GAZİ ÜNİVERSİTESİ FEN FAKÜLTESİ
FİZİK BÖLÜMÜ

FİZ 1152
FİZİK LABORATUVARI I
(MEKANİK)

Ankara-2020

İÇİNDEKİLER

GİRİŞ **1**

Deney 1. Hata Hesabı **13**

Deney 2. Düzgün Doğrusal Hareket ve Sabit İvmeli Hareket **17**

Deney 3. Serbest Düşme **23**

Deney 4. Eğik Atış **27**

Deney 5. Atwood Makinesi **31**

Deney 6: Çarpışmalar **37**

Deney 7. Balistik Sarkaç **41**

Deney 8. Dönme Dinamiği ve Tork **47**

Deney 9. Maxwell Tekerleği - Enerji Korunumu **55**

Deney 10. Basit Harmonik Hareket **61**

Kaynaklar **67**

GİRİŞ

Fizikte Ölçüm ve Hatalar

Fizikte her ne kadar teori önemli olsa da teorik çalışmaların sonucunu deneylerden alınan sonuçlar söylemektedir. Ve tüm deneylerin temelini ölçme oluşturmaktadır. Ölçüm işlemi farklı şekillerde olabilir. Fizikte hiçbir ölçüm hatasız değildir. Deneylerde bulunan sayısal sonuçların ölçüm hataları belirlenmedikçe, herhangi bir anlamı olmaz. Her ölçülen sonucun, güvenilirlik sınırları, yani hata sınırları belirtilmelidir. Bu amaçla hataların bulunmasına ilişkin bazı pratik bilgiler aşağıda verilmektedir. Ölçüm esnasında oluşan iki tür hata vardır bunlar:

- Sistematik Hatalar
- İstatistiksel Hatalar

Sistematik Hatalar:

Adından da anlaşılacağı gibi sistemin kendisinden kaynaklanan hatalardır. Bu hatalar sabittir yani sonucu sürekli olarak aynı yönde etkilerler. Örneğin; bir tartı, 1 kg fazla ölçüm yapıyorsa bundan sonraki ölçümlerinin hepsinde gerçek sonuçtan 1 kg fazla ölçecektir. Bu tip hataların var olması durumunda hatalar tek yönlüdür; elde edilen sonuçların hepsi gerçek sonuçtan ya daha büyük ya da daha küçüktür. Sistematik hatalar aşağıdaki yöntemlerle giderilebilir:

- Ölçüm sonucunda gerekli düzeltme yapılarak,
- Ölçü sistemindeki hata giderilerek,
- Ölçüm yöntemi değiştirilerek.

İstatistiksel Hatalar

Ölçüm hassasiyetinin ve kullanılan deney aletlerinin sınırlı oluşundan, ölçülen nesne ya da ölçüm sistemindeki kararsızlıklardan kaynaklanan, genellikle küçük ve çift yönlü hatalardır. Bu hatalar tamamen rastgele olduklarından dolayı, artı ve eksi olma ihtimalleri eşittir. Ölçülen sonuçları birbirinden farklıdır ve belirli bir değer çevresinde dağılım gösterir.

Bu hatalar ölçüm sonuçlarından ayıklanamaz, ancak hata paylarının ve ölçülen büyüklüğün hangi sınırlar içinde güvenilir olduğunun yaklaşık olarak belirlenmesini mümkün kılar. Bu tip hataların ölçüm sonuçlarına etkisi, aynı ölçümün çok sayıda yinelenmesi ve sonuçların istatistiksel olarak değerlendirilmesiyle azaltılabilir.

Fiziksel bir büyüklük (x), N kez ölçüldüğünde, ölçüm sonuçları x_1, x_2,…, x_N olsun. x'in ortalama değeri $(\bar{x})$ aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_i}{N} \tag{1}$$

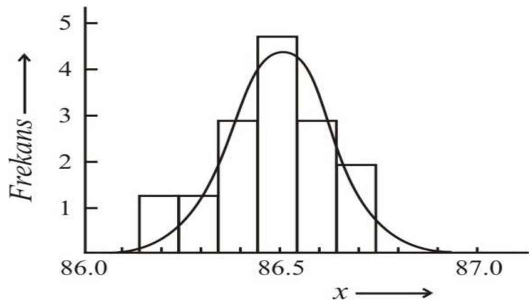
Elde edilen $\bar{x}$ değeri, x'in en yaklaşık değeridir. O halde bir büyüklük N kez ölçülmüşse, ortalama değerini ölçüm sonucu olarak alabiliriz. Bulunan ölçüm sonucunun güvenilirliği, N ile orantılı olarak artar. Ancak deneylerde, zaman kısıtlılığından dolayı makul sayıda tekrarla yetinmek zorundayız.

$\bar{x}$ değerindeki hata nedir? Bunu saptamak için aşağıdaki tabloda görüleceği şekilde "histogram" dediğimiz dağılım tablosundan yararlanabiliriz. Örneğin, zaman ölçümü yaptığımız bir deneyi 16 kez tekrarlayalım ve aşağıdaki veriler elde edilmiş olsun.

ÖLÇÜM SAYISI	ZAMAN	ÖLÇÜM SAYISI	ZAMAN
1	86,2	9	86,8
2	86,5	10	86,5
3	86,4	11	86,5
4	86,5	12	86,4
5	86,7	13	86,6
6	86,6	14	86,3
7	86,6	15	86,7
8	86,5	16	86,4

Bu sonuçlar incelendiğinde, görüleceği gibi 5 kez 86,5, 3 kez 86,4 vs. ölçülüyor. Eğer ölçülen değere karşılık, bu değerin kaç kez ölçüldüğünü bir grafik üzerinde gösterirsek, şekildeki gibi bir histogram ya da frekans dağılım eğrisi elde ederiz (Şekil 1).

Bu eğri öğrencinin laboratuvardaki ölçümleri sonucunda elde edeceği, dağılım eğrisine tipik bir örnektir. Ölçüm sayısı artırıldıkça (yani N büyüdükçe) eğri Gauss eğrisi ya da Normal Dağılım eğrisine daha yakın bir uyum gösterecektir.



Şekil 1. Frekans dağılım eğrisi

Denklem (1) ile elde edilen $\bar{x}$ değerinin ne derece güvenilir olduğunun bilinmesi gerekir. Bu örnek için $\bar{x} = 86{,}49$'dur.

Hataların saptanmasında kullanılan genel bir yöntem, ortalama sapma değerinin belirlenmesidir. Örneğin x_i ölçümündeki sapma,

$$d_i = x_i - \bar{x} \tag{2}$$

bu ölçüme ait ortalama sapma,

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^{N} |d_i|}{N} \tag{3}$$

dır. Ortalama sapma değerlerinin aritmetik ortalaması, istatistiksel hata olarak alınabilir. Biraz önceki 16 ölçüm yapılan deneye dönersek Denklem (3)' ü kullanarak $\bar{d} = 0{,}1\ s$ bulunur. x için ölçüm sonucu $x = \bar{x} \pm \bar{d}$ şeklinde ifade edilir.

Bazı hallerde hatalar hata yüzdesi olarak verilir. Bu durumda hata yüzdesi $\left(\bar{x}/\bar{d}\right) \times \%100$ olacağından daha önceki örnek için hata yüzdesi $\left(0{,}1/86{,}5\right) \times \%100 = \%0{,}1$ ve dolayısıyla ölçüm sonucu,

$$x = 86{,}5 \pm \%0{,}1$$

olarak bulunur. Bu örnekten görüleceği gibi, yapılan N ölçüm için ortalama değerden sapma, ölçülen değerin hassaslığının saptanmasında bir ölçü olabilir. Ancak bu sapma miktarı gerçek hata değildir. Bu yalnızca istatistiksel hatanın saptanmasında bir yaklaşım olarak düşünülmelidir. Laboratuvar çalışmalarında öğrenci, ortalama değerden sapma olmasına rağmen, $\bar{d}$'yi hata olarak alabilir. Bir seri ölçüm sonucunda, $\bar{d}$'nin küçük olması $\bar{x}$'in hassas olarak ölçüldüğünü, büyük olması da $\bar{x}$'nın daha az hassaslıkla ölçülmüş olduğunu gösterir. Yani, ortalama sapma istatistiksel hatanın büyüklüğünün saptanmasında bir kriter olarak kullanılabilir.

İstatistiksel hataların saptanmasında kullanılan başka bir yöntem standart sapmayı kullanmaktır.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} {d_i}^2}{N-1}} \tag{4}$$

denklemi ile tanımlanan standart sapmayı kullanmaktır. Öğrenci deney sonuçlarının analizinde $\bar{d}$ ya da σ'dan herhangi birini kullanabilir. σ'nın seçimi, büyük sapmalara daha fazla önem verildiğini gösterir. Standart sapma, yinelenen ölçüm sonuçlarının hangi sınırlar içinde değişebileceğinin saptanmasında basit bir yaklaşımdır. Dağılımın Gauss eğrisi olması halinde sonuçları yüzde seksen beş olasılıkla, ortalama değer standart sapma aralığında olacaktır.

Ölçümlerin çok sayıda yinelenmesi olası olmadığı, sistematik hatanın varlığından şüphe edildiği, ya da hassas olmayan ölçü aletlerinin kullanıldığı durumlarda, ölçüm hatalarının saptanmasında en uygun yol, olası en büyük hata değerinin alınmasıdır. Örneğin, en küçük bölümü $1mm$ olan bir metreyle ölçülen uzunluk için, olası en büyük hata $\Delta x = 0{,}5\ mm$ 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 fiziksel büyüklük hesaplanır. Bu durumda değişik büyüklüklerin ölçümünden gelecek hata paylarının sonuç üzerindeki bileşik etkisinin belirlenmesi gerekir. Böyle durumlarda hataların hesabında kullanılacak yöntemleri kısaca inceleyelim.

$r = f(x, y, z)$ bağıntısıyla verilen r fiziksel büyüklüğünün, x, y, z büyüklüklerinin ölçümüyle hesaplanacağını kabul edelim.

x, y ve z'nin ölçümünde olası en büyük hata sırasıyla $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ ise bu değerlerin r'nin değişimine 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. Pratik olmayan bu ifade aslında kısmi türevler şeklinde yazılabilir. Yani,

$$\Delta r = \left|\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right) \cdot \Delta x\right| + \left|\left(\frac{\partial f}{\partial y}\right) \cdot \Delta y\right| + \left|\left(\frac{\partial f}{\partial z}\right) \cdot \Delta z\right|$$

Yukarıdaki ifadenin uygulanması ile ilgili birkaç örnek aşağıda verilmiştir.

a. Toplama

$r = x + y$ şeklinde ise aşağıdaki gibi bulunur.

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

KURAL 1: Toplamdaki hata, hatalar toplamına eşittir.

b. Çıkarma

$r = x - y$ ise aşağıdaki gibi bulunur.

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

c. Çarpma

d.

$r = x \cdot y$ ise aşağıdaki gibi bulunur.

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

Eşitliğin her iki tarafını $r = x \cdot y$ bölersek aşağıdaki ifade bulunmuş olunur.

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

KURAL 2: r'deki hata oranı $\Delta r/r$, x ve y'deki hata oranları toplamına eşittir.

e. Bölme

$r = x/y$ ise,

$$\Delta r = \frac{|y \cdot \Delta x| + |x \cdot \Delta y|}{y^2} = \frac{\Delta x}{y} + r\frac{\Delta y}{y}$$

Her iki tarafı $r = x/y$'ye bölersek aşağıdaki ifade bulunur.

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

KURAL 3: Bölmede *r*'deki hata oranı, *x* ve *y*'deki hata oranları toplamına eşittir.

f. Üstel Fonksiyon

$r = x^n$ ise (n herhangi bir sayı)

$$\Delta r = nx^{n-1}\Delta x$$

$$\frac{\Delta r}{r} = n\frac{\Delta x}{x}$$

KURAL 4: *x*'in *n* inci kuvveti için hata oranı, *x*'in hata oranının *n* katıdır.

g. Trigonometrik fonksiyonlar

$r = Sin(x)$ ise;

$$\Delta r = Cos(x)\Delta x$$

bulunur. Trigonometrik fonksiyonlarda hata hesabında belki de en kolay yol bir trigonometri cetvelinden yararlanmaktır. Örneğin $x = 30^{\circ} \pm 1^{\circ}$ ise,

$$\Delta r = |Sin(x + \Delta x)| - Sin(x) = |Sin(31) - Sin(30)| = |0{,}515 - 0{,}500| = 0{,}15$$

bulunur ve sonuç, $r = 0{,}50 \pm 0{,}15$'dir.

Hata hesabı nasıl yapılır?

TD: Teorik Değer, DD: Deneysel Değer

Mutlak hata = $|\mathrm{TD} - \mathrm{DD}|$

Teoriden ne kadar uzak olduğumuzu gösterir.

Bağıl hata = $|\mathrm{TD} - \mathrm{DD}|/TD$

Mutlak hatanın teorik hataya ne kadar bağlı olduğunu gösterir.

Hata yüzdesi = $\%100 \cdot |\mathrm{TD} - \mathrm{DD}|/TD$

Güvenilir Sayılar

Deneylerde verilen sayısal sonuçlar ölçüm hassasiyetiyle uyumlu olmak zorundadır. 1 mm bölmeli bir cetvelle en çok 1 mm hassaslığında ölçüm yapılabilir. Örneğin, $32{,}2\ cm$ gibi bir ölçüm sonucu, ancak $32{,}15\ cm$ ile $32{,}25\ cm$ arasında değişebilir. Yani, ölçüm hassaslığı 1 mm büyüklüğündedir. Aynı cetvelle yapılan bir ölçümün $32{,}222\ cm$ olarak verilmesi yanlış olur, çünkü 1 mm bölmeli bir cetvelle böylesine hassas bir ölçüm yapılamaz.

Bazı hallerde birden fazla büyüklük farklı hassaslıklarda ölçülerek deney sonuçları hesaplanır. Örneğin, A ve B kenarları ölçülen bir dikdörtgenin alanının hesaplandığını düşünelim. A kenarı $0{,}01\ cm$ hassaslıkla ve B kenarı da $0{,}1\ cm$ bölmeli bir cetvelle ölçülerek,

$A = 5{,}34$ (3 güvenilir sayı)

$B = 124{,}2$ (4 güvenilir sayı)

bulunmuş olsun. Bu dikdörtgenin alanı, $S = A \cdot B = (5{,}34 \times 124{,}2) = 663{,}228\ cm^2$ olarak alınamaz. Bu sonuç yanlış olur, çünkü 3 güvenilir sayılı bir boyut ölçüm sonucu 6 güvenilir sayılı ölçümden daha çok güvenilir sayıyla belirlenemez. Bu örnek için A kenarı en çok 3 güvenilir sayılıdır ve çarpım için aşağıdaki gibi alınmalıdır.

$$S = 663\ cm^2$$

A ve B deki ölçüm hatalarına bakıldığında $A \cdot B$ çarpımındaki hata kolayca belirlenir. A'nın ölçüm hatası yaklaşık % 0,2 ve B'nin ölçüm hatası yaklaşık % 0,01'dır. $A \cdot B$ 'deki olası en büyük hata % 0,2 olacaktır.

$$\Delta S = 663\ \%\ 0{,}2 \approx 1$$

Bulunur ve sonuç

$$S = (663 \pm 1) cm^2$$

olarak alınır. Deneylerde sonuçlardaki hata sınırlarının belirlenmesi önemli bir husustur. 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 binde bir) hassaslıkla yapılan bir ölçüm 5 ya da 6 güvenilir sayılı olmalıdır.

Grafik Çizme ve Grafikten Yararlanma

Deney sonuçlarının grafiklerle verilmesi, pratik ve kolay oluşu nedeniyle hemen hemen her bilim dalında yaygın olarak kullanılır. Grafikler verilerin görselleştirilmesini sağlar. Bu sayede iki değişken arasındaki bağlantı rahatlıkla yorumlanabilir. Grafikler, her türlü bilgiyi, herkes tarafından kolaylıkla anlaşılacak şekilde vermelidir.

Deneysel olarak elde edilen verilere göre çizilen grafiğin fiziksel anlamını araştırma işlemine *grafik analizi* denir. Grafik analizinin önemli yararları şunlardır:

- Grafik, ölçülen büyüklükler arasında bir bağıntının bulunup bulunmadığını gösterir. Veri çizelgesinden bunu doğrudan görmek mümkün değildir.
- Ölçülen büyüklükler arasında bir bağıntı varsa, grafik yardımıyla bu büyüklükler arasındaki matematiksel bağıntı elde edilir.
- Değişkenler arasındaki bağıntı bulunmasa bile grafik yardımıyla değişkenlerin ölçülmeyen değerleri bulunabilir.

Grafik Çiziminde Başlıca Kurallar

Grafikten beklenen yararların sağlanabilmesi için grafik çiziminde aşağıdaki hususların dikkate alınması gerekir. Bu yapılmadığında grafikten yanlış bir bağıntı bulunabileceği gibi, çizen kişi dışındakiler grafiği analiz etmekte zorluk yaşayabilirler.

- Grafik kağıdına grafiğin adı yazılmalıdır. (Örnek: Konum – Zaman Grafiği)
- Öğrencinin adı ve tarih yazılmalıdır.
- Eksenlerin hangi büyüklüklere karşılık geldiği ve birimlerinin ne olduğu yazılmalıdır.
- Rakamlar kolayca okunabilir şekilde yerleştirilmelidir.
- Ölçeklendirme tüm grafiği kapsayacak şekilde yapılmalıdır.

