.

$$\boldsymbol{x = \frac{1}{2}at^2} \qquad \textbf{(5.4)}$$

- ✓ Bulunan ivmeyi aşağıdaki formülde yerine yazarak, yerçekimi ivmesini hesaplayınız.

$$\boldsymbol{a = \frac{mg}{m_p + m}} \qquad \textbf{(5.5)}$$

- ✓ Yerçekimi ivmesinin teorik değeri ($g = 9{,}8\, m/s^2$) ile sizin bulduğunuz değer arasındaki yüzdelik hatayı hesaplayınız.

$$\%\boldsymbol{Hata = \frac{|Teorik - Deneysel|}{Teorik} \times 100} \qquad \textbf{(5.6)}$$

Sorular:

1. Kuvvet-ivme grafiğinin eğimi bize hangi fiziksel büyüklüğün değerini verir.
2. İvmenin birimini SI birim sisteminde gösteriniz.
3. Newton' un hareket yasaları nelerdir?
4. Bu deney düzeneğinde, Newton' un tüm hareket yasaları gözlenmiş midir?

DENEY 6: SÜRTÜNME KUVVETİ VE SÜRTÜNME KATSAYISININ BULUNMASI

Deneyin Amacı: Her bir sürtünmeli yüzey için sabit olan sürtünme katsayısının hesaplanması.

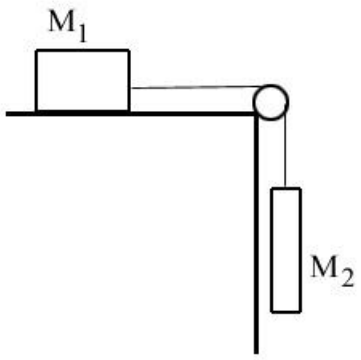
Teorik Bilgi: Bir cisim pürüzlü bir yüzeyde yahut hava veya su gibi viskoz bir ortam içinde hareket ediyorsa, çevresi ile arasındaki etkileşmeden dolayı harekete karşı bir direnme doğar. Bu direnme sürtünme kuvveti olarak adlandırılır. Bir cisim diğeri üzerinde hareket ederken dışarıdan bir kuvvet uygulanmıyorsa bir süre sonra yavaşlayarak durur. Hareket eden bir cismin durabilmesi için cisme, hareket yönünün zıt yönünde bir kuvvet etki etmesi gerekir. Bu kuvvete sürtünme kuvveti denir. Hareket olmasa da yüzeyler arasında bir sürtünme kuvvetinin var olduğunu unutmamak gerekir. İki çeşit sürtünme kuvveti vardır:

1. Statik sürtünme kuvveti
2. Kinetik sürtünme kuvveti

Bizim bu deneyde inceleyeceğimiz sürtünme kuvveti kinetik sürtünme kuvvetidir. Hareket eden bir katı cisimle bu cismin hareket ettiği yüzey arasında meydana gelir. Cismin, yüzey üzerinde sabit hızla hareketini sağlayan kuvvete eşit fakat zıt yönlü kuvvete denir.

Deneyin Yapılışı:

- ✓ Şekil 6.1'deki sistemde masa üzerine bir m_1 kütlesini koyunuz.



Şekil 6.1: Deney düzeneği.

- ✓ Aşağı sarkan ipin ucuna m_2 kütlesini koyunuz.
- ✓ m_2 kütlesinin yerden yüksekliğini ölçünüz.
- ✓ Daha sonra sistemin harekete başladığı anda kronometreyi çalıştırınız.
- ✓ Cisim (m_2) yere değdiği anda kronometreyi durdurunuz.

- ✓ Zamanı (t) ve masa üzerinde duran kütlenin aldığı yolu (L) kayıt ediniz.
- ✓ Farklı değerdeki m_2 kütleleri kullanarak deneyi tekrarlayınız.

Hesaplamalar:

$m_1\ (kg)$	$m_2\ (kg)$	Alınan yol (m)	Geçen zaman (s)		$t_{ort}\ (s)$	Sistemin ivmesi (m/s^2)

Bu harekete ait yol denklemi:

$$S = \frac{1}{2}at^2 \qquad (6.1)$$

Hız denklemi:

$$v = at \qquad (6.2)$$

Yol denklemini kullanarak sistemin ivmesini ve onun yardımıyla yere değdiği andaki hızını bulunuz.