1. Koordinat eksenlerinin seçimi ve işaretlenmesi

Zaman gibi bağımsız değişkenler yatay eksene (apsis) yerleştirilir. Serbest düşen cismin yüksekliği gibi bağımlı değişkenler ise dikey eksene (ordinat) yerleştirilir. Eksen başlıklarına, değişkenin adı ve parantez içinde birimi yazılır.

2. Ölçek seçimi

Ölçek seçimi keyfidir. Ölçek ve değişkenlerin başlangıç noktasının seçiminde aşağıdaki kurallara uyulmalıdır.

- Ölçekte, ölçülen büyüklüğün tam sayı değerleri gösterilmeli, tam sayıdan sonraki kesirli kısımlar gösterilmemelidir. Bu kurala uyulmadığında hem verilerin işaretlenmesinde hem de grafikten değer okunmasında güçlük çekilir.

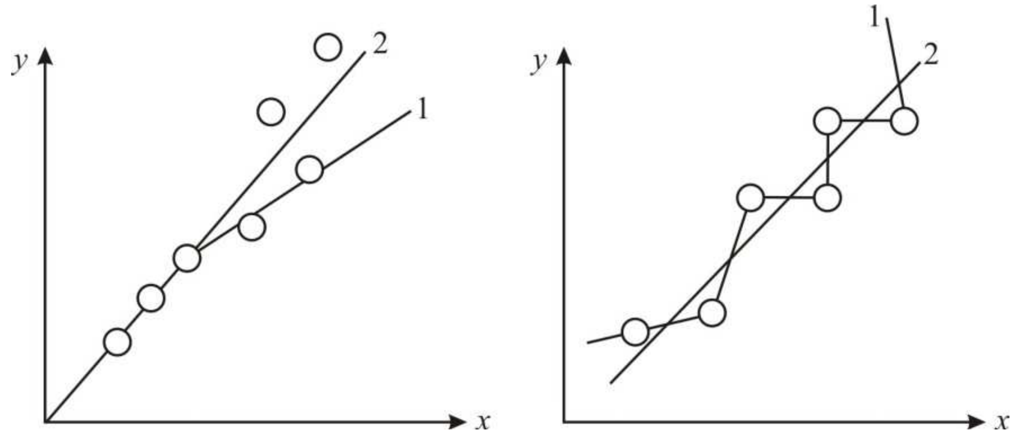
- Veriler çok büyük ya da çok küçük sayılardan oluşuyorsa; 10'un kuvvetleri seklinde yazılmalı ve ölçek seçimi buna göre yapılmalıdır. Grafik kağıdında üslü ifade parantez içinde değişkenin birimi ile birlikte yazılır. (Örnek: $t\ (x10^{-3}s)$)
- Karşılaşılan verilere bağlı olarak x ve y eksenlerine ait ölçek birimleri eşit olmayabilir.
- Bağımsız ve bağımlı değişkenlerin sıfır değerleri grafiğin orijininde bulunabileceği gibi genellikle değişkenlerden birinin ya da her ikisinin sıfır değeri orijinde bulunmayabilir.

3. Verilerin İşaretlenmesi

Veriler grafik üzerinde nokta olarak işaretlendikten sonra etrafı ölçüm hataları ile orantılı büyüklükte çember içine alınmalıdır. Grafiğin rahatlıkla okunabilmesi için, koordinatlara sadece belirlenen ölçek değerleri yazılmalı, deneyde ölçülen veri değerleri yazılmamalıdır. Grafikler mümkün olduğunca sade olmalı, grafiğe bakıldığında veriler rahatlıkla okunabilmelidir.

4. Grafiğin Çizilmesi

Veriler eksenlerin oluşturduğu grafik alanında belirlendikten sonra en uygun grafik çizilmelidir. Bu grafik bir doğru ya da bir eğri olabilir. Hataların pozitif ve negatif olma olasılıkları eşit olduğundan, ***grafik; mümkün olduğu kadar çok sayıda noktadan geçecek ve noktaları ortalayacak şekilde çizilmelidir***. Çizilen grafiğin tüm veri noktalarından geçmesi şartı yoktur. Şekil 2'de grafiğin nasıl çizileceği bazı örnekler üzerinde açıklanmıştır.



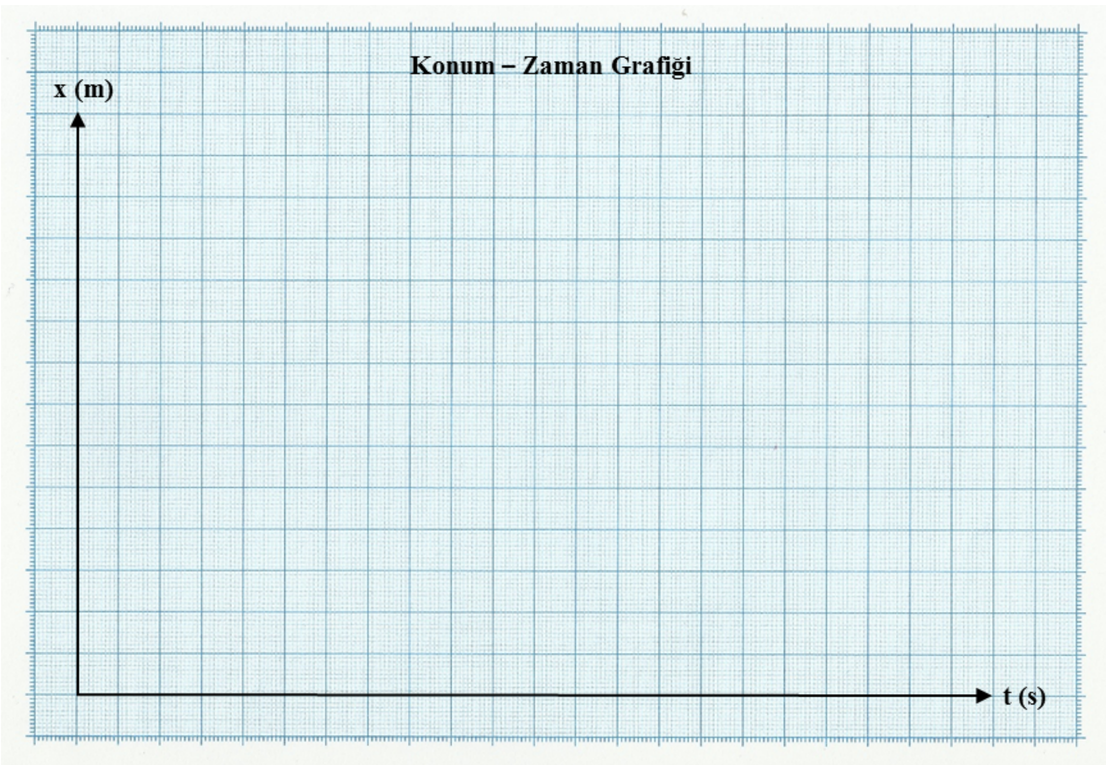
Şekil 2. Grafik Çizimi (1) yanlış çizimi; (2) doğru çizimi göstermektedir.

Verilen kuralları bir örnek üzerinde inceleyelim. Sabit hızla giden bir cismin zamana karşı konum verileri Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1. Konum-zaman ölçümleri

$t\ (s)$	$x\ (m)$
2	**2,0**
4	**2,3**
6	**3,0**
8	**3,2**
10	**3,7**

- Öncelikle, eksen takımı yerleştirilmelidir. Eksen takımı yerleştirilirken bağımsız değişkenin yatay eksende, bağımlı değişkenin dikey eksende gösterilmesine dikkat edilmelidir. Bu, evrensel olarak kabul görmüş bir uygulamadır.
- Her bir eksenin hangi fiziksel niceliğe karşılık geldiği gösterilmelidir. Örnekte olduğu gibi sembollerle veya “konum” ve “zaman” gibi isim olarak da ifade edilebilir.
- Eksen başlıkları eklendikten sonra parantez içinde mutlaka niceliğin birimi belirtilmelidir. Grafik başlığı da yazılmalıdır.



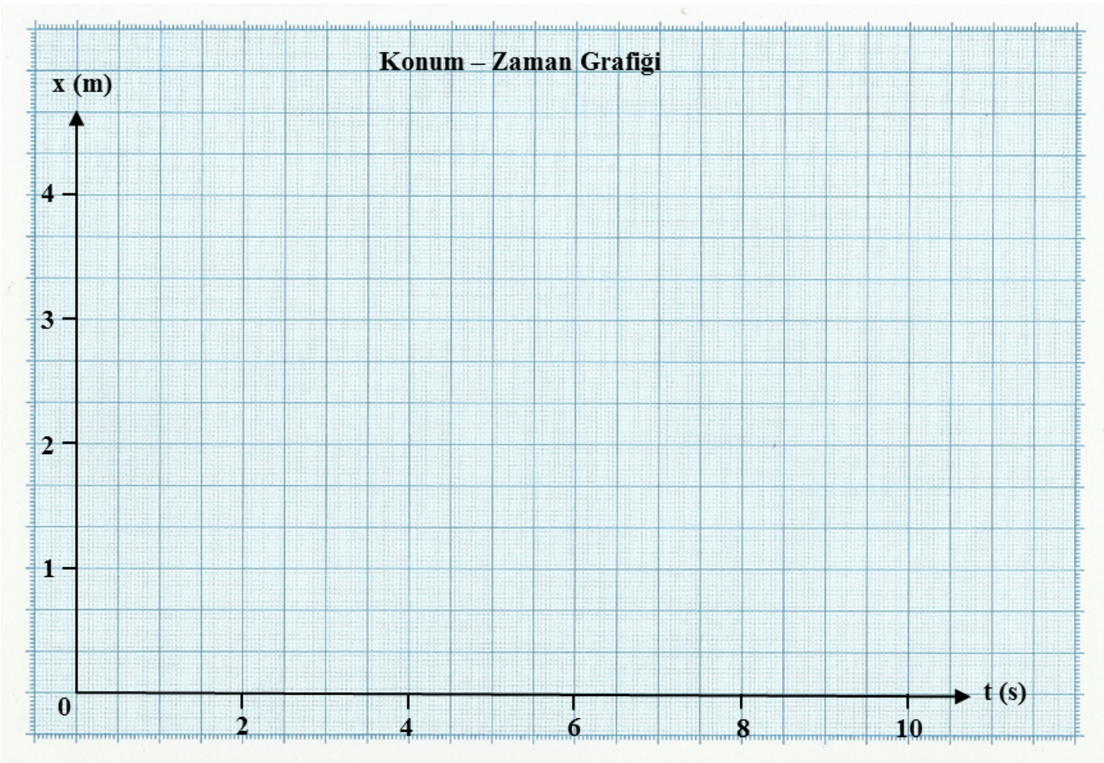
Grafik kâğıdı kenar uzunluğu 1 cm olan büyük kutucuk ve kenar uzunluğu 1 mm olan küçük kutucuklardan oluşmaktadır.

Ölçümden elde edilen verilere uygun bir ölçek belirlenmelidir. Burada dikkat edilecek husus, belirlenecek ölçeğin grafik kağıdından taşmamasıdır. Bunun için, öncelikle kaç tane kare kullanılacağına karar vermek gerekir. Örneğin, elimizde zaman değerleri için en büyük $10\ s$ dir. Zaman ekseni olan yatay eksende 20 büyük kutucuk kullanılabilir. Buna göre, 1 büyük kutucuk $0{,}5\ s$'ye karşılık gelir. Aynı zamanda 1 küçük kutucuk ise $0{,}05\ s$'ye karşılık gelir. Bu yatay eksen için belirlediğimiz ölçektir. konum değerleri için en büyük değer ise $3{,}8\ m$'dir. Dikey eksende ise 12 büyük kutucuk kullanılabilir, Bu değeri ölçek oluştururken kolaylık sağlaması açısından $4\ m$ olarak alabiliriz. Bu durumda, 1 büyük kutucuk $0{,}33\ m$'ye karşılık gelir, 1 küçük kutucuk ise $0{,}033\ m$'dir.

Önemli:

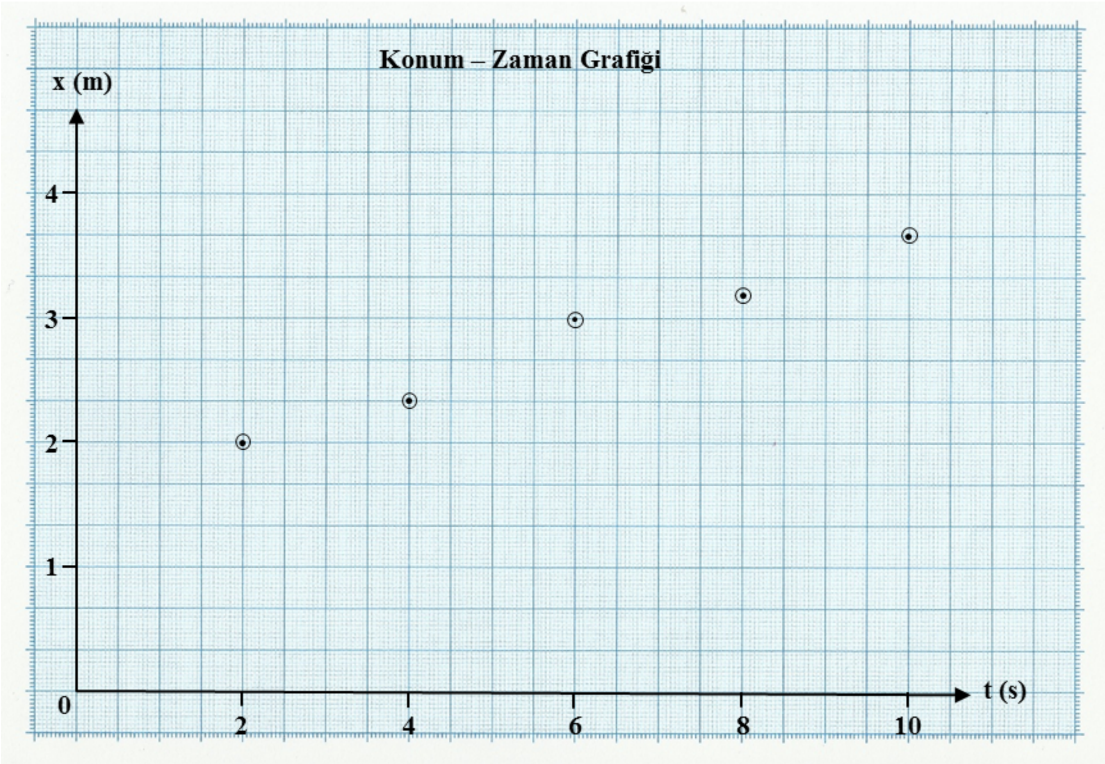
- Ölçeklendirme kişiye özeldir. Farklı ölçekler kullanmak mümkündür. Burada sadece bir örnek üzerinden gidiyoruz.
- Ölçeklendirme yaparken mümkün olduğunca kolay anlaşılabilir ölçekler kullanınız. Bu, hem verileri yerleştirirken işinizi kolaylaştıracak hem de okuyucunun daha rahat anlamasını sağlayacaktır.

Belirlediğimiz ölçek değerlerini eksenlere yerleştirdiğimizde aşağıdaki grafiği elde ederiz. Ölçeğimizi yerleştirirken eşit aralıklarla yerleştirmeliyiz.



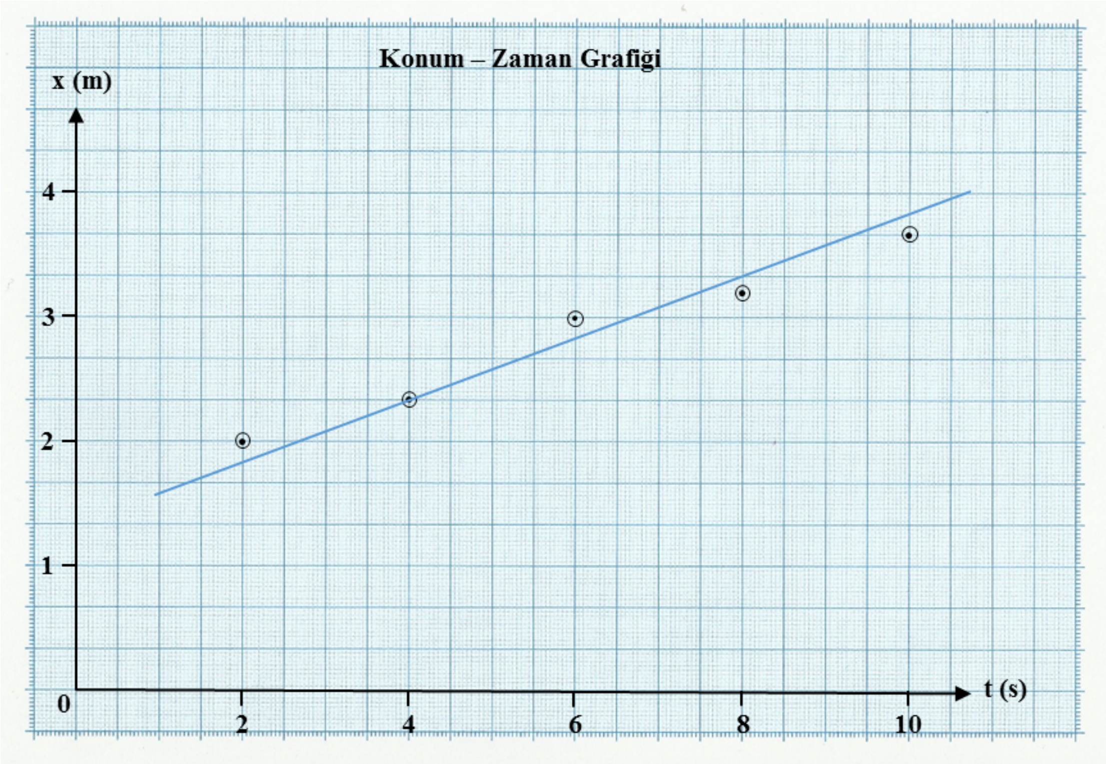
Ölçek belirlendikten sonra verileri yerleştirelim. Bunu yaparken veri değerlerini eksenlerde göstermeyiniz. Bu okuyucunun grafiği okumasını zorlaştıracaktır. Grafik mümkün olduğunca sade olmalıdır.

Belirlediğimiz ölçeği kullanarak her bir veriyi işaretlemeli ve ölçüm hatalarıyla orantılı büyüklükte çember içine almalıyız.

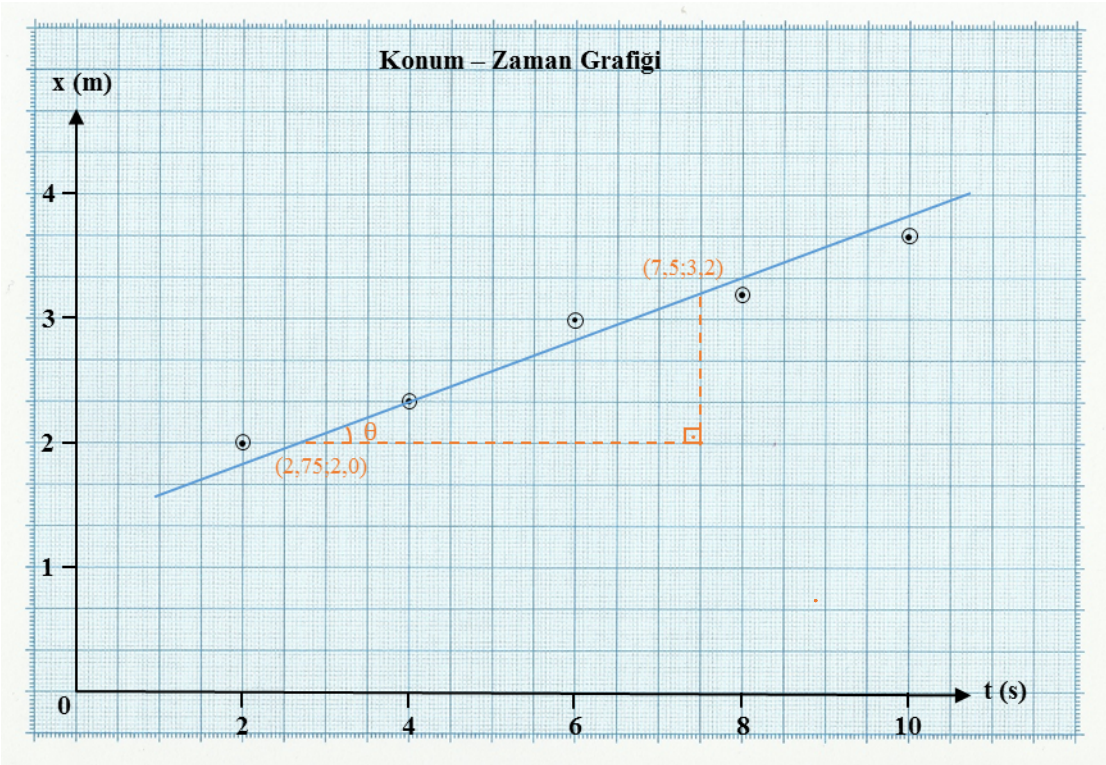


Veriler işaretlendikten sonra en uygun grafiği çizmelisiniz. Bu örnekte sabit hızlı hareket incelendiği için en uygun grafik, bir doğrudur. Bu doğru, tüm veri noktalarını ortalayacak şekilde çizilmelidir.

<u>Önemli</u>: Çizilen en uygun grafiğin orijinden geçme zorunluluğu yoktur.



Grafiği yorumlarken eğim bulmak bir anlam ifade edebilir. Örnekteki grafiğin eğimi bize hızı verecektir. Çizilen doğru hipotenüs olacak şekilde oluşturulacak bir dik üçgende eğim aşağıdaki gibi bulunabilir.



$$Eğim = tan\theta = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{(3{,}2 - 2{,}0)\ m}{(7{,}5 - 2{,}75)\ s} = 0{,}25\ m/s$$

Deney 1. Hata Hesabı

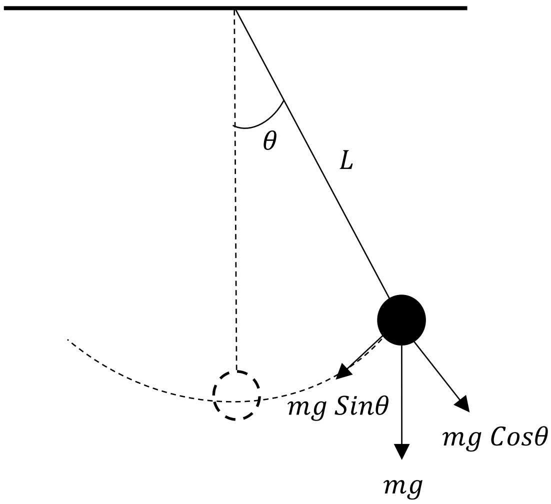
Deneyin Amacı: Hata hesabı yapılarak $\vec{g}$ yerçekimi ivmesinin bulunması.

Öğrenilecek Kavramlar: Basit sarkaç, Yerçekimi ivmesi, İstatistiksel hata, Sistematik hata

Deneyde Kullanılacak Malzemeler: İp, Kütle, Cetvel, Demir ayak

Teorik Bilgi:

Bir ucu sabit bir noktaya bağlanan ve diğer ucuna bir kütle bağlanarak oluşturulan sisteme basit sarkaç denir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Basit sarkaç sistemine ait şematik gösterim.

Hareketi boyunca kütleye

$$F = -mgSin\theta \tag{1.1}$$

kuvveti etki eder. $(-)$ işareti kuvvetin geri çağırıcı karakterde olduğunu gösterir, başka bir deyişle bu kuvvet kütleyi sürekli denge durumuna getirmeye çalışır ve yer değiştirmeye zıt yöndedir. Kütlenin hareket denklemi Newton hareket kanunlarından,

$$F = ma = m\frac{d^2x}{dt^2} = -mgSin\theta \tag{1.2}$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + gSin\theta = 0 \rightarrow \frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{L}Sin\theta = 0 \tag{1.3}$$

dır. Her ne kadar hareket basit olsa da, hareket denklemi 2. mertebeden lineer-olmayan bir diferansiyel denklemdir ve analitik çözümü yoktur! Ancak küçük yerdeğistirmeler durumunda, $Sin\theta \cong \theta$ yazabiliriz, bu durumda denklem sabit katsayılı 2. mertebeden bir diferansiyel denkleme dönüşür ve çözümü vardır:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2}+\frac{g}{L}\theta=0\rightarrow\theta(t)=Asin(\omega t+\varphi);\ \omega^2=\frac{g}{L} \tag{1.4}$$

Hareketin periyodu,

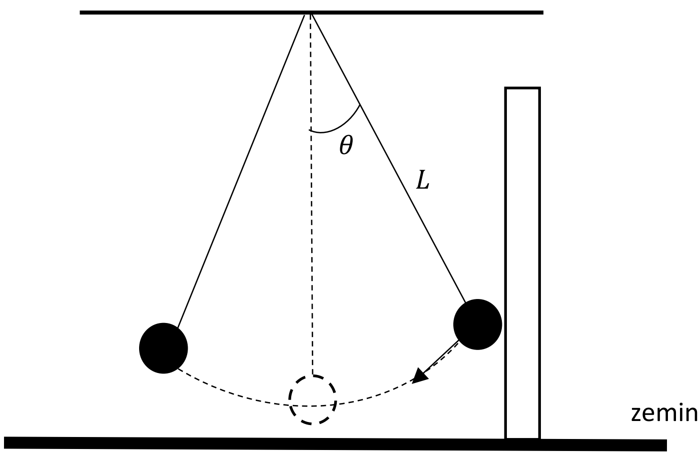
$$T=\frac{2\pi}{\omega}=\frac{2\pi}{\sqrt{g/L}}=2\pi\sqrt{L/g} \tag{1.5}$$

dır.

Önemli Not: Burada sunulan çözümün sadece denge konumundan küçük yerdeğiştirmeler için geçerli olduğunu unutmayınız. Deneyde sarkacınıza çok büyük açılarla salınım yaptırırsanız bu çözümler geçerli olmayacaktır!

Deneyin Yapılışı:

1. Demir ayak üzerine veya belirli bir yüksekliğe keyfi uzunluklu bir ipin bir ucu sabitlenir ve diğer ucuna kütle bağlanarak basit sarkaç oluşturulur.
2. Bir plastik cetveli sarkacın yan tarafında sabit olarak tutunuz ve kütleyi çekerek cetvel üzerinde belirlediğiniz bir yükseklikten serbest bırakınız (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Deney düzeneğinin şematik gösterimi.

3. Bu sırada kronometreyi başlatınız ve kütlenin 5 salınım yapması için geçen süreyi ölçünüz (Kütle bırakıldığı noktaya geldiğinde bir salınım yapmış olur ve 1 periyotluk süre geçer). Ölçtüğünüz süreyi Tablo 1.1'e kaydediniz.
4. Kütleyi durdurunuz ve ipin uzunluğunu ölçünüz (Ya aynı cetvel ile farklı kişiler ya da farklı cetveller ile aynı kişi ölçüm yapmalıdır.) Ölçtüğünüz uzunluğu Tablo 1.1'e kaydediniz
5. Yaptığınız işlemleri 9 kez tekrarlayınız ve tabloyu doldurunuz.

6. Ölçtüğünüz süreleri 5'e bölerek periyotları hesaplayınız. Daha sonra periyotların ve uzunlukların aritmetik ortalamasını hesaplayınız.

Tablo 1.1. Farklı salınımlar için geçen süre ve ip boylarına ilişkin tablo.

Ölçüm	**5 Salınım için geçen süre (s)**	**1 salınım için geçen süre, periyot T (s)**	**İpin boyu (cm)**
1.	t_1	T_1	L_1
2.	t_2	T_2	L_2
3.	t_3	T_3	L_3
4.	t_4	T_4	L_4
5.	t_5	T_5	L_5
6.	t_6	T_6	L_6
7.	t_7	T_7	L_7
8.	t_8	T_8	L_8
9.	t_9	T_9	L_9
10.	t_{10}	T_{10}	L_{10}
		Toplam $T = T_{top} =$	Toplam $L = L_{top} =$
		$\bar{T} = T_{ort} = T_{top}/10 =$	$\bar{L} = L_{ort} = L_{top}/10 =$

$T = 2\pi\sqrt{L/g}$ bağıntısının g çözülürse, $g = 4\pi^2 \frac{L_{ort}}{T_{ort}{}^2} = \cdots$

Periyot ve uzunluklar için ortalama sapmayı hesaplayınız, işlemlerinizi aşağıdaki tablolar üzerinden yapınız.

Tablo 1.3. Periyot ve periyot için sapma miktarına ilişkin tablo.

Ölçüm	**Periyot**	**Periyot için sapma**	
1.	T_1	$d_1 = T_1 - T =$	$\lvert d_1 \rvert =$
2.	T_2	$d_2 = T_2 - T =$	$\lvert d_2 \rvert =$
3.	T_3	$d_3 = T_3 - T =$	$\lvert d_3 \rvert =$
4.	T_4	$d_4 = T_4 - T =$	$\lvert d_4 \rvert =$
5.	T_5	$d_5 = T_5 - T =$	$\lvert d_5 \rvert =$
6.	T_6	$d_6 = T_6 - T =$	$\lvert d_6 \rvert =$
7.	T_7	$d_7 = T_7 - T =$	$\lvert d_7 \rvert =$
8.	T_8	$d_8 = T_8 - T =$	$\lvert d_8 \rvert =$
9.	T_9	$d_9 = T_9 - T =$	$\lvert d_9 \rvert =$
10.	T_{10}	$d_{10} = T_{10} - T =$	$\lvert d_{10} \rvert =$
			Toplam=
		Periyottaki hata $\Delta T = \Delta d = \bar{d} = Toplam/10 =$	

Tablo 1.2. İpin boyu ve ipin boyu için sapma miktarını ilişkin tablo.

Ölçüm	**İpin Boyu**	**Uzunluk için sapma**	
1.	L_1	$d_1 = L_1 - L =$	$\lvert d_1 \rvert =$
2.	L_2	$d_2 = L_2 - L =$	$\lvert d_2 \rvert =$
3.	L_3	$d_3 = L - L =$	$\lvert d_3 \rvert =$
4.	L_4	$d_4 = L_4 - L =$	$\lvert d_4 \rvert =$
5.	L_5	$d_5 = L_5 - L =$	$\lvert d_5 \rvert =$
6.	L_6	$d_6 = L_6 - L =$	$\lvert d_6 \rvert =$
7.	L_7	$d_7 = L_7 - L =$	$\lvert d_7 \rvert =$
8.	L_8	$d_8 = L_8 - L =$	$\lvert d_8 \rvert =$
9.	L_9	$d_9 = L_9 - L =$	$\lvert d_9 \rvert =$
10.	L_{10}	$d_{10} = L_{10} - L =$	$\lvert d_{10} \rvert =$
			Toplam=
		Uzunluktaki hata $\Delta L = \Delta d = \bar{d} = Toplam/10 =$	

$T = 2\pi\sqrt{L/g}$ bağıntısından hata hesabı yaparak (kitapçığınızın giriş kısmındaki **KURAL 3** ve **KURAL 4** birleştirilerek.)

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{1}{2}\left(\frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta g}{g}\right) \tag{1.6}$$

bulunur. Bu ifadeyi düzenleyerek, nicelikler için ortalama değerleri kullanarak ve periyot ile uzunluk için yukarıdaki tablolarda hesaplamış olduğunuz hata değerlerini yerine yazarak g'yi bulurken yaptığınız hatayı (Δg) hesaplayınız:

$$\frac{\Delta g}{g_{ort}} = 2\frac{\Delta T}{T_{ort}} - \frac{\Delta L}{L_{ort}} = \cdots$$

Yer çekimi ivmesi için ortalama değeri ve hata değerini yan yana yazarak sonucunuzu ifade ediniz:

$$g = g_{ort} \pm \Delta g = \cdots$$

Deney 2. Düzgün Doğrusal Hareket ve Sabit İvmeli Hareket

Deneyin Amacı: Düzgün doğrusal ve sabit ivmeli harekette yerdeğiştirmenin zamana bağlı değişimini incelemek.

Öğrenilecek Kavramlar: Newton'un hareket kanunları, Kuvvet, İvme

Deneyde Kullanılacak Malzemeler: Hava rayı deney düzeneği Cetvel, Kronometre, Farklı kütleler

Ön Hazırlık Soruları:

1. Korunumlu ve korunumsuz kuvvet ne demektir? Örneklerle açıklayınız.
2. Sürtünme kuvvetinin günlük hayatta avantaj ve dezavantajları nelerdir?

A) Düzgün Doğrusal Hareket

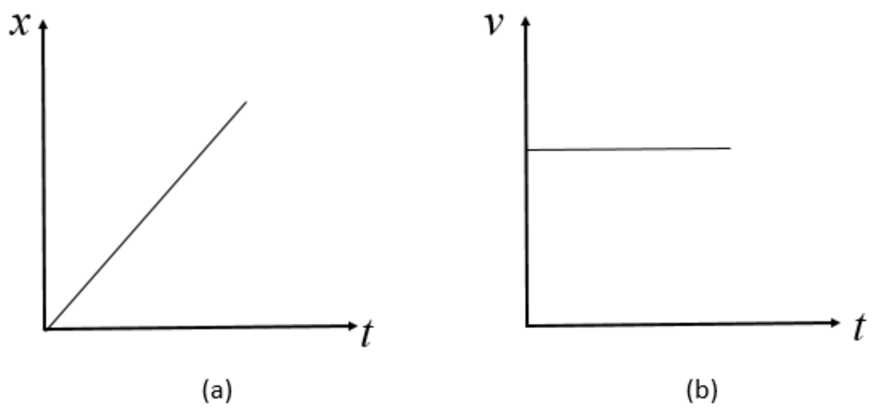
Teorik Bilgi:

Bir cisim doğrusal bir yörünge üzerinde sabit bir hızla hareket ediyorsa, düzgün doğrusal hareket yapar. Cisim eşit zaman aralıklarında eşit yollar alır ve hızı zamanla değişmez. Yerdeğiştirme ($\vec{x}$), hız ($\vec{v}$) ve zaman (*t*) arasında,

$$x_s = x_i + v_{xi}t + \frac{1}{2}a_x t^2 \tag{2.1}$$

$$\vec{x} = \vec{v}t \tag{2.2}$$

ilişkisi vardır. $\vec{x} - t$ grafiği ve $\vec{v} - t$ grafiği Şekil 2.1(a), Şekil 2.1(b)'de gösterilmiştir. Görüleceği gibi, $\vec{x} - t$ grafiğinin eğimi cismin hızına eşittir.