Sistem hareket etmeden önce aşağıya sarkan kütlenin potansiyel enerjini;

$$E_p = m_2 gS \qquad (6.3)$$

Yere değdiği andaki kinetik enerjisini:

$$E_K = \frac{1}{2}m_2 v^2 \qquad (6.4)$$

Eşitlik (6.3) ve (6.4)' ü kullanarak hesaplayın.

Sürtünme kuvvetine karşı yapılan işi ve sürtünme katsayısını:

$$W = m_2 gS - \frac{1}{2}m_2 v^2 \qquad (6.5)$$

$$W = F_S L = kNL = km_1 gL \qquad (6.6)$$

denklem (6.5) ve (6.6)' yı kullanarak hesaplayın.

F_S = Sürtünme kuvveti

L = Masa üzerinde duran kütlenin masa üzerinde aldığı yol

k = Sürtünme katsayısı

Farklı m_2 kütleleri için bulduğunuz değerlerle ayrı ayrı sürtünme kuvvetini ve sürtünme katsayısını hesaplayınız. Sonucu yorumlayınız.

m_2 (kg)	Sürtünme kuvveti (N)	Sürtünme katsayısı

Sorular:

1. Sürtünme katsayısının SI birim sisteminde birimi nedir?
2. Şekil 6.1' deki düzeneği ve $m_2 > m_1$ durumunu göz önünde bulundurarak, ip gerilmesini formülsel olarak gösteriniz.
3. Eşitlik (6.4) ve (6.6)' daki büyüklükleri dikkate alarak iş ve enerji birimlerinin aynı olduğunu gösterin.

DENEY 7: ÇARPIŞMALAR VE LİNEER MOMENTUMUN KORUNUMU

Deneyin Amacı: İzole edilmiş bir sistemde esnek çarpışma için, lineer momentum ve kinetik enerji korunumunu incelemek.

Teorik Bilgi: Bir nesnenin lineer momentumu $\vec{P}$; kütlesinin ve hızının çarpımı şeklinde tanımlanır.

$$\vec{P} = m\,\vec{v} \tag{7.1}$$

Burada lineer momentumdan kısaca momentum olarak bahsedeceğiz. Bununla birlikte sadece net bir dış kuvvet $F_{dış}$ uygulandığı zaman nesnenin hızının değiştiğini biliyoruz ve bu da momentumun değişeceği anlamına gelir. Bu gerçek, Newton'un ikinci yasasından görülebilir. Newton'un ikinci yasasına göre sabit kütleli bir cisim için;

$$\vec{F}_{dış} = m\,\vec{a} = m\,\frac{d\vec{v}}{dt} \tag{7.2}$$

şeklinde yazılır. Burada m sabit olduğunda bu denklem açıkça;

$$\vec{F}_{dış} = \frac{d(m\,\vec{v})}{dt} = \frac{d\vec{P}}{dt} \tag{7.3}$$

ifadesi elde edilir. Yukarıdaki denklemden eğer bir nesnenin üzerine etki eden net kuvvet yoksa bu nesnenin momentumu korunuyor anlamı çıkarılabilir. Yani momentumu zamanla değişmez. Eğer $F_{dış} = 0$ olursa; o zaman,

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = 0 \tag{7.4}$$

ve

$$\vec{P} \equiv sabit \tag{7.5}$$

olacaktır. Burada sabit denilirken, momentumun zamanla değişmediği kastedilmektedir. Bu durum, çok parçacıklı sistemler için de geçerlidir. m_1, m_2 ,..... m_N kütleden ibaret olan N parçacıklı bir sistem için yukarıdaki sonuç genelleştirilebilir. Parçacıkların oluşturduğu böyle bir sistemin herhangi bir andaki toplam momentumu şöyle yazılır:

$$\vec{P}_{top} = \overrightarrow{P_1} + \overrightarrow{P_2} + \ldots\ldots + \overrightarrow{P_N} \tag{7.6}$$