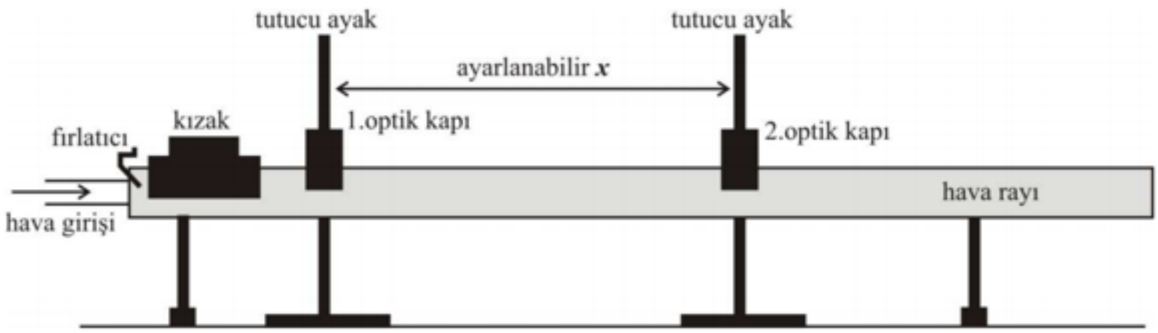


Şekil 2.1. Düzgün doğrusal harekette **a)** yerdeğiştirmenin zamana bağlı değişimi, **b)** hızın zamana bağlı değişimi.

Hava Rayı ile Düzgün Doğrusal Hareketin İncelenmesi

Hava Rayı Sistemi (Şekil 2.2), basınçlı bir hava pompası, üzerinde kızakların hemen hemen sürtünmesiz olarak kayabildiği bir raydan ve kronometreye bağlı iki optik kapıdan oluşur. Rayın altında yataylığı sağlayan ayar vidaları, üstünde de hava delikleri vardır. Basınçlı hava pompasından gelen hava bu deliklerden çıkarak bir hava yastığı oluşturur ve ray üzerinde hareket eden kızakla ray arasındaki sürtünmeyi en aza indirir, ideal durumda sürtünme sıfırdır.

Ray üzerine, kızağın belirli bir yolu ne kadar zamanda aldığını ölçmek için iki tane optik kapı yerleştirilir. Kızak bu optik kapıların ilkinden geçtiği anda kronometre saymaya başlar ve kızak ikinci optik kapıyı geçtikten sonra da kronometre durur. Böylece kızağın, belli bir x mesafesini ne kadar sürede aldığı ölçülür. O zaman, yer değiştirme ve zaman bilindiğine göre, cismin hareketi sorgulanabilir, $\vec{x}-t$ grafiği çizilerek analiz edilebilir.



Şekil 2.2. Düzgün doğrusal hareket için Hava Rayı Deney Sistemi

Deney sırasında dikkat edilecek noktalar:

1. Hava pompası kapalıyken kızağı ray üzerinde hareket ettirmeyiniz.
2. Rayın ayaklarındaki ayarlı vidaları kullanarak hava rayının yatay olmasını sağlayınız. Bunun için hava pompasını açınız, kızağı rayın ortasına bir yere bırakınız. Ray yatay olduğunda kızak sağa sola hareket etmeyecektir.
3. Ölçümler sırasında hava rayının sarsılmamasına dikkat ediniz.
4. Tekrar eden ölçümler durumunda, kızağı hemen hemen aynı şekilde bırakmanız, daha iyi sonuçlar elde etmenizi sağlayacaktır.

Deneyin Yapılışı

1. Hava rayını, ayar vidalarını kullanarak yatay olarak hizalayınız. Rayın yataylığını iyi yapmışsanız, kızak ray üzerinde sabit hızla hareket edecektir.
2. Optik kapılar arasındaki mesafeyi **20 cm** olarak ayarlayınız.

3. Kızağı ray üzerinde hava pompasının olduğu uca yerleştiriniz.
4. Kızağı tekrar hava pompasının olduğu uca getiriniz. Kızağı üst kenarından tutunuz fırlatıcının lastiği ilk seferde olduğu gibi gererek kızağı bırakınız. Bu sayede kızağa bir ilk hız vermiş olursunuz.
5. Kronometreyi sıfırlayınız. Kronometreden ölçtüğünüz zaman değerini aşağıdaki tablo 2.1'e kaydediniz. Her bir ölçümü üç kere tekrarlayınız.

Tablo 2.1. Alınan mesafeye göre konum – zaman değerleri tablosu

	x_1 = 20 cm	**x_2 = 30 cm**	**x_3 = 40 cm**	**x_4 = 50 cm**	**x_5 = 60 cm**
$\boldsymbol{t_1\ (ms)}$					
$\boldsymbol{t_2\ (ms)}$					
$\boldsymbol{t_3\ (ms)}$					
$\boldsymbol{Toplam = t_1 + t_2 + t_3}$					
$\boldsymbol{t_{ort} = Toplam/3}$					

6. Her bir mesafe için ölçümleri tekrarlayınız.
7. Bütün mesafeler için ortalama süreyi hesaplayarak tablo 2.1'e kaydediniz.
8. Hesaplanan ortalama zamanları kullanarak $\vec{x} - t_{ort}$ grafiğini çiziniz.
   a) Grafik doğrusal çıkıyor mu? Sonucunuzu yorumlayınız.
   b) Çizdiğiniz grafikten yararlanarak kızağın hızını hesaplayınız.

B) Sabit İvmeli Hareket

Teorik Bilgi:

Cisim üzerine sabit bir dış kuvvet uygulanıyorsa, cisim sabit ivmeli hareket yapar. Newton'un II. Hareket kanunundan, bu ivme cismin kütlesi ile ters, uygulanan kuvvet ile doğru orantılıdır:

$$\vec{F} = m\vec{a} = m\frac{d\vec{v}}{dt} = m\frac{d^2\vec{x}}{dt^2} \tag{2.3}$$

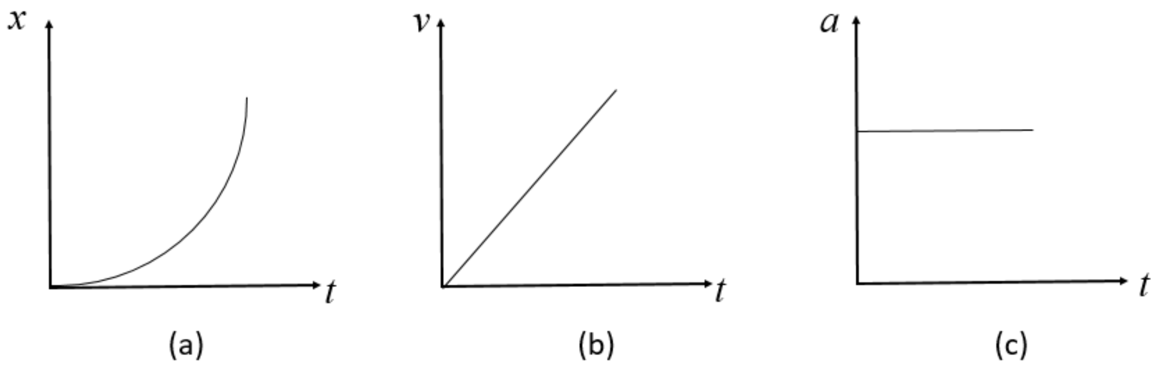
Hızı eşit zaman aralıklarında eşit miktarda artar. Durgun halden ve sıfır noktasından harekete başlayan bir cisim için, yerdeğiştirme $(\vec{x})$, ivme $(\vec{a})$ ve zaman (t) arasında

$$\vec{x} = \frac{1}{2}\vec{a}t^2 \tag{2.4}$$

ilişkisi vardır. Diğer taraftan, hız $(\vec{v})$, ivme $(\vec{a})$ ve zaman (t) arasında

$$\vec{v} = \frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{a}t \tag{2.5}$$

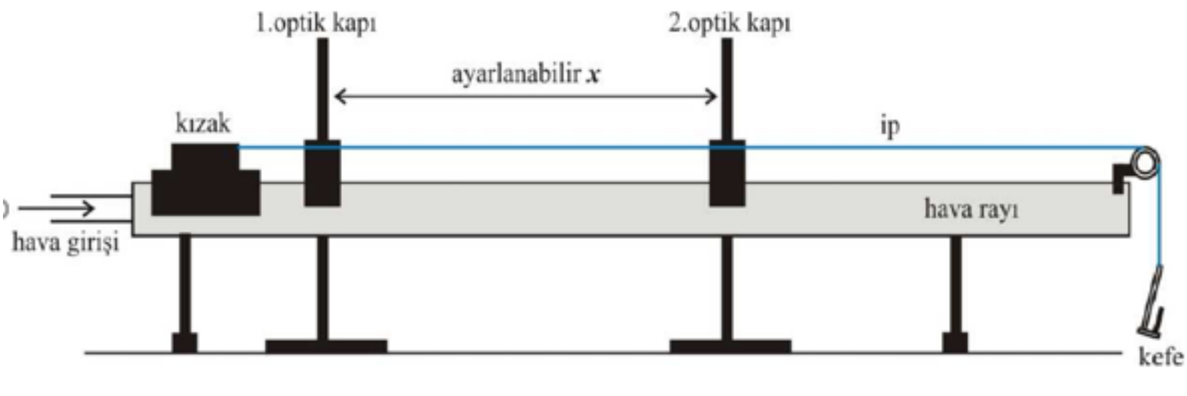
ilişkisi vardır. Cismin yerdeğiştirmesinde oluşan değişim hızı, hızda oluşan değişim de ivmeyi oluşturur. Cismin hızında bir değişim yoksa ivmeden, yerdeğiştirmesinde bir değişim yoksa da hızdan bahsetmek anlamsızdır. Sabit ivmeli hareket yapan bir cisim için $\vec{x} - t$ grafiği, $\vec{v} - t$ grafiği ve $\vec{a} - t$ grafiği Şekil 2.3(a), Şekil 2.3(b) ve Şekil 2.3(c)'de gösterilmiştir. Görüleceği gibi, $\vec{v} - t$ grafiğinin eğimi cismin ivmesine eşittir.



Şekil 2.3. Sabit ivmeli harekette **a)** yerdeğiştirmenin, **b)** hızın, **c)** ivmenin zamana bağlı değişimi

Hava Rayı ile Sabit İvmeli Hareketin İncelenmesi

Sabit ivmeli harekette kullanılan hava rayı sisteminin düzeneği Şekil 2.4'de görülmektedir.



Şekil 2.4. Sabit ivmeli hareket için Hava rayı deney sistemi

Ray üzerine, kızağın belirli bir yolu ne kadar zamanda aldığını ölçmek için iki tane optik kapı yerleştirilir. Kızak bu optik kapıların ilkinden geçtiği anda kronometre saymaya başlar ve kızak ikinci optik kapıyı geçtikten sonra da kronometre durur. Böylece kızağın, belli bir ***x*** mesafesini ne kadar sürede aldığı ölçülür. O zaman, yer değiştirme ve zaman bilindiğine göre, cismin hareketi analiz edilebilir.

Deneyin Yapılışı

A. Yer değiştirme-zaman ilişkisi

1. Hava rayını, ayar vidalarını kullanarak yatay olarak hizalayınız. Rayın yataylığını iyi yapmışsanız, kızak ray üzerinde sabit hızla hareket edecektir.
2. Optik kapılar arasındaki mesafeyi **20 cm** olarak ayarlayınız.
3. Kızağı ray üzerinde hava pompasının olduğu uca yerleştiriniz.
4. Ucuna kefe bağlı olan ipi makaradan geçiriniz.
5. Kızağı üst kenarından tutarak kefeye **40 g** kütle takınız ve ipin gergin olmasını sağlayınız.
6. Kronometreyi sıfırlayınız. Kızağı bırakınız ve kronometreden ölçtüğünüz zaman değerini aşağıdaki tabloya kaydediniz.
7. Kızağı hava pompasından tarafa geri alınız ve her defasında kronometreyi ***RESET*** anahtarı yardımıyla sıfırlayarak 2 kez daha zaman ölçümü yapınız, değerlerinizi tabloya kaydediniz.

Tablo 2.2. Alınan mesafeye göre konum – zaman değerleri tablosu

	$x_1 = 20$ *cm*	$x_2 = 30$ *cm*	$x_3 = 40$ *cm*	$x_4 = 50$ *cm*	$x_5 = 60$ *cm*
$t_1\ (ms)$					
$t_2\ (ms)$					
$t_3\ (ms)$					
$Toplam = t_1 + t_2 + t_3$					
$t_{ort} = {Toplam}/{3}$					
t_{ort}^2					

8. Her bir mesafe için ölçümleri tekrarlayınız ve kronometreden ölçtüğünüz zaman değerlerini tabloya kaydediniz.
9. Bütün mesafeler için ortalama zamanı ve karesini hesaplayarak Tablo 2.2'ye kaydediniz.
10. $\vec{x} - t_{ort}$ grafiğini çiziniz. Cismin ne tür bir hareket yaptığını tespit ediniz ve yorumlayınız.
11. $\vec{x} - t_{ort}^2$ grafiğini çiziniz.

a) Grafik bir doğrusal çıkıyor mu?

b) Grafiğin eğimini alarak kızağın ivmesini hesaplayınız.

B. Kuvvet-ivme ilişkisi

1. Optik kapılar arasındaki mesafeyi **50 cm** olarak ayarlayınız.
2. Kefeye Tablo 2.3'te verilen kütleleri takarak, kronometre yardımıyla zamanları ölçünüz ve tabloya kaydediniz.
3. Toplam ve ortalama zamanları hesaplayınız.

$$\vec{F} = m_{kefe}\vec{g} = m_{kızak}\vec{a} \tag{2,6}$$

$$\vec{a} = \left(\frac{m_{kefe}}{m_{kızak}}\right)\vec{g} \tag{2.7}$$

4. Denklem 2.6 ve Denklem 2.7'den faydalanarak cismin ivmesini hesaplayınız ve Tablo 2.3'e kaydediniz. m_{kefe}, taktığınız kütle ile tutucunun kütlesinin toplamına eşittir, tutucu **5 g** dır.

Tablo 2.3. Kütle değişimine göre hesaplanacak değerlerin tablosu

	m₁ = 20 g	***m₂ = 30 g***	***m₃ = 40 g***	***m₄ = 50 g***	***m₅ = 60 g***
t_1 (ms)					
t_2 (ms)					
t_3 (ms)					
Toplam = $t_1 + t_2 + t_3$					
t_{ort} =Toplam/3					
t_{ort}^2					
İvme, $\vec{a}$					
$\vec{x} = \frac{1}{2}\vec{a}t^2$					

5. Kefeye taktığınız kütleler arttıkça kızağın ivmesi nasıl değişiyor, açıklayınız.
6. Kefeye taktığınız kütleler arttıkça kızağın ***x*** yolunu kat etme süresi nasıl değişiyor, açıklayınız.
7. İvme ve ölçtüğünüz süreleri kullanarak hesapladığınız ***x*** değerleri **50 cm** değerini sağlıyor mu? Hatalarınızın nerelerden kaynaklanabileceğini ifade ediniz.

Deney 3. Serbest Düşme

Deneyin Amacı: Serbest düşme hareketinin incelenmesi.

Öğrenilecek Kavramlar: Yerçekimi ivmesi.

Deneyde Kullanılacak Malzemeler: Serbest Düşme Deney Düzeneği, farklı kütlelerde iki adet çelik bilye, cetvel.

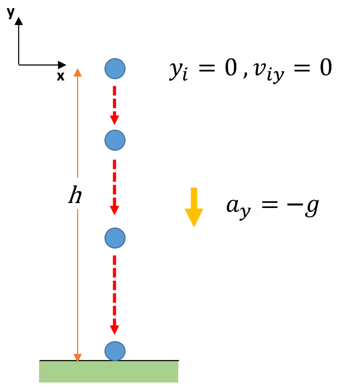
Ön Hazırlık Soruları: Serbest düşen cisimler için;

1. İvme sabit midir?
2. İvme sabitse, değeri nedir? Tüm cisimler için aynı mı yoksa nesnenin boyutuna kütlesine göre değişir mi?
3. İvme sabit değilse, zamanla nasıl değişir?
4. Enerji korunur mu?

Teorik Bilgi:

Hava sürtünmesinin olmadığı durumlarda, dünya yüzeyine yakın bir noktadan serbest bırakılan cisimler boyutlarından ve ağırlıklarından bağımsız olarak dünyanın kütlesel çekim alanı etkisiyle **aynı ivme** ile düşerler. Cismin serbest bırakıldığı yükseklik, dünyanın yarıçapına kıyasla küçükse ve dünyanın dönmesinden kaynaklanan etkiler göz ardı edilirse ivme sabittir. Ağırlığı ne olursa olsun hava sürtünmesinin olmadığı bir ortamda aynı yükseklikten ilk hızsız olarak bırakılan tüm cisimler eşit sürelerde dünya yüzeyine düşerler.

Sabit ivmeli hareket için; alınan yol Denklem (3.1), zamana bağlı hız Denklem (3.2), ve zamandan bağımsız hız Denklem (3.3)'te verilmektedir. Bu denklemlerde $a_y = -g$ alınarak serbest düşen bir cisim için hareket denklemleri elde edilir.



$$y_s = y_i + v_{iy}t + \frac{1}{2}a_y t^2 \tag{3.1}$$

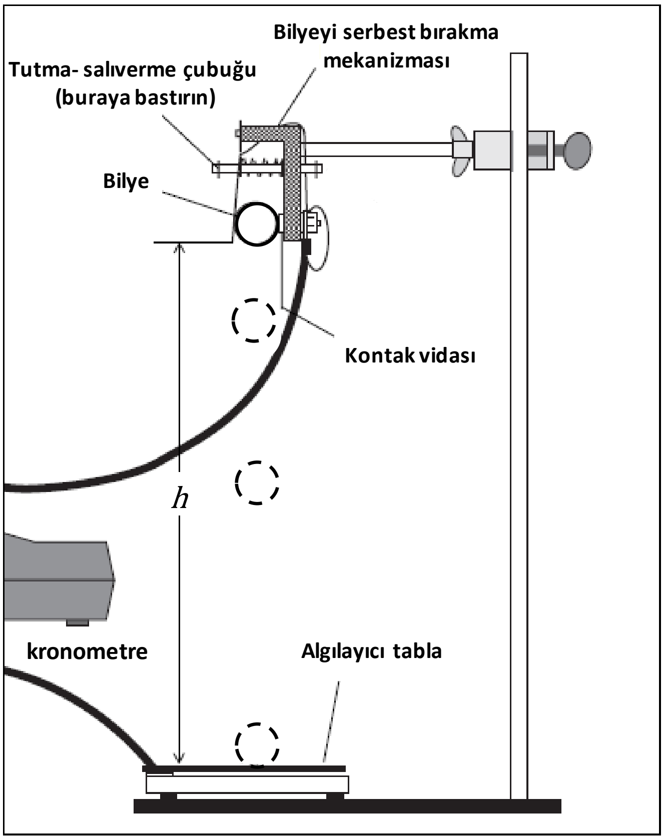
$$v_y = v_{iy} + a_y t \tag{3.2}$$

$$v_y{}^2 = v_{iy}{}^2 + 2a_y(y_s - y_i) \tag{3.3}$$

Şekil 3.1. Serbest Düşme hareketi

Deneyin Yapılışı:

Deneyde iki farklı kütleye sahip bilye kullanılarak, farklı yükseklikler için bilyelerin düşme süreleri ölçülecektir. Serbest düşme deneyi düzeneği Şekil.3.2'deki gibidir. Deneyden elde edilen veriler, m_1 kütlesi için Tablo 3.1, m_2 kütlesi için ise Tablo 3.2 de yerine yazılacaktır.



Şekil 3.2. Serbest Düşme deney setinin şematik gösterimi

1. Tabloda yer alan yükseklik değerini ayarlayıp, kronometrenin fişini prize takınız.
2. Bilyeyi, serbest bırakma mekanizmasına Şekil 3.2'deki gibi yerleştirip, tutma-salıverme çubuğuna bastırarak bilyeyi sabitleyiniz.
3. Kronometreyi açarak, "reset" düğmesine basınız. Algılayıcı tabla serbest düşen bilyenin tam altında olmalıdır.
4. Bilyeyi serbest bırakınız. Bilye algılayıcı tablanın tam ortasına düşmelidir. Düşmezse işlemleri tekrarlayınız.
5. Kronometrede yazan düşme süresini tabloda yerine yazınız. Aynı yükseklik için ölçümü 5 kez tekrarlayınız.
6. Tablodaki bütün yükseklikler için düşme sürelerini ölçüp Tablo 3.1'de yerine yazınız.
7. Yukarıdaki basamakları m_2 kütleli bilye için tekrarlayarak Tablo 3.2'de yerine yazınız.

Tablo 3.1. m_1 kütlesi için konum – zaman ölçüm değerleri tablosu

$\mathbf{h}$	$\mathbf{t_1(s)}$	$\mathbf{t_2}$	$\mathbf{t_3}$	$\mathbf{t_4}$	$\mathbf{t_5}$	$\mathbf{t_{ort}}$	$\mathbf{t_{ort}}^{\mathbf{2}}$
25 cm							
50 cm							
75 cm							
100 cm							
125 cm							
150 cm							

Tablo 3.2. m_2 kütlesi için konum - zaman ölçüm değerleri tablosu

$\mathbf{h}$	$\mathbf{t_1(s)}$	$\mathbf{t_2}$	$\mathbf{t_3}$	$\mathbf{t_4}$	$\mathbf{t_5}$	$\mathbf{t_{ort}}$	$\mathbf{t_{ort}}^{\mathbf{2}}$
25 cm							
50 cm							
75 cm							
100 cm							
125 cm							
150 cm							

a. Tablolardaki verileri kullanarak her bir bilye için h-t grafiğini çiziniz.

1. $h - t$ grafiğini inceleyerek cismin hızı ile ilgili yorum yapınız.

………

………

2. Aynı yükseklikten serbest bırakılan m_1 ve m_2 kütlelerinin düşme sürelerini karşılaştırınız.

………

………

b. Tablolardaki verileri kullanarak her bir bilye için $h - t^2$ grafiğini çiziniz.

1. $h - t^2$ grafiğini kullanarak yerçekimi ivmesini hesaplayınız.
2. Yerçekimi ivmesi nelere bağlıdır açıklayınız.

………

………

3. Yerçekimi ivmesi tüm nesneler için aynı mıdır? Neden?

…….................
....

4. Hata hesabı yöntemini kullanarak bulunan “ g ” yerçekimi ivmesinin hata yüzdesini hesaplayınız.
5. Bu deneyde başlıca hata kaynakları nelerdir? Ölçümlerinizdeki hataları ve hataların sonuçlarınızı nasıl etkilediği yazınız. Deneysel hataları azaltmak için neler yapabiliriz?

…….................
....

6. Elde ettiğimiz veriler yardımıyla bilyelerin düşmeden önceki enerjisi ile yere düştüğü andaki enerjisini hesaplayabiliriz. Bilyelerin yere düştüğü andaki hızını Denklem (3.2)’yi kullanarak hesaplayınız. Bilyenin kinetik ve potansiyel enerjisini her bir yükseklik için hesaplayarak Tablo 3.3’e yazınız.

Tablo 3.3. …………… kütlesine ait Enerji değerleri

$\boldsymbol{h}$	$\boldsymbol{t_{ort}}$	$(\boldsymbol{v = gt})$	$\boldsymbol{K = \frac{1}{2}mv^2}$	$\boldsymbol{U = mgh}$
25 cm				
50 cm				
75 cm				
100 cm				
125 cm				
150 cm				

a. Tablodaki enerji değerlerini inceleyin. Enerji korunuyor mu? Korunmuyorsa neden cevaplayınız

.

Deney 4. Eğik Atış

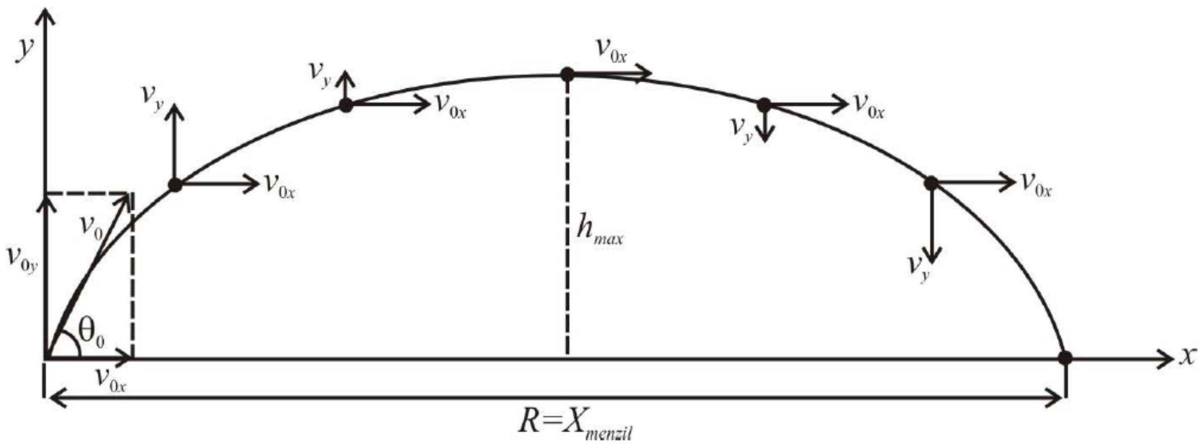
Deneyin Amacı: Eğik atış hareketinin incelenmesi.

Öğrenilecek Kavramlar: İki Boyutta hareket, Menzil, Maksimum yükseklik

Deneyde Kullanılacak Malzemeler: **E**ğik atış deney düzeneği, 19 mm çapında Çelik bilye, 1 metre cetvel, İz kâğıdı

Teorik Bilgi:

Eğik atış hareketi iki-boyutta hareket için en iyi örneklerden biridir. Cisim x-ekseninde sabit hızlı hareket yaparken, y-ekseninde sabit ivmeli hareket yapar. Cisim $t = 0$ anında θ açısıyla, v_i ilk hızıyla atıldığında parabolik bir yörüngenin üzerinde *şekil 4.1*'deki gibi hareket eder. Bu harekete eğik atış denildiği gibi parabolik hareket de denir.



Şekil 4.1. Noktasal parçacığın yerçekimi kuvveti etkisindeki iki boyutlu hareketi.

Cismin ilk hızı bileşenlerine aşağıdaki gibi ayrılabilir:

$$v_{ix} = v_i cos\theta_i \tag{4.1}$$

$$v_{iy} = v_i sin\theta_i \tag{4.2}$$

x-ekseninde cismin hızı zamanla sabit kalırken, y-ekseninde yer çekiminin etkisiyle zamanla değişir. Cisim tepe noktasına kadar yer çekiminin etkisiyle yavaşlar ve hızın y-bileşeni sıfır olur, daha sonra v_y tekrar artmaya başlar.

Cismin çıkabileceği maksimum yükseklik,

$$h_{max} = \frac{(v_{iy})^2}{2g} = \frac{(v_i sin\theta_i)^2}{2g} \tag{4.3}$$

ile belirlenebilir. Cismin tepe noktasına çıkış süresi $t_{çıkış}$ ile atıldığı seviyeye iniş süresi $t_{iniş}$ aynıdır ve ikisinin toplamı cismin uçuş süresini $t_{uçuş}$ verir:

$$t_{çıkış} = t_{iniş} = \frac{v_{iy}}{g} = \frac{v_i sin\theta_i}{g} \quad (4.4)$$

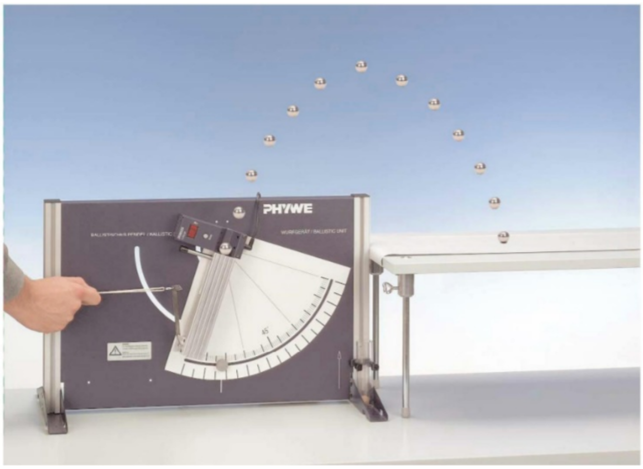
$$t_{uçuş} = 2t_{çıkış} = \frac{2v_i sin\theta_i}{g} \quad (4.5)$$

$$R = \frac{{v_i}^2 sin(2\theta_i)}{g} \quad (4.6)$$

Deneyin Yapılışı:

Bu deneyde eğik atış hareketinin menzili, maksimum yüksekliği, eğim açısı ve atış hızı arasındaki ilişkiler belirlenecektir. Bunun için, farklı özelliğe sahip bilyeler farklı hız ve açılarla iki boyutta hareket ettirilerek menzil, eğim açısı ve ilk hız ölçülecektir.

1. Şalteri açıp fişi prize takınız.
2. Deney düzeneği Şekil 4.2 de görüldüğü gibidir



Şekil 4.2. Deney düzeneği. Eğik atış deneyinde menzilin ölçülmesi.

3. Hareketi aynı düzlemde incelemek için, bir masa kullanılacaktır ve bu masayı bilyenin hareketinin x bileşeni yönü boyunca yerleştiriniz. Bilyenin düşeceği masa ile bilyenin çıkış noktası aynı yükseklikte olmalıdır.
4. Masanın üzerine karbon kağıdını iki uçtan bantlayarak sabitleyiniz.
5. Atış ünitesini 15°'ye ayarlayınız.
6. Fırlatıcı 3 farklı hız kademesine sahiptir. Bilyeyi fırlatma haznesi içindeki mıknatısın ortasına yerleştiriniz. Hız kademesini birinci seviyeye çekiniz.
7. Hız sensörünü, reset tuşuna basarak sıfırlayınız. Pimi çekerek topu fırlatınız.

8. Bilye, masa üzerindeki iz kağıdına düşmelidir. Masanın konumunu atış açısına göre ayarlayınız. Düştüğü noktayı işaretleyerek hangi açıda kaçıncı kademede olduğunu karbon kâğıt üzerine işaretleyiniz ve cetvel yardımıyla ölçünüz.
9. Hız sensöründe okuduğunuz değer bilyenin ilk hızıdır. Sensörde okuduğunuz v_i değerini ve kâğıttan ölçtüğünüz menzil değerini tablo 4.1'de yerine yazınız.
10. 6-9 arasındaki bütün adımları diğer iki hız kademesi için tekrarlayınız.

Tablo 4.1. Çelik bilye kullanılarak farklı açılara göre ölçülen hız ve menzil değerleri

Kademeye göre	$\boldsymbol{15^o}$	$\boldsymbol{30^o}$	$\boldsymbol{45^o}$	$\boldsymbol{60^o}$	$\boldsymbol{75^o}$
$\boldsymbol{v_1 (m/s)}$					
$\boldsymbol{v_2 (m/s)}$					
$\boldsymbol{v_3 (m/s)}$					
$\boldsymbol{R_1\ (m)}$					
$\boldsymbol{R_2\ (m)}$					
$\boldsymbol{R_3\ (m)}$					
$\boldsymbol{h_1}$					
$\boldsymbol{h_2}$					
$\boldsymbol{h_3}$					

11. Eğik atış hareketi için açı – menzil ilişkisini yorumlayınız.

………………………………………………………………………………………………………

……...

12. Menzilin en büyük değeri aldığı açı değeri nedir?

$\theta = \cdots$ … … … … … … … ….

13. Tablo 4.1'de yer alan değerleri için $R - \theta$ grafiğini çiziniz.
14. Tahta top kullanınız ve 30° için deneyi tekrarlayınız.

Tablo 4.2. Tahta bilye kullanılarak 30^o de alınan hız ve menzil değerleri.

	Birinci Kademe	**İkinci Kademe**	**Üçüncü Kademe**
$\boldsymbol{v\ (m/s)}$			
$\boldsymbol{R\ (m)}$			

15. Tablo 4.1'de yer alan değerleri için h_{max} - θ grafiğini çiziniz.

16. Birinci seviye için menzildeki hata yüzdesini hesaplayınız ve tablo4.3e kaydediniz.

Tablo 4.3. Birinci seviye için hesaplanan ve ölçülen değerler.

Ölçüm	$\mathbf{15^o}$	$\mathbf{30^o}$	$\mathbf{45^o}$	$\mathbf{60^o}$	$\mathbf{75^o}$
$\boldsymbol{R}$ $(\boldsymbol{m})$ **ölçülen**					
$\boldsymbol{R}$ $(\boldsymbol{m})$ **hesaplanan**					
R'nin hatası					

Deney masanızı ve sandalyeleri düzgün bir şekilde bırakarak laboratuvardan çıkınız.

Deney 5. Atwood Makinesi

Deneyin Amacı: Newton'un ikinci hareket kanunu Atwood Makinesi düzeneği ile incelenecektir.

Öğrenilecek Kavramlar: Newton hareket kanunları, Eğik düzlemde hareket, Kuvvet, kütle ve ivme, Yerçekimi ivmesi, Sistem ivmesi

Deneyde Kullanılacak Malzemeler: Hava Masası, Hava Kompresörü, Ark Kronometresi, Siyah Karbon Kağıt, Parşömen Kağıdı, 2 Adet Disk, 2 Adet Metal Halka, 2 Adet Makara, Tahta Takoz, İp / Misina, Cetvel

Ön Hazırlık Soruları:

1. Newton Kanunlarını açıklayınız.
2. Deneyde ölçülecek ve hesaplanacak parametreler nelerdir?
3. Sistem ve yerçekimi ivmelerini açıklayınız.

Teorik Bilgi:

Newton'un ikinci hareket kanununa göre bir cisim duruyorsa hareket ettirmek, hareket ediyorsa durdurmak ya da yavaşlatmak için net bir kuvvet uygulanmalıdır. Net kuvvet cisme etki eden kuvvetlerin vektörel toplamıdır. Kütlesi m olan duran bir cisme net bir kuvvet uygulandığında bu cisim ivmelenerek hareket eder ve kuvvetin ivmeye göre değişimi sabit bir sayıya (kütleye) eşittir:

$$\frac{\vec{F}_{net}}{\vec{a}} = m \tag{5.1}$$

Eğer hareket iki boyutta, xy-düzleminde, hareket ediyorsa her bir eksen için,

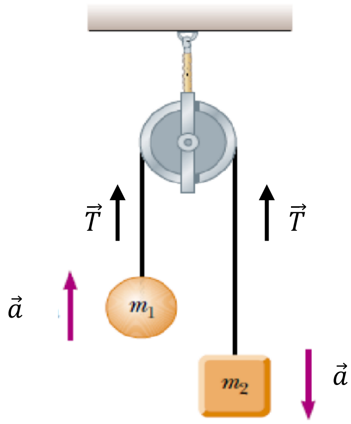
$$\sum F_x = m\, a_x \;\; ; \;\; \sum F_y = m\, a_y \tag{5.2}$$

şeklinde ifade edilir.