Burada

$$P_1 = m_1 v_1\,, \quad P_2 = m_2 v_2\,, \ldots . vb \tag{7.7}$$

dir. Eşitlik (7.6)'daki toplama *vektörel* bir toplama işlemidir. Bu durumda eşitlik (7.3) genelleştirilirse;

$$\vec{F}_{dış} = \frac{d\vec{p}_{top}}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\overrightarrow{P_1} + \overrightarrow{P_2} + \ldots\ldots\ldots + \overrightarrow{P_N}\right) \qquad \textbf{(7.8)}$$

olur. Burada $\vec{F}_{dış}$, parçacıkların oluşturduğu sistemdeki net dış kuvveti ifade eder. Yani sistem dahil olan parçacıkların birbirlerine uyguladıkları kuvvetten ayrı olarak sistem üzerine dışardan uygulanan bir etkiyi ifade eder. Bu dış kuvvetler örneğin sürtünme veya yerçekimi kuvveti olabilir. Bununla birlikte, çok parçacıklı böyle bir sisteme dışarıdan hiç bir kuvvet etki etmiyorsa, sistemin toplam momentumunun da korunması yani sabit kalması beklenir. Bu durumda;

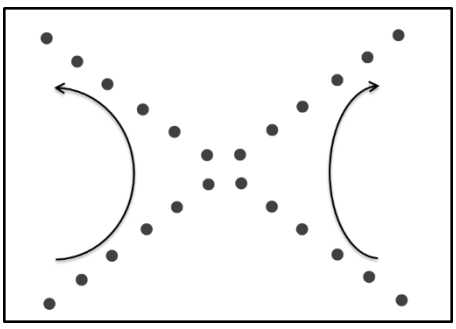
$$\frac{d\vec{p}_{top}}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\overrightarrow{P_1} + \overrightarrow{P_2} + \ldots\ldots\ldots + \overrightarrow{P_N}\right) = \mathbf{0} \qquad \textbf{(7.9)}$$

$$\vec{p}_{top} = \overrightarrow{P_1} + \overrightarrow{P_2} + \ldots\ldots + \overrightarrow{P_N} = sabit \qquad \textbf{(7.10)}$$

yazmak mümkündür. Yukarıdaki toplama işleminin vektörel bir toplam olduğu unutulmamalıdır.

Bu deneyde yatay konumdaki hava masasında hareket eden iki diskli sistemde momentumun korunumu araştırılacaktır. Yatay konumda olan ve yüzey sürtünmesi ihmal edilebilen bir hava masası üzerine yerleştirilen diskler için bu disklerin yatay hareketine etki eden hiçbir dış kuvvet mevcut değildir. (Disklerin ağırlıkları düşey doğrultuda olduğu için yatay düzlemde gerçekleşen hareket esnasında dikkate alınmazlar.) Bu durumda disklerin toplam momentumu korunmuş olur.

Bu deneyde hava masası üzerinde disklerin çarpışmaları sağlanarak, çarpışmadan önceki ve sonraki toplam momentumları ölçülecektir. Veri kağıdında elde edilen noktaların kağıt üzerindeki dağılımının kabaca bir gösterimi aşağıda, Şekil 7.1' de gösterilmiştir.



Şekil 7.1: Yatay konumdaki hava masasında esnek çarpışma yapan iki diskin veri noktaları

İki diskin çarpışmadan önceki hızları $\overrightarrow{v_A}$ ve $\overrightarrow{v_B}$, çarpışmadan sonraki hızları ise $\overrightarrow{v_A'}$ ve $\overrightarrow{v_B'}$ olsun. Sistem izole edildiğinden, toplam momentum korunmuştur ve herhangi bir an için;

$$\vec{p}_{top} = sabit \tag{7.11}$$

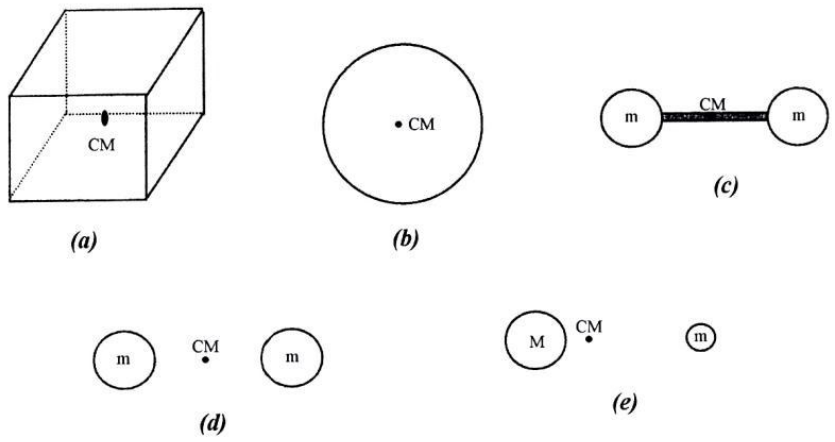
$$\vec{P}_A + \vec{P}_B = \vec{P}_A' + \vec{P}_B' \tag{7.12}$$

olarak yazılabillir. Burada $\vec{P}_A = m_A \vec{v}_A$, $\vec{P}_B = m_B \vec{v}_B$ olur. Disklerin kütleleri özdeş olduğuna göre yukarıdaki bağıntı kolayca aşağıdaki şekle dönüştürülebilir.

$$\vec{v}_A + \vec{v}_B = \overrightarrow{v_A'} + \overrightarrow{v_B'} \tag{7.13}$$

Eşitlik (7.13)' deki vektörel toplamı geometrik olarak bulmanın yöntemi bir sonraki "Deneyin Yapılışı" bölümünde açıklanmıştır.

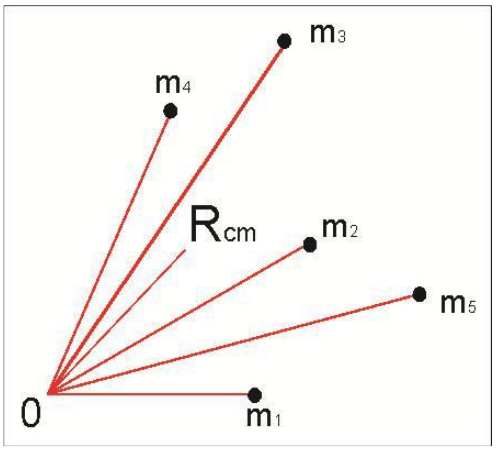
Bu deneyde araştırılacak bir başka kavram da kütle merkezi (CM) kavramıdır. Türdeş bir küp (Şekil 7.2a) veya bir kürenin (Şekil 7.2b) CM' sinin geometrik merkezlerinde olabileceğini tahmin edebilirsiniz. Bunun yanı sıra, Şekil 7.2c'de gösterilen tokmakçığın da CM' sinin iki küreyi birleştiren çubuğun tam orta noktası olacağı kolayca tahmin edilebilir.



Şekil 7.2: Bazı simetrik türdeş nesnelerin kütle merkezi

Farklı şekillerdeki kütle dağılımları için CM yeniden tanımlanmalıdır. Konum vektörleri $\overrightarrow{r_1}$, $\overrightarrow{r_2}$, ... $\overrightarrow{r_N}$ olan m_1 , m_2, ... m_N kütlelerine sahip N parçacıklı bir sistemin $\vec{R}$ konum vektörünün Şekil 7.2 de gösterilen konum vektörü aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$\vec{R} = \frac{m_1\vec{r_1} + m_2\vec{r_2} + \ldots\ldots\ldots + m_N\vec{r_N}}{m_1 + m_2 + \ldots\ldots\ldots + m_N} \qquad (7.14)$$



Şekil 7.3 : Kütle dağılımları için R'nin kütle merkezi

Zamanla parçacıkların pozisyonunu değişirse, CM' nin de pozisyonu değişir ve CM' nin konumunun zamana göre türevi, CM' nin hızı olarak düşünülebilir.