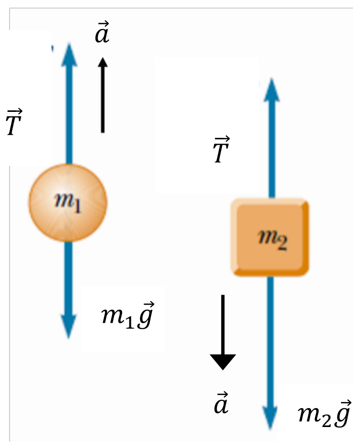
1784'de İngiliz matematikçi George Atwood hareket kanunlarını incelemek ve yerçekimini ölçmek için kendi soyadıyla anılan Atwood makinesinin icat etmiştir. Bu makine, hareket kanunlarını kullanarak, ağırlık kaldırmak için bugün bile kullanılan birçok makinanın temel çalışma prensibini ortaya koymaktadır.

Atwood makinası basit olarak sürtünmesiz ve kütlesi ihmal edilen bir makara ile bu makara etrafına dolanmış, yine kütlesi ihmal edilmiş bir ipin iki ucuna asılan kütlelerden oluşmaktadır.

Farklı büyüklükteki iki kütle m_1, m_2 ve $m_2 > m_1$ olmak üzere makarada durağan halden harekete geçtiğinde, $m_2$sabit bir ivme ile aşağıya doğru giderken m_1 kütlesi de aynı ivme ile yukarıya doğru hareket eder. **Şekil 5.1.** ve **Şekil 5.2.**’de $\vec{T}$ ipteki gerilme, kütlelerin ivmesi $\vec{a}$ ve yerçekimi ivmesi de $\vec{g}$ olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Basit makara (Atwood Makinası)



Şekil 5.2. Kütleler üzerine etkiyen kuvvetler

Hareket m_2g yönünde olduğundan $m_2\vec{g} > \vec{T}\ ve\ m_1\vec{g} < \vec{T}$ olarak ifade edildiğinde x-yönünde $\vec{F}_{net} = 0$ olduğundan x-yönünde bir hareket gözlenmez ve y-yönünde sistemin $\vec{a}$ ivmesiyle hareketi

$$m_2g - T_y = m_2a_y \tag{5.3}$$

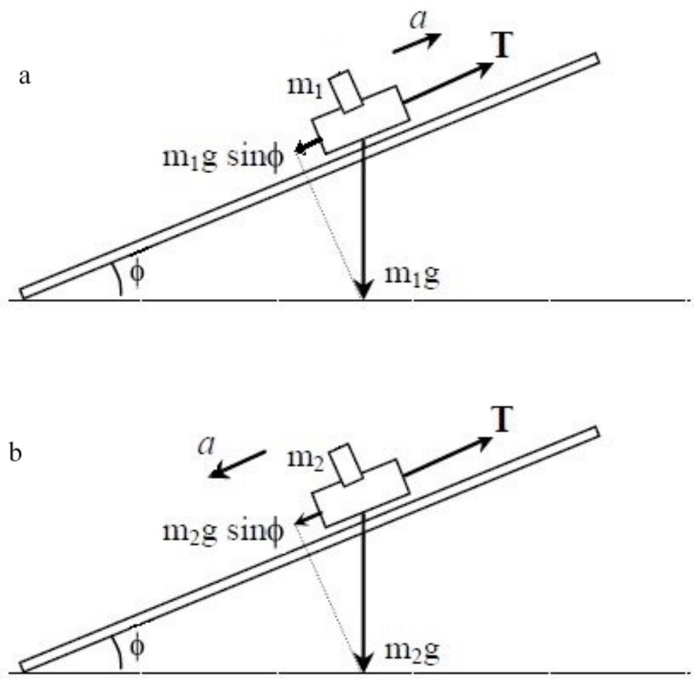
$$T_y - m_1g = m_1a_y \tag{5.4}$$

denklemleriyle ifade edilir. Sistem durağan halden harekete geçtiği ve ilk hızı sıfır olacağı için y-yönündeki hareket

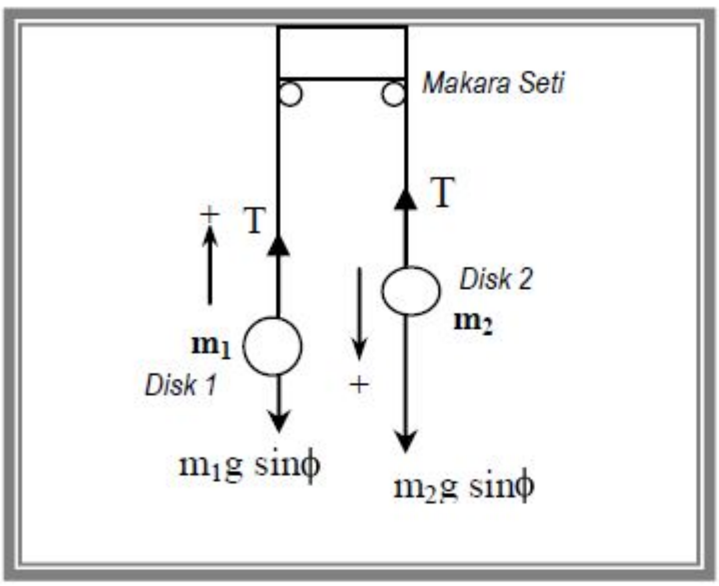
$$y = \frac{1}{2}a_yt^2 \tag{5.5}$$

olarak yazılır.

Deney düzeneğinde disklerin düşey hareketi için hava masasına ϕ derecelik bir eğim verilir ve bu ϕ açısının etkisiyle m_1 ve m_2 disklerine etkiyen kuvvetlerin gösterimi **Şekil 5.3.**'deki gibi olur.



Şekil 5.3. m_1 ve m_2 kütleli disklerin kuvvet diyagramları (yandan görünüm); a) m_1 kütlesinin yukarı yönlü b) m_2 kütlesinin aşağı yönlü hareketleri



Şekil 5.4. Hava masasında deney düzeneğinin ve etki eden kuvvetlerin üstten görünümü

Hava masasındaki eğimden dolayı (5.3) ve (5.4) denklemleri

$$m_2 g sin\ \phi - T = m_2 a \tag{5.6}$$

$$T - m_1 g \sin\phi = m_1 a \tag{5.7}$$

şeklinde yazılır ve alt alta toplanırsa $\vec{T}$ parametresi her iki denklemde de sadeleşir ve sistemin ivmesi

$$a = \frac{(m_2 - m_1) g\ sin\phi}{m_1 + m_2} \tag{5.8}$$

denklemi elde edilir. Burada bulunan ivme kullanılarak ipteki T gerilmesi de

$$T = \frac{2m_1\ m_2 g\ sin\phi}{(m_1 + m_2)} \tag{5.9}$$

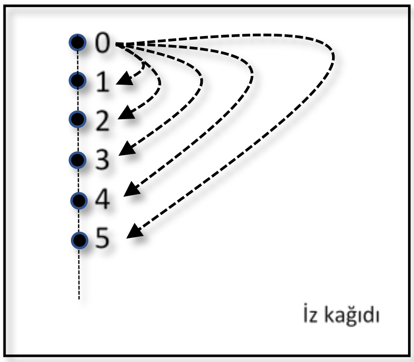
olarak bulunur.

Deneyin Yapılışı

1. Hava masasını yatay ve düşey düzlemde hizalamak için masanın ortasına disklerden birini koyup kompresörü çalıştırınız. Diskin ortada durmasını sağlayacak şekilde hava masasının yüksekliğini ayakların ucundaki vidaları sağa-sola çevirerek ayarlayınız.
2. Hava masasının üstündeki siyah karbon kağıdın üstüne parşömen kağıdı seriniz.
3. Hava masasına eğim vermek için arka ayağının altına takozu koyunuz.
4. Takozun eğimi ve disklerin ağırlıkları üstlerinde yazmaktadır.
5. **Şekil 5.4.**'de görüldüğü gibi ağır olan m_2 kütlesi sağ tarafa gelecek şekilde disklerin saplarındaki halkalara ip / misina bağlayarak makaralara asınız.
6. Kompresörü açtığınızda disklerin hareketi düşey eksende düz bir doğrultuda yukarı / aşağı hareket edene kadar deneme yapınız.
7. Ark kronometresinin t_{ark} değerini cihazın üzerindeki düğmeyi sağa / sola çevirerek istenen değere ayarlayınız ve bu değeri aşağıya yazınız.

   $\boldsymbol{t_{ark}}$: **………………...**

8. Kompresör açık halde, bir öğrenci diskleri kaymaması için tutarken, diğer öğrenci ark kronometresinin pedalına eliyle bastırır haldeyken diskleri serbest bırakınız.
9. Her iki diskin çıkardığı noktaların düz bir çizgi halinde olmalarına dikkat ediniz. Noktaların eşit mi yoksa farklı aralıklı mı olduğuna dikkat ederek disklerin ne tür bir hareket yapmış olabileceğini tartışınız.
10. Her iki disk için ilk noktayı 0 alarak diğer noktaları **Şekil 5.4.**'deki gibi numaralandırınız.



Şekil 5.5. İz kağıdındaki noktalar arası mesafelerin gösterimi (noktalar rastgele yerleştirilmiştir)

11. " 0-1, 0-2, 0-3, …" noktaları arasındaki mesafeleri ölçüp **Tablo 1**'deki $y\ (cm)$ kolonuna sırasıyla yazınız.
12. + y eksenini, m_2 kütlesinin hareketinin yönü olarak seçiniz.

Tablo 5.1. *Ölçüm ve hesaplamalar*

Nokta	$\mathbf{m_1}$			$\mathbf{m_2}$		
	$\mathbf{y\ (cm)}$	$\mathbf{t\ (s)}$	$\mathbf{t^2\ (s^2)}$	$\mathbf{y\ (cm)}$	$\mathbf{t\ (s)}$	$\mathbf{t^2\ (s^2)}$
0	0	0	0	0	0	0
$0-1$						
$0-2$						
$0-3$						
$0-4$						
$0-5$						
$0-6$						

13. Ark kronometresinde seçtiğiniz t_{ark} değerini kullanarak $t(s)$ ve t^2 (s^2) değerlerini hesaplayarak **Tablo 5.1.**'e yazınız.
14. Denklem (5.5)'i göz önüne alarak $y - t^2$ grafiğini çiziniz, grafiği kullanarak sistemin ivmesini hesaplayınız.
15. Denklem (5.8)'i kullanarak yerçekimi ivmesini (g) deneysel olarak hesaplayınız. Teorik değeri ile karşılaştırınız. Hata yüzdesini hesaplayınız. Sonuçları yorumlayınız.
16. Denklem (5.9)'u kullanarak T'yi hesaplayınız.

Deney 6: Çarpışmalar

Deneyin Amacı: İki-boyutlu harekette esnek ve esnek olmayan çarpışmaları incelemek. Çarpışma türüne bağlı olarak kinetik enerji ve momentum korunumunu irdelemek.

Öğrenilecek Kavramlar: Momentum, Kinetik Enerji, Momentum'un korunumu, Kinetik Enerji'nin Korunumu, 1-boyutta çarpışmalar, 2-boyutta çarpışmalar.

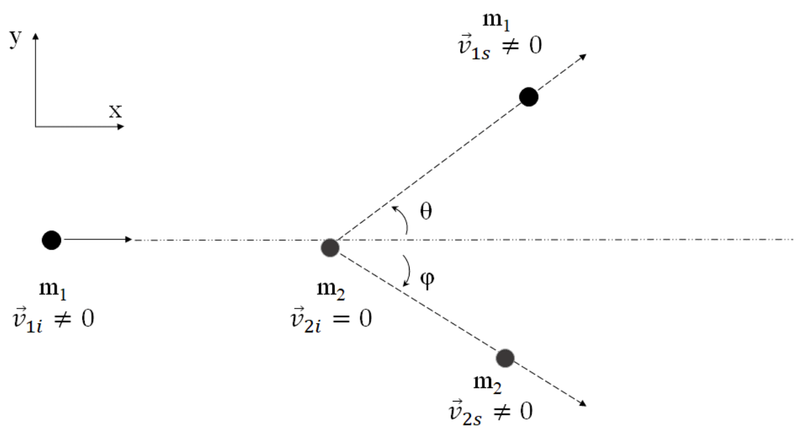
Deneyde Kullanılacak Malzemeler: Hava masası, 2 adet disk, 2 adet yapışkan (cırt cırt) bant, iz kağıdı.

Ön Çalışma Soruları

1. 1-boyutta ve 2-boyutta momentum ve kinetik enerji korunum denklemlerini ayrı ayrı formülize ediniz. Hangi tür çarpışmalarda momentum ve kinetik enerji nicelikleri korunmaz? Neden?

Teori:

Bilindiği gibi iki boyutta çarpışma hareketi en basit halde biri hareketli diğeri durgun halde iki kütle yardımıyla incelenir. Şekil 1'de 2-boyutlu hareket en basit haliyle gösterilmektedir.



Şekil 6.1. İki-boyutta çarpışma.

Buna göre, başlangıçta sıfırdan farklı bir hızla x-doğrultusunda ilerleyen m_1 kütlesi durgun haldeki m_2 kütlesine çarpar, çarpışmadan sonra m_1 ve m_2 kütleleri x-eksenine göre sırasıyla θ ve φ açılarıyla harekete devam ederler. Çarpışma tamamen esnek olmadığı sürece momentum korunur. Burada hareket iki-boyutlu ve momentum vektörel bir nicelik olduğu için çarpışmadan önce ve sonra momentum korunumu x ve y eksenlerinde ayrı ayrı incelenir (Denklem (6.1) ve (6.2)).

$$m_1 v_{1ix} = m_1 v_{1s} \cos\theta + m_2 v_{2s} \cos\varphi \qquad \text{(x-ekseni için momentum korunumu)} \qquad (6.1)$$

$$0 = m_1 v_{1s} \sin\theta - m_2 v_{2s} \sin\varphi \qquad \text{(y-ekseni için momentum korunumu)} \qquad (6.2)$$

Ancak kinetik enerji vektörel bir nicelik olmadığı için kütlelerin çarpışmadan önce ve sonra enerjiler eksenlere bağımlı olmaksızın direkt olarak hesaplanır.

$$\frac{1}{2} m_1 v_{1i}^2 = \frac{1}{2} m_1 v_{1s}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2s}^2 \qquad (6.3)$$

Esnek çarpışmalar söz konusu olduğunda, çarpışmadan önce ve sonra kinetik enerjiler birbirlerine eşittir. **Esnek olmayan çarpışmalarda** ise çarpışan kütlelerde geçici veya kalıcı şekil değişiklikleri meydana gelir ve sistemin başlangıçtaki kinetik enerjisinin bir kısmı bu şekil değişiklikleri esnasında harcanır. Bu yüzden sistemin çarpışmadan önceki kinetik enerjisi, çarpışmadan sonraki kinetik enerjisinden daima büyük olur.

$$\frac{1}{2}m_1 v_{1i}^2 > \frac{1}{2}m_1 v_{1s}^2 + \frac{1}{2}m_2 v_{2s}^2 \quad KE_i > KE_s \tag{6.4}$$

Çarpışmadan önceki ve sonraki enerji farkları kullanılarak çarpışmanın esnekliği (e) tanımlanır.

$$e = \frac{KE_i - KE_s}{KE_i} \tag{6.5}$$

Esneklik katsayısı, bir çarpışmanın esnekliğinin bir ölçüsüdür. Buna göre **esnek çarpışma** için bu değer 0'dır (KE_i=KE_s). Bu değerin 0'dan farklı değer alması esnek olmayan çarpışmanın varlığına işaret eder.

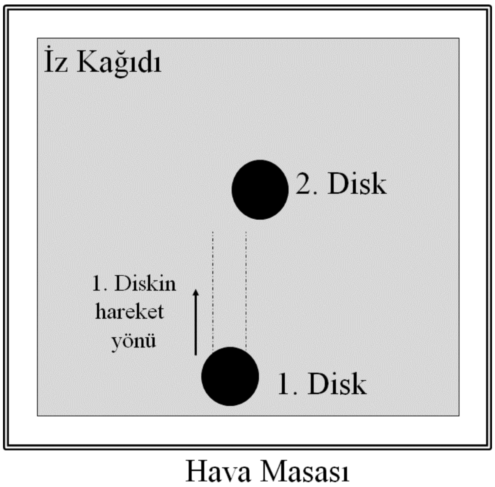
Deneyin Yapılışı:

1. Esnek Çarpışma

Deney, hava masası kullanılarak yapılacaktır.

1. İlk önce hava masasını kusursuza yakın bir şekilde yatay konuma getirmelisiniz. Bunun için hava masasının ayaklarının uç kısmında bulunan ayar vidalarını kullanınız. Disklerin altından hava geldiğinde hareketsiz veya bu duruma yakın olmaları ideal yatay konuma işaret eder.

2. Ark kronometresini uygun bir değere getiriniz. Daha sonra hava masasının kompresörünü açarak disklerin alt kısmından hava gelip gelmediğini kontrol ediniz. Herhangi bir arıza durumunda laboratuvarda bulunan uzman ve eğitmenlerden yardım talep ediniz.



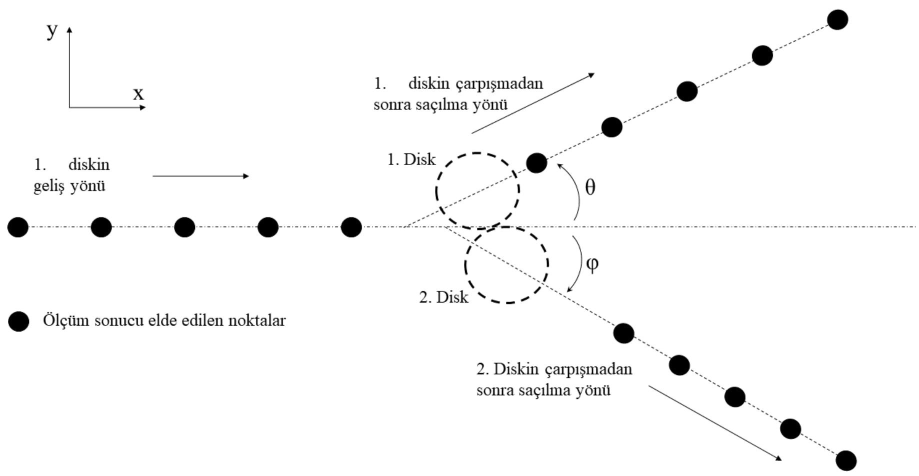
Şekil 6.2. İki boyutlu çarpışma deneyi için uygun bir şematik gösterim.

3. Ölçüm almadan önce, **iz kağıdı serili halde (**iz kağıdını Şekil 6.2'deki gibi hava masasının zeminine seriniz**)**, çarpışma egzersizleri yapınız. İlk seferde uygun bir şekilde ölçüm alamayabilirsiniz. İki boyutlu

hareketi taklit etmek için disklerin birbirleriyle **kafa kafaya çarpışmamalarını** sağlayınız. Uygun çarpışma biçimi şekil 6.2' de gösterilmektedir.

4. Gerekli hazırlıkların tamamlandığından emin olduktan sonra diskleri uygun pozisyona getiriniz. Unutmayınız ki yapacağınız deneyde **1. disk hareketli, 2. disk ise durgundur**. 2. diskin kendiliğinden durgun olmaması durumunda elinizle küçük bir destekte bulunabilirsiniz. Ancak bu destek, ölçümün kalitesini etkilememelidir. Yani, birinci diskin ikinci disk ile çarpışma öncesinde desteği çekiniz. Ölçüm almak istediğiniz denemede, hareketle aynı anda pedala da basınız.

5. Ölçüm aldıktan sonra iz kağıdınızı kontrol ediniz. Şekil 6.3' e benzer bir desen elde etmiş olmalısınız.



Şekil 6.3 2-boyutlu çarpışma sonrası elde edilen iz örneği.

6. Elde edilen ardışık izler arasında, ark kronometresinin zaman sayacı değeri kadar zaman farkı vardır. Cetvel yardımıyla iki iz arasındaki mesafeyi ölçüp kaydediniz. İki iz arasındaki zaman farkını ark kronometresinin ayarını okuyarak kaydediniz.

d_{1-2} =…….. t_{ark} =……...

Diskler sabit hızlı hareket yaptığından $v = x/t$ eşitliği yardımıyla disklerin çarpışmadan önceki ve sonraki hızlarını kaydediniz. Eğer ardışık izler arasındaki mesafeler birbirlerinden farklı ise birkaç tane izi ele alarak ortalama yoluyla da hız belirleyebilirsiniz.

v_{1i}=……. v_{1s}=…… v_{2s}=……..

7. Disklerin kütleleri 0.525 gr ve 0.530 gr olduğundan ve hızları bilindiğinden, çarpışmadan önce ve sonraki momentumları hesaplanabilir. Daha sonra açıölçer yardımıyla θ ve φ açılarını ölçerek (6.1) ve (6.2) denklemleri yardımıyla momentumun korunduğunu, x ve y eksenleri için ayrı ayrı hesaplayarak gösteriniz.

p_{ix}= …….. p_{sx} =….... p_{sy}=……..

8. Daha sonra denklem (6.3) yardımıyla kinetik enerjinin korunup korunmadığını, hesaplayarak gösteriniz.

KE_i=……… KE_s=…………

2. Esnek Olmayan Çarpışma

Esnek olmayan çarpışmaları incelemek için bir önceki adımların hepsini aynı şekilde tekrar etmelisiniz. Ancak iki diskin de etrafına esnek olmayan çarpışmayı mümkün hale getirecek bantları takınız. Bu bantlar esnek olmayan çarpışma yapmanıza olanak sağlayacaktır. İlk önce size göre en uygun çarpışmayı sağlayarak gerekli deseni elde ediniz.

9. Daha sonra açıölçer yardımıyla θ ve φ açılarını ölçerek (6.1) ve (6.2) denklemleri yardımıyla momentumun korunduğunu, ilk olarak disklerin çarpışmadan önceki ve sonraki hızlarını hesaplayarak x ve y eksenleri için ayrı ayrı gösteriniz.

v_{1i}=……… v_{1s}=………… v_{2s}=……..

p_{ix}= …….. p_{sx} =…..... p_{sy}=……..

10. Daha sonra denklem (6.4) yardımıyla kinetik enerjinin korunup korunmadığını,

KE_i=……… KE_s=…………

11. Son olarak kinetik enerjinin korunup korunmadığını e parametresini hesaplayarak gösteriniz.

Deney sonu sorular

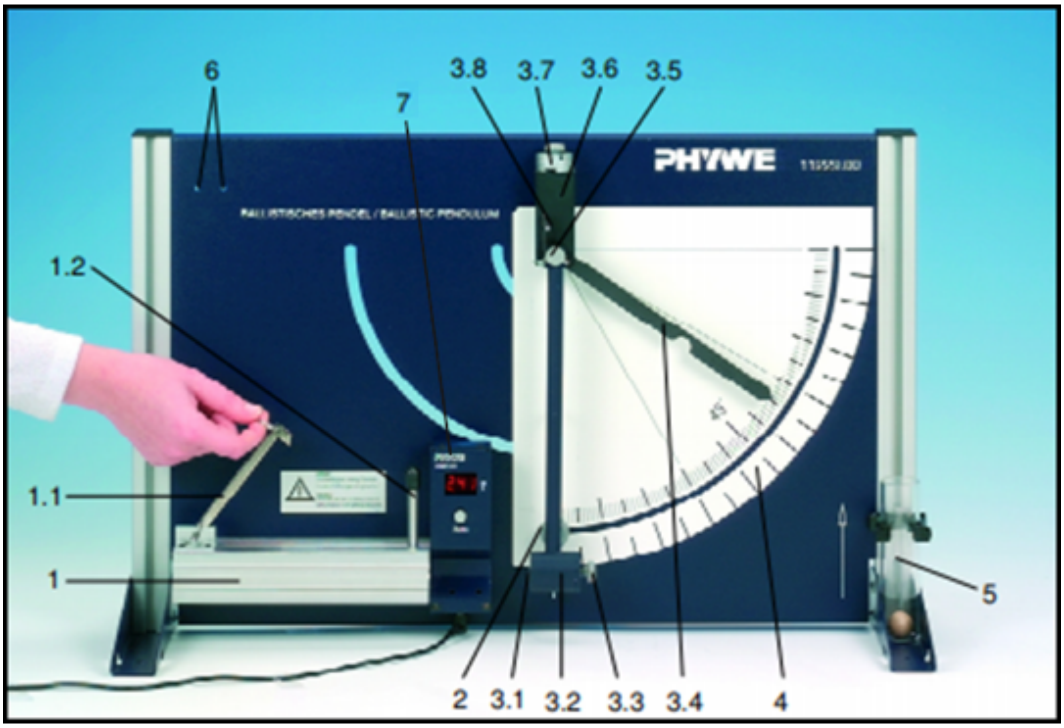
1. Esnek ve esnek olmayan çarpışmalarda kinetik enerji korunumu sağlandı mı? Ölçüm sonuçlarını ve beklentinizi göz önüne alarak açıklayınız.

Deney 7. Balistik Sarkaç

Deneyin Amacı: Yatay doğrultuda fırlatılan bir bilyenin ilk hızının, balistik sarkaç deney düzeneği kullanılarak korunum yasalarından hesaplanması.

Öğrenilecek Kavramlar: Korunum yasaları, kütle merkezinin hareketi, açısal genlik, çizgisel momentum, tam esnek olmayan çarpışma. (Ek olarak: Dönme hareketi, eylemsizlik momenti, açısal momentum, açısal hız.)

Deneyde Kullanılacak Malzemeler: Balistik Sarkaç deney düzeneği, farklı ebat ve kütlelerde üç bilye, cetvel.



Şekil 7.1. Balistik Sarkaç deney düzeneği

Balistik Sarkaç deney düzeneğini oluşturan kısımlar:

1 Fırlatıcı Mekanizma
- 1.1 Tetikleme kolu
- 1.2 Kademe kolu

2 Açıölçer (4) Sabitleme Vidası

3 Balistik Sarkaç Mekanizması
- 3.1 Bilye yakalayıcı bloğun koni biçimindeki giriş oyuğu
- 3.2 Sarkaç için isteğe bağlı kullanılabilecek ek ağırlıklar
- 3.3 Bilye serbest bırakma vidası
- 3.4 Genlik açısını gösteren çubuk (gösterge çubuğu)

3.5 Sarkaç çubuğu sabitleme vidası
3.6 Sarkaç desteği
3.7 Yarıklı ek ağırlıklar için depolama haznesi
3.8 Sarkacın geri salınımını yavaşlatan yay
4 Açıölçer
5 Bilye depolama haznesi
6 Kullanımı gerekmediğinde, sarkacı düzeneğin arkasına tutturmaya yarayan delikler
7 Hız ölçüm sensörü

Ön Hazırlık Soruları:

1. Bir balistik sarkaç düzeneğinde aşağıda verilen durumlar için belirtilen sistemlerin serbest cisim diyagramlarını çiziniz.

a) Mermi fırlatıcıdan çıktığı anda (mermi için),
b) Mermi, sarkacın ucundaki blokla çarpıştığı anda (mermi ve bloktan oluşan sistem için),
c) Sarkaç maksimum genliğe ulaştığı anda (mermi ve bloktan oluşan sistem için).

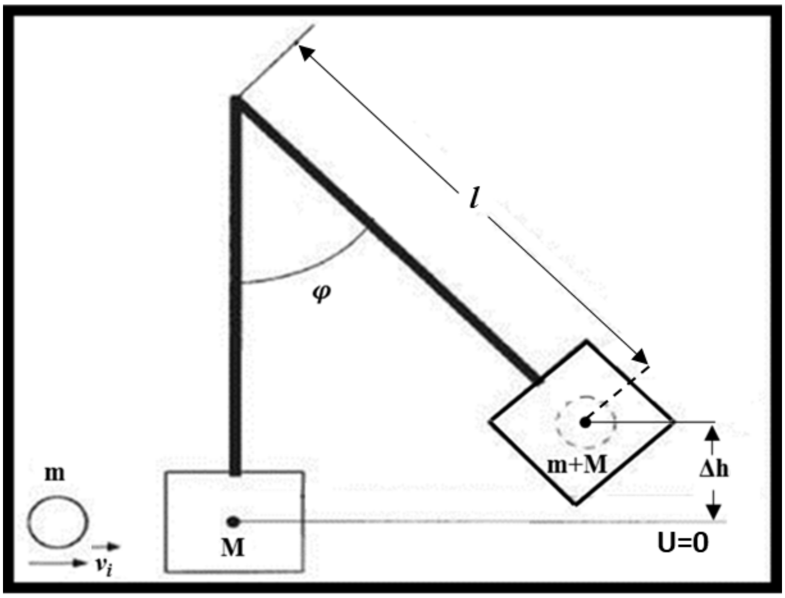
2. M kütleli durgun haldeki balistik sarkaca, m kütleli mermi yatayda v hızıyla çarpıp saplanıyor. Sarkaç ve mermi birlikte, sarkacın ilk konumundan h kadar yüksekte duruyor. Merminin ilk hızını ve sarkacın açısal genliğini bulunuz.

Teorik Bilgi:

1742 yılında İngiliz Benjamin Robins tarafından ortaya konan balistik sarkaç, bir merminin silahtan çıkış hızının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Yapılacak deney için söz konusu düzenek, düşey düzlemde hafif (kütlesi ihmal edilebilir) çubukla asılmış durgun bir blok ve fırlatıcıdan oluşan bir mekanizma ile modellenmiştir (Şekil 7.1).

Fırlatıcıdan yatay doğrultuda bir ilk hızla çıkış yapan bilye, bloğun içindeki oyuğa saplanır. Gerçekleşen çarpışma sonucunda, blok ve bilye birlikte tek bir kütle gibi hareket eder ve φ derecelik bir yay (genlik açısı) çizerek denge durumundan (referans noktasından) düşey doğrultuda Δh kadar yükselir (Şekil 7.2). Fırlatılan bilyenin yarıçapına ve blok içindeki oyuğun koni biçiminde olmasına bağlı olarak blok ve bilyeden oluşan sistemin kütle merkezinin konumu farklılık gösterecektir. Ancak, deneyde bu küçük sapmaların ihmal edildiği bir yaklaşımla *kütle merkezi bloğun tam orta noktası* olarak alınacaktır.

Buradaki gibi çok parçacıklı ve aynı anda farklı hareket türlerini (tek boyutta hareket, çarpışma, dairesel hareket vb.) içeren karmaşık sistemler için hareket denklemini oluşturmak ve çözmek de fazla çaba gerektirmektedir. Bu noktada korunum yasalarından faydalanmak büyük kolaylık sağlayacaktır.



Şekil 7.2. Balistik Sarkaç diyagramı

Çizgisel Momentum ve Mekanik Enerjinin Korunumu (Yaklaşık Metot)

Bilye ve blok *tam esnek olmayan çarpışma* yaptığında *toplam mekanik enerji korunmaz*. Dolayısıyla *çizgisel momentumun korunumu* esas alınır. Böylece, bilyenin ilk hızına ulaşmak için;

$$\sum \vec{p}_i = \sum \vec{p}_s \tag{7.1}$$

denklemi kullanılabilir. Burada, $\vec{p}_i$ çarpışmadan önce bilyenin sahip olduğu momentumu ve $\vec{p}_s$ çarpışmadan sonra sarkacın (sarkaç çubuğunun kütlesi ihmal edildiğinden blok ve bilye sisteminin) momentumunu ifade etmektedir. Momentumun *vektörel* bir büyüklük olduğu unutulmamalıdır. Bununla birlikte, çarpışmadan hemen sonraki *çok küçük bir an* için hareket yatay doğrultuda tek boyuta indirgenmektedir. Bu sayede,

$$mv_i = (m + M)v_s \tag{7.2}$$

yazılabilir. Burada, m bilyenin kütlesini, M bloğun kütlesini, v_i bilyenin ilk hızını ve v_s ise sarkacın son hızını göstermektedir. Amacımız öncelikle v_s değerini elde etmektir. Çarpışma anından sonraki sarkaç hareketi göz önüne alındığında artık *mekanik enerjinin korunumu*ndan faydalanılabilir. Şekil 7.2'ye bakıldığında, bilye koni içindeki oyuğa tam oturmadan hemen önce sarkacın referans noktasına göre potansiyel enerjisinin sıfır (U=0) ve ucundaki bloğun durgun olduğu bilgisine dayanarak

$$\sum E_i = \sum E_s \tag{7.3}$$

$$K_i + \cancel{U_i}^{0} = \cancel{K_s}^{0} + U_S \qquad (7.4)$$

$$\frac{1}{2}(m+M){v_i'}^2 = (m+M)g\Delta h \qquad (7.5)$$

yazılabilir. Burada E_i sarkacın - bilye oyuğa tam oturmadan hemen önceki - enerjisi, E_s sarkacın - maksimum yüksekliğe ulaşıp durduğu andaki - son enerjisi, K_i ile K_s sırasıyla ilk ve son kinetik enerji ve U_i ile U_s sırasıyla ilk ve son potansiyel enerjiyi ifade etmektedir. Sarkacın toplam kütlesi $m + M$ ve ilk hızı v_i', yerçekimi ivmesi g ve sarkacın ulaştığı maksimum yükseklik Δh ile verilmektedir. Dikkat edilmesi gereken bir nokta, v_i' değerinin Denklem 7.2'deki v_s değerine eşit olduğudur.

Yine Şekil 7.2'den Δh=*l*-*l*cosφ olduğu görülecektir. l uzunluğu, bloğun kütle merkezinden sarkacın sabitlendiği dönme noktasına olan uzaklık ve φ açısal genlik, sarkacın yükselip durduğu anda çizdiği yaya karşılık gelen açı (düşeyle yaptığı maksimum açı) olmak üzere Denklem (7.5),

$$\frac{1}{2}(m+M)v_s^2 = (m+M)gl(1-cos\varphi) \qquad (7.6)$$

olacaktır. Sadeleştirme işlemi yapılıp v_s yalnız bırakıldığında,

$$v_s = \sqrt{2gl(1-cos\varphi)} \qquad (7.7)$$

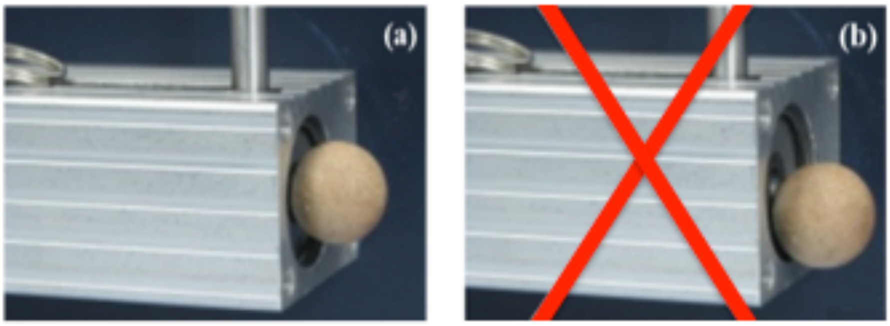
elde edilir ve v_s değeri Denklem (7.2)'de yerine konulduğunda,

$$v_i = \frac{m+M}{m}\sqrt{2gl(1-cos\varphi)} \qquad (7.8)$$

eşitliğinden bilyenin ilk hızı bulunabilir.