$$\vec{V}_{CM} = \frac{d\vec{R}}{dt} \qquad (7.15)$$

Sabit kütleli parçacıklar için, Eşitlik (7.15) eşitliğinin her iki tarafının türevini aldığımızda;

$$\vec{R} = \frac{m_1\dot{\vec{r}_1} + m_2\dot{\vec{r}_2} + \ldots\ldots\ldots + m_N\dot{\vec{r}_N}}{m_1 + m_2 + \ldots\ldots\ldots + m_N} \qquad (7.16)$$

$$\vec{V}_{CM} = \frac{m_1\vec{v_1} + m_2\vec{v_2} + \ldots\ldots\ldots + m_N\vec{v_N}}{m_1 + m_2 + \ldots\ldots\ldots + m_N} \qquad (7.17)$$

ifadelerini elde ederiz. Eşitlik (7.16)' daki noktalar türev anlamına gelir. Yani $\dot{\vec{r}_N} = \frac{dr_N}{dt}$ yerine kullanılmıştır. Yukarıdaki oluşan ifade, deney setimizdeki iki diskli sisteme uygulandığında;

$$\vec{R} = \frac{m\vec{r}_A + m\vec{r}_B}{m+m} \qquad (7.18)$$

$$\vec{R} = \frac{\vec{r}_A + \vec{r}_B}{2} \qquad (7.19)$$

ifadelerini verir. Burada disklerin kütleleri eşit olduğu için kütleler, aynı ifadedeki pay ve paydadan basitçe kaldırılabilir. Bu durumda Eşitlik (7.20) elde edilmiş olur. CM' nin hızı ise yine aynı şekilde;

$$\vec{V}_{CM} = \frac{\vec{v}_A + \vec{v}_B}{2} \qquad (7.20)$$

olacaktır. Yukarıdaki denklemden önemli bir takım çıkarımlarda bulunabiliriz. İlk olarak momentum korunurken, yatay konumdaki hava masasında iki diskli sistemde CM' nin konumundaki değişmenin bu koşullarda zamanla sabit olduğu anlaşılır. Diğer bir deyişle, CM sabit hızla hareket eder. Böylece toplam momentumun korunduğu izole edilmiş bir sistem için sistemin CM' si daima sabit hızla doğrusal hareket edecektir diyebiliriz. Ayrıca bu durumda CM' nin hızı, her iki cismin hızların toplamının yarısına eşittir. Bu nedenle çarpışmadan önce ve sonra, iki diskli sistemimizde kütle merkezinin hızı aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\vec{V}_{CM} = \vec{V}_{CM}{}' \tag{7.21}$$

$$\vec{V}_{CM} = \frac{\vec{v}_A + \vec{v}_B}{2} = \vec{V}_{CM}{}' = \frac{\vec{v}_{A'} + \vec{v}_{B'}}{2} \tag{7.22}$$

Bu deneyde, çarpışma için disklerin kinetik enerji korunumlarını da araştıracağız. $\boldsymbol{m}$ kütleli ve $\boldsymbol{v}$ doğrusal hızıyla ilerleyen bir nesnenin kinetik enerjisi;

$$K = \frac{1}{2} mv^2 \tag{7.23}$$

şeklindedir. Bu nedenle esnek çarpışmadan önceki iki diskli sistemin toplam kinetik enerjisi;

$$K = \frac{1}{2} mv_A{}^2 + \frac{1}{2} mv_B{}^2 \tag{7.24}$$

ve çarpışmadan sonraki ise;

$$K' = \frac{1}{2} mv_A{}^{2'} + \frac{1}{2} mv_B{}^{2'} \tag{7.25}$$

olarak yazılabililir. Bununla birlikte esnek olmayan çarpışmada iki disk birbirine yapışarak $\boldsymbol{2m}$ kütleli ve $\vec{v}'$ hızlı tek bir nesne formunda hareket ettiklerinden, çarpışmadan sonraki toplam kinetik enerjisi;

$$K' = \frac{1}{2} (2m)\, v^{2'} = mv^{2'} \tag{7.26}$$

olur. Kinetik enerji skaler bir büyüklük olduğuna göre o zaman (7.25) ve (7.26) denklemlerindeki toplamlar cebirsel toplamdır. Öte yandan esnek çarpışmada kinetik enerji hemen hemen korunur yani $K = K'$ dür.

Deneyin Yapılışı:

- Veri alırken masanın metal kısmına kesinlikle dokunmayın.
- Ölçüm alırken disklerden ikisi de masa üzerinde değilken kıvılcım zamanlayıcıyı asla çalıştırmayın.
- Kıvılcım ateşleyicisini çalıştırdığınız anda masa üzerinde olması gereken disklerden birisi elinizde bulunmamalıdır.
- Aksi durumda **<u>zararlı olmayan ama canınızı acıtan bir elektrik şoka maruz kalabilirsiniz.</u>**

✓ Hava pompası anahtarını (P) çalıştırınız.

✓ Her iki diski, hava masasının bir tarafından öbür tarafına uç noktalara yerleştiriniz.

✓ Diskleri birbirlerine doğru, masanın ortasına yakın bir yerde çarpışacak şekilde yavaşça iterek hareket ettiriniz ve serbest bırakınız. Doğrusal bir çarpışma elde edilemediği takdirde aynı işlemi bir kaç kez tekrar edebilirsiniz.

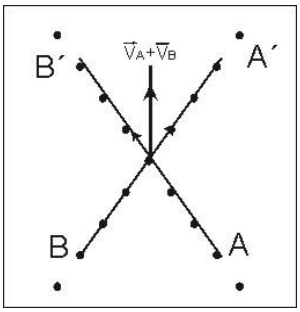
✓ Ark kronometresinden periyodu ayarlayınız (örneğin 60ms).

✓ Ardından (P) anahtarını çalıştırırken diskleri hava masasının bir tarafından öbür tarafına fırlatınız ve de ark kronometresinin anahtarını (S) diskler serbest kalır kalmaz çalıştırınız.

✓ İki disk hareketlerini tamamlayana kadar her iki anahtarı da açık tutunuz.

Hesaplamalar:

Veri kağıdını kaldırınız ve üzerinde oluşan noktaları dikkatle gözden geçiriniz. Noktalar Şekil 7.4' deki gibi olmalıdır. Her iki disk için noktaları $0, 1, 2, \ldots..$ve benzeri şekilde numaralandırınız. Her bir yoldaki iki ya da üç aralığın uzunluğunu ölçüp zamana bölerek çarpışmadan önce ve sonra her bir diskin hızını ayrı ayrı bulunuz. Disklerin kat ettiği iki yolu çarpışmadan önce A ve B çarpışmadan sonra da A' ve B' olarak isimlendiriniz.



Şekil 7.4 : $\vec{v}'_A + \vec{v}'_B$ 'nin vektörel toplamı

$\vec{v}_A + \vec{v}_B$ ve $\vec{v}_A{}' + \vec{v}_B{}'$ vektörel toplamlarını bulunuz. Örneğin; $\vec{v}_A + \vec{v}_B$ 'yi bulmak için

A ve B yolları kesişene kadar uzatınız. Daha sonra kesişme noktasından başlayarak $\vec{v}_A \, ve \, \vec{v}_B$'nin yönleri boyunca ve de bu hızların büyüklüklerinin uzunlukları ile orantılı hız vektörlerini çiziniz. Örneğin $10\,cm/s$' lik bir hızı gösterirken $1\,cm$' lik bir vektör çizebilirsiniz. Daha sonra paralel kenarı tanımlayarak bu hızlardan meydana gelen toplamı bulunuz. $\vec{v}_A{}' + \vec{v}_B{}'$' yi bulmak için aynı yöntemi uygulayınız.

Çarpışmadan önce ve sonra, kağıt üzerinde aynı anda oluşan noktaları tanımlayınız ve bunların her birerlerini bir çizgi ile birleştirerek eşleştiriniz. Nokta çiftlerini birleştiren çizgi boyunca CM' nin konumunu belirleyiniz. Bunu yaparken, çarpışma süresince CM' nin konumunu belirleyen kaydı elde edeceksin.

Yukarıda CM için elde ettiğiniz kaydı kullanarak çarpışmadan önceki ve sonraki kütle merkezinin hızını bulunuz.

İki diskin çarpışmadan önceki ve sonraki toplam kinetik enerjilerini bulunuz ve bunları karşılaştırınız.

Sorular:

1. Bir parçacığın hızı iki katına çıkartılırsa momentum ve kinetik enerjisi nasıl değişir?
2. İki cismin kinetik enerjileri eşitse momentumları da her zaman birbirlerini eşittir diyebilir miyiz? Açıklayınız.
3. İki parçacık arasındaki tam esnek çarpışmada, çarpışma sonucu her parçacığın kinetik enerjisi değişir mi?
4. Bir cismin kütle merkezi, cismin hacminin dışında olabilir mi? Olabilir ise örnek veriniz?