Deneyin Yapılışı:

1. Şekil 7.1'de görülen deney düzeneği ölçümler boyunca masa üzerinde sabit durmalıdır.
2. Fırlatıcının *kademe kolunu* çekmeden önce, bilyeyi sürgünün ucundaki manyetik tutucuya takınız. Tam merkeze oturduğuna emin olmadan **devam etmeyiniz!!!** Bu durum bilyenin rastgele savrulmasına ve kazalara sebebiyet verebilir.



Şekil 7.3. Bilyenin uygun biçimde (a) ve yanlış (b) yerleştirilmesi

3. Sürgüyü geriye doğru çekerek mekanizmayı mevcut üç kademenin birincisinde kilitleyiniz.
4. Sarkacın durgun olduğuna emin olunuz ve *gösterge çubuğu* çentiğini sarkacın arkasındaki pime geçirmeden önce açıölçerde sıfırı gösterecek şekilde ayarlayınız.
5. Fırlatıcıdaki *tetikleme kolunu* çekerek atışı yapınız.
6. Sarkacın l uzunluğunu ölçerek Tablo 7.1'e kaydediniz.
7. Sarkacın açısal genliğini (φ), *gösterge çubuğu* yardımıyla açıölçerden okuyarak Tablo 7.1'e kaydediniz.

NOT: İlk atıştan sonra *gösterge çubuğunu* ulaştığı konumda bırakarak ikinci ve üçüncü kez atış yapınız. *Gösterge çubuğu* artık ilerlemiyorsa, yuvasında hareket ederken oluşan sürtünmenin etkisinin minimuma indiği varsayılabilir.

8. Hız sensöründen okuduğunuz hız değerini Tablo 7.1'e kaydediniz.
9. Denklem (7.8)'den yararlanarak topun ilk hızını hesaplayınız ve Tablo 7.1'e kaydediniz.
10. Farklı ebat ve kütlelerdeki çelik ve tahta bilyeleri kullanarak fırlatıcının üç kademesi için deneyi tekrarlayınız.

Tablo 7.1. Balistik Sarkaç yardımıyla farklı ebat ve kütlelerdeki bilyelerin ilk hızının bulunması

M = 300 gram l = ….. cm	**m (gram)**	**Kademe**	**φ (°)**	**v_i(cm/s) Sensörde Ölçülen**	**v_i(cm/s) Yaklaşık metot**	**Yüzde Hata Hesabı $\frac{\lvert Deneysel-Teorik\rvert}{Teorik}\times 100$**
I. Çelik bilye		**1. seviye**				
		2. seviye				
		3. seviye				
II. Çelik bilye		**1. seviye**				
		2. seviye				
		3. seviye				
III. Tahta bilye		**1. seviye**				
		2. seviye				
		3. seviye				

11. Hesapladığınız v_i değerleriyle hız ölçüm sensöründen aldığınız değerler aynı mı? Karşılaştırınız. Sonuçlarınızı yorumlayınız.

12. Bilyenin v_i ilk hızının φ açısıyla nasıl değiştiğini yorumlayınız.

Deney Sonu Çalışma Soruları:

1. Denklem (7.8)'i, referans noktasını sarkacın sabitlendiği dönme noktası alarak yeniden türetiniz.

2. Açısal momentum ve mekanik enerjinin korunumundan yararlanarak ve sarkacın dairesel hareket yaptığını göz önüne alarak Denklem (7.8)'i elde ediniz. (Bilye ve blok sisteminin kütle merkezi bloğun tam orta noktası olarak kabul edilecektir. Sarkaç çubuğunun kütlesi ihmal edilmektedir.)

3. Bilyenin v_i ilk hızı için *hata hesabı* formülasyonunu Denklem (7.8) ve Giriş bölümündeki Sayfa 4 ve 5'teki ilgili kurallardan yararlanarak türetiniz.

Deney 8. Dönme Dinamiği ve Tork

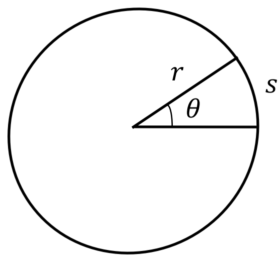
Deneyin Amacı: Tork hakkında bilgi sahibi olmak, bir cismin sabit bir kuvvetin etkisinde dönme hareketi yaparken dönme kinematiğinin incelenmesi.

Öğrenilecek Kavramlar Açısal momentum, Kuvvet, Newton'un hareket yasaları, Eylemsizlik momenti, Açısal hız, Açısal ivme

Deneyde Kullanılacak Malzemeler: Dönme dinamiği deney düzeneği, Bilgisayar, Çeşitli kütlelere sahip ağırlıklar, Kütleleri yerleştirmek için kese, Farklı eylemsizlik momentlerine sahip, deney düzeneğine takılabilecek yardımcı cisimler

Ön Hazırlık Soruları

1. Şekil 8.1'i kullanarak Çizgisel hız ve çizgisel ivme ifadelerinin çıkarımını yapınız.



Şekil 8.1. Noktasal parçacığın yerçekimi kuvveti etkisindeki iki boyutlu hareketi.

2. Açısal hız ve açısal ivme ifadelerini açıklayınız. Açısal hız ile çizgisel hız ve açısal ivme ile çizgisel ivme arasında nasıl bir ilişki vardır.

Teorik Bilgi

Eylemsizlik momenti

Eylemsizlik momenti (I) cismin dönme hareketine karşı cismin gösterdiği dirençtir. Newton'un birinci yasasında açıkça görüldüğü gibi, doğrusal harekette, kütle harekete karşı direnç gösterirken; dönme hareketinde, bu görevi eylemsizlik momenti yapar. Eylemsizlik momenti aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$I = \int r^2 dm \tag{8.1}$$

Burada, dm sonsuz küçük kütle, r dönme eksenine olan uzaklıktır. Eğer sistem bir boyutlu ise $dm = \lambda dx$, iki boyutlu ise $dm = \sigma dA$, üç boyutlu ise $dm = \rho dV$ şeklindedir. Burada λ bir boyutta, σ iki boyutta, ρ üç boyutta kütle yoğunlukları, dx çizgi , dA yüzey, dV hacim elemanıdır.

Denklem (8.1)'de r sabit ve $\int dm' = m$ alınırsa, eylemsizlik momenti aşağıdaki gibi olur.

$$I = mr^2 \tag{8.2}$$

Dönme momenti (Tork)

Tork ($\vec{\tau}$), sabit bir eksen etrafında dış bir $\vec{F}$ kuvvetinin **döndürme etkisi** olarak tanımlanır. Tork aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} \tag{8.3}$$

$\vec{r}$ ve $\vec{F}$ arasındaki açı 90^o olarak alınırsa, tork aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$|\vec{\tau}| = |\vec{r}|\left|\vec{F}\right| = rF \tag{8.4}$$

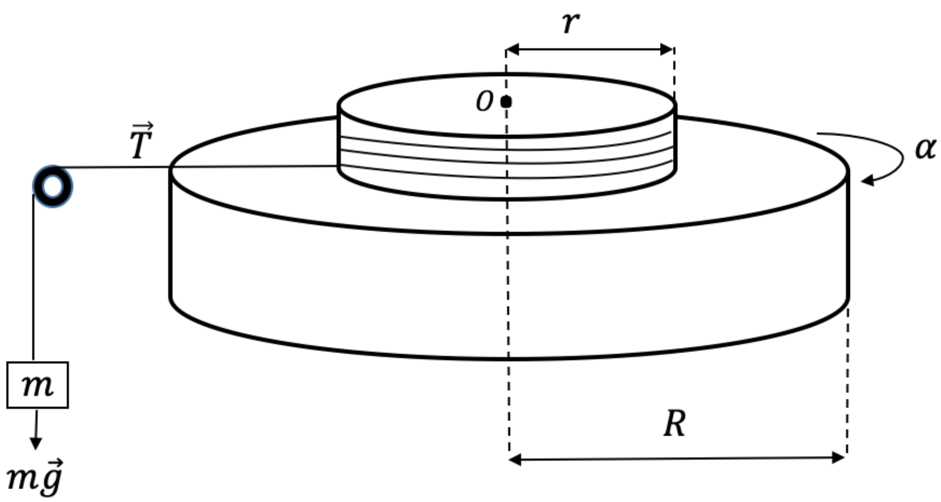
Newton'un ikinci yasası, Denklem (8.4)'te yerine yazılırsa;

$$\tau = rma\,;\; a = r\alpha \tag{8.5}$$

$$\tau = r^2 m\alpha \tag{8.6}$$

olur. a: çizgisel ivme, α: açısal ivmedir. (8.2) verilen eylemsizlik momenti, denklem (8.6)'te yerine yazıldığında tork ifadesi aşağıdaki halini almış olur.

$$\tau = I\alpha \tag{8.7}$$



Şekil. 8.2. Çark ve kütle sisteminin diyagramı.

Şekil 8.2.'de çark ve kütle sisteminin diyagramı görülmektedir. Şekil 8.2.'deki diyagrama göre $\vec{T}$ kuvveti sayesinde bir tork oluşmaktadır. O noktasına göre tork aşağıdaki gibi yazılır.

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{T} \Rightarrow \ \tau = rT \tag{8.8}$$

(8.7) ifadesi (8.8) ifadesinde yerine yazılıp T çekilirse.

$$T = \frac{I\alpha}{r} \tag{8.9}$$

şeklini almış olur. m kütlesine etki eden net kuvvet denklem (8.10) ifadesinde verilmiştir.

$$\vec{F}_{net} = m\vec{g} - \vec{T} \tag{8.10}$$

Denklem (8.9), denklem (8.10)'da ifadesindeki T'nin yerine yazılırsa,

$$ma = mg - \frac{I\alpha}{r} \tag{8.11}$$

olur. Denklem (8.11)'de yerine $a = r\alpha$ yazılıp gereken işlemler yapılarsa açısal ivmenin ifadesi,

$$\alpha = \frac{mg}{mr + {}^{I}/_{r}} \tag{8.12}$$

olur. Elde edilen açısal ivme ifadesi, denklem (8.7)'da yerine yazılırsa tork:

$$\tau = \frac{mgr}{\left(1 + {}^{mr^2}/_{I}\right)} \tag{8.13}$$

şeklinde bulunur.

Diskin eylemsizlik momenti $I = {}^{MR^2}/_{2}$ şeklindedir. Burada M diskin kütlesi R diskin yarıçapıdır. Diskin eylemsizlik momenti Denklem (8.13)'te yerine yazılırsa:

$$\tau = \frac{mgr}{\left(1 + {}^{2mr^2}/_{MR^2}\right)} \tag{8.14}$$

olur.

Denklem (8.14)'te $M \gg m$ ve $R \gg r$ olduğu için, ${}^{2mr^2}/_{MR^2}$ ifadesi ihmal edilirse:

$$\tau = mgr \tag{8.15}$$

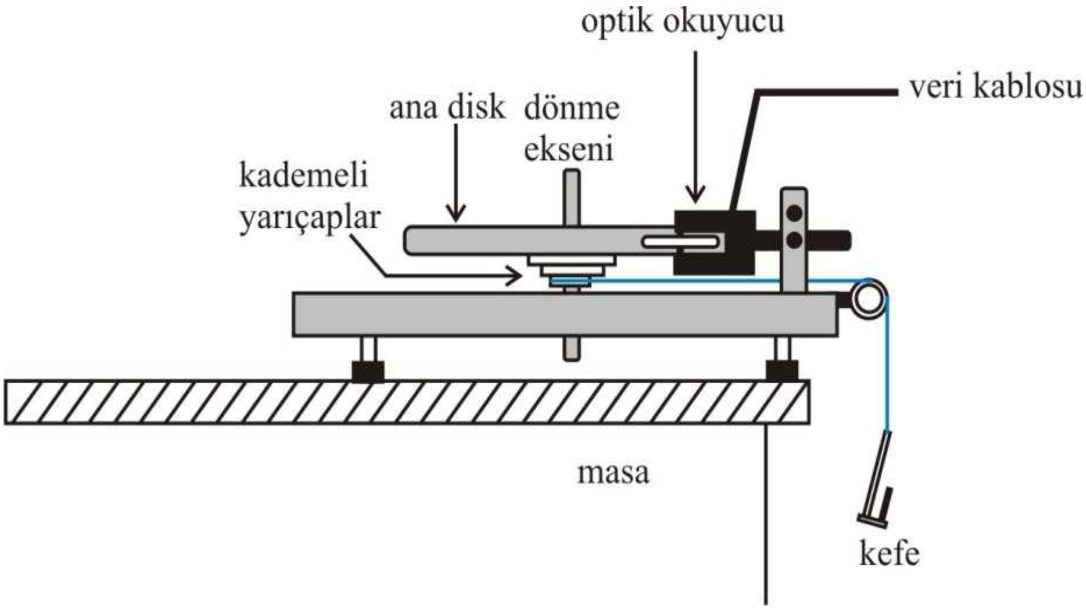
olur. Denklem (8.6)'dan hareketle cismin açısal ivmesi Şekil 8.2 sistemi için aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\alpha = \frac{mgr}{I} \tag{8.16}$$

Buna göre dönen cismin açısal ivmesi; dönme ekseni uzaklığı (r) ve cismin kütlesiyle (m) doğru orantılı, cismin eylemsizlik momenti (I) ile ters orantılıdır.

Deneyin Yapılışı

Deney düzeneği şekil 8.3'teki gibidir. Deney yapılırken açısal ivmenin; dönme yarıçapı, kütle, ve eylemsizlik momentinin değişimine göre davranışı incelenecektir.



Şekil 8.3. Dönme dinamiği deney düzeneği.

A) Dönme yarıçapı ve açısal ivme

1. Bilgisayar açınız. Bilgisayarın masaüstünde bulunan "***Deney***" klasörü içerisindeki "***SPT***" programı çalıştırınız. Devam etmek için "***Enter***" tuşuna basınız.
2. Şekil 8.3'teki deney düzeneği kurulur. Kefeye 40 g'lık kütle takılır. Kefeye bağlı ip, kademeli yarıçaplardan en küçük olanına sarınız. Optik okuyucunun çarkı, diskin kenarına dokunmalıdır.
3. Bilgisayar programında "***Motion Timer***" seçeneğine ok tuşları ile gelinir.
4. Kefe serbest bırakılır ve disk dönmeye başladıktan bir süre sonra "***Enter***" tuşuna basınız. Diskin dönme hareketini ölçüm alırken gözlemleyiniz.
5. İp bitmeden tekrardan "***Enter***" tuşuna basılarak ölçüm tamamlanır. Ölçüm bittiğinde, ekranda bazı veriler gözükecektir. Eğer ekranda veriler gözükmüyorsa optik okuyucunun çalışıp çalışmadığını kontrol ediniz ve deney basamaklarını tekrar ediniz.
6. Verileri analiz etmek için "***Enter***" tuşuna basınız. Gelen menüde grafik elde edebilmek için klavyede aşağı yukarı ok tuşlarını kullanarak sırasıyla "***Grap data***" → "***Velocity vs. time***" → "***Rotational Apparatus***" → "***Statistics***"i seçiniz.

*NOT: "**Statistics**" kısmının sol tarafında yazan ifadenin **"On"** konumunda olduğuna dikkat ediniz. Eğer **"Off"** konumunda ise **"Space"** tuşu yardımıyla **"On"** kısmına getiriniz.*

7. Bu adımları yaptıktan sonra eksen ölçeklendirme ile alakalı bir sayfa gelecektir. Her iki eksen için ilk seçeneği seçiniz. Yukarıdaki seçimlerden sonra hız-zaman grafiği karşınıza gelecektir.

a. Bu grafikten hareketle cismin nasıl bir hareket yaptığınız tartışınız.

b. Cismin hareketinden emin olabilmek adına sorumlu hocanızla konum-zaman ve ivme-zaman grafiklerini inceleyiniz.

c. Ekranın sol üst kısmında görülen "***M***" değeri grafiğin eğimidir. "***M***" değerini *Tablo 8.1*'e kaydediniz. Elde edilen "***M***" değerinin fiziksel karşılığı nedir?

8. Yukarıda bahsedilen adımları her bir kademeli yarıçap değeri için tekrarlayınız ve Tablo 8.1'e kaydediniz.

Tablo 8.1. Kademeli Yarıçap ve açısal ivme tablosu.

$\boldsymbol{r\ (cm)}$	$\boldsymbol{\alpha}$ **(deneysel)** $\boldsymbol{(rad/s^2)}$	$\boldsymbol{\alpha}$ **(teorik)** $\boldsymbol{(rad/s^2)}$	**Yüzde Hata Miktarı (%)**
$\boldsymbol{1,50}$			
$\boldsymbol{2,00}$			
$\boldsymbol{2,50}$			

a) Kademeli yarıçap ile açısal ivme arasındaki ilişki nedir?

……

……………………………………………………………………………………………………...….

b) Denklem (8.16) kullanılarak açısal ivmeyi hesaplayıp Tablo 8.1'e yazınız.

NOT: *(8.16) denkleminde* m $(5g)$ *değerine kefenin kütlesini eklemeyi unutmayınız.*

c) Bulduğunuz değerle, hesapladığınız değeri karşılaştırınız. Yüzde hata hesabı yapınız

……

……

B) Kütle ve açısal ivme

1. Kefeye 30 g'lık kütle takınız. Kefenin bağlı olduğu ipi 2,00 cm'lik kademeli yarıçapa sarınız. Deneyin A kısmında olan basamakları 7. adıma kadar tekrarlayınız ve elde edilen "***M***" değerini Tablo 8.2'ye kaydediniz. Her bir kütle değişimi için aynı adımları tekrarlayıp tabloya kaydediniz.

Tablo 8.2. Kütle ve açısal ivme tablosu.

$m\ (g)$	α (deneysel) (rad/s^2)	α (teorik) (rad/s^2)	Yüzde