DENEY 8: ESNEK OLMAYAN ÇARPIŞMA

Deneyin Amacı: Esnek olmayan çarpışmada, momentum ve enerji bağıntılarının incelenmesi.

Teorik Bilgi: İki cisim çarpıştıktan sonra, birbirlerine yapışır ve birlikte hareket ederlerse, bu tip çarpışmalara ***esnek olmayan çarpışmalar*** adı verilir. Esnek olmayan çarpışmalarda mekanik enerji korunmazken momentum korunmaktadır. Çarpışmadan sonra, sistem kendi etrafında dönmeden hareket ediyorsa, her iki cismin doğrusal hızları ve kütle merkezlerinin hızları, birbirine eşittir. Birinci ve ikinci cismin çarpışmadan önceki ve sonraki hızları sırasıyla $\overrightarrow{v_1}, \overrightarrow{v_2}$ ve $\overrightarrow{u_1}, \overrightarrow{u_2}$olsun. $\vec{V}$ kütle merkezinin hızını ifade etmek üzere;

$$\overrightarrow{\boldsymbol{u_1}} = \overrightarrow{\boldsymbol{u_2}} = \vec{\boldsymbol{V}} \tag{8.1}$$

şeklinde yazılabilir. Esnek olmayan çarpışmada momentum korunduğuna göre,

$$\overrightarrow{\boldsymbol{m_1 v_1}} + \overrightarrow{\boldsymbol{m_2 v_2}} = \overrightarrow{\boldsymbol{m_1 u_1}} + \overrightarrow{\boldsymbol{m_2 u_2}} = (\boldsymbol{m_1 + m_2})\vec{\boldsymbol{V}} \tag{8.2}$$

eşitlikleri yazılabilir. Bu bağıntıdan kütle merkezinin hızı $\vec{V}$,

$$\vec{\boldsymbol{V}} = \frac{\boldsymbol{m_1}\overrightarrow{\boldsymbol{v_1}} + \boldsymbol{m_2}\overrightarrow{\boldsymbol{v_2}}}{\boldsymbol{m_1 + m_2}} \tag{8.3}$$

olarak bulunur. Eğer $m_1$kütlesi m_2 kütlesine eşitse, kütle merkezinin hızı,

$$\vec{\boldsymbol{V}} = \frac{\overrightarrow{\boldsymbol{v_1}} + \overrightarrow{\boldsymbol{v_2}}}{\boldsymbol{2}} \tag{8.4}$$

olarak elde edilebilir. Esnek olmayan çarpışmada sistemin toplam momentumunda bir değişim olmamasına karşın, sistemin kinetik enerjisinde her zaman bir kayıp olmaktadır. O halde, çarpışmadan önceki ve sonraki kinetik enerjiler için bir bağıntı yazılırsa,

$$\left(\frac{\boldsymbol{1}}{\boldsymbol{2}}\boldsymbol{m_1 v_1^2} + \frac{\boldsymbol{1}}{\boldsymbol{2}}\boldsymbol{m_2 v_2^2}\right) > \left(\frac{\boldsymbol{1}}{\boldsymbol{2}}(\boldsymbol{m_1 + m_2})\boldsymbol{V^2}\right) \tag{8.5}$$

bağıntısı elde edilir. $m_1 = m_2$ durumu için eşitlik 8.5;

$$\left(\boldsymbol{v_1^2 + v_2^2}\right) > \boldsymbol{2V^2} \tag{8.6}$$

şekline dönüşür. Esnek olmayan çarpışmada enerji farkı ısıya ya da başka enerji şekillerine dönüşür. K_1, çarpışmadan önceki toplam kinetik enerji, K_2, çarpışmadan sonraki toplam

kinetik enerji olmak üzere, sistemin kinetik enerjisindeki azalma oranı;

$$\boldsymbol{e = \frac{K_1 - K_2}{K_1}} \qquad \textbf{(8.7)}$$

ifadesi ile verilebilir.

Deneyin Yapılışı:

- Veri alırken masanın metal kısmına kesinlikle dokunmayın.
- Ölçüm alırken disklerden ikisi de masa üzerinde değilken kıvılcım zamanlayıcıyı asla çalıştırmayın.
- Kıvılcım ateşleyicisini çalıştırdığınız anda masa üzerinde olması gereken disklerden birisi elinizde bulunmamalıdır.
- Aksi durumda **zararlı olmayan ama canınızı acıtan bir elektrik şoka maruz kalabilirsiniz.**

✓ Esnek olmayan çarpışma için, eşit kütleli iki diskin çevresine özel yapışkan bantları, yapışkan yüzeyler dışa gelecek şekilde sarınız.

✓ Hava masasını yatay duruma getirdikten sonra diskleri masanın size yakın olan köşelerine koyunuz.

✓ Hava pedalına basarak, çarpışmanın hava masasının ortasında bir yerde olmasını sağlayınız. Çarpışmadan sonra disklerin birlikte hareket ettiğini göreceksiniz.

✓ Disklerin konumlarını ve hızlarını ayarladıktan sonra ark pedalına da basarak hareketi tekrarlayınız.

✓ Ark pedalına disklere hareket verdikten sonra basmanız gerekir. Hareketten önce basarsanız, disklerin birbirine göre t zamanındaki konumlarını bulmanız güçleşebilir.

✓ Elde ettiğiniz verileri kullanarak çarpışmadan önceki $\overrightarrow{v_1}, \overrightarrow{v_2}$, ve sonraki $\overrightarrow{u_1}, \overrightarrow{u_2}$ hız vektörlerini çiziniz. Ayrıca büyüklüklerini bir cetvel ile ölçünüz.

✓ Çarpışmadan sonraki $\overrightarrow{u_1}$ ve $\overrightarrow{u_2}$ hızları birbirlerine eşit değil ise sistemin kendi etrafında döndüğü gözlenecektir.

Hesaplamalar:

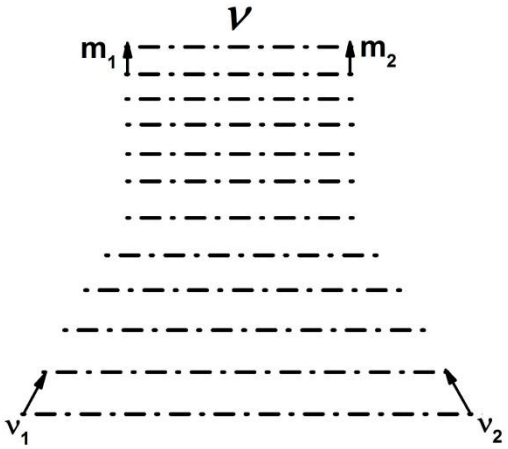
$\vec{R} = \overrightarrow{v_1} + \overrightarrow{v_2}$ ve $\vec{R}' = \overrightarrow{u_1} + \overrightarrow{u_2}$ vektörlerini çizerek gösteriniz. Çarpışmadan önceki ve sonraki bileşke vektörler, birbirine eşit oluyor mu? Momentumun korunduğunu nasıl gösterirsiniz?

Kütle merkezinin hız vektörü, $\vec{V}$ yi çiziniz.

$\vec{V}$ hızı, çarpışmadan sonraki $(\overrightarrow{u_1})$ ve $(\overrightarrow{u_2})$hızlarına eşit oluyor mu? $\vec{V}$ ile $\overrightarrow{v_1}$ ve $\overrightarrow{v_2}$ arasında nasıl bir bağıntı vardır? $\vec{V}$ hız vektörünün büyüklüğünü ölçünüz.

Bulduğunuz hız değerlerini (8.6) no' lu bağıntıda yerine koyarak kinetik enerjinin korunmadığını gösteriniz.

(8.7) no' lu bağıntıyı kullanarak, kinetik enerjideki azalma oranını bulunuz.



Şekil 8.1: Esnek olmayan çarpışma

Sorular:

1. Esnek olmayan çarpışmaya günlük yaşamda karşılaştığınız ne gibi olayları örnek gösterebilirsiniz.
2. Bir parçacığın hızı iki katına çıkarılırsa,

a. Momentumu nasıl değişir?

b. Kinetik enerjisi ne olur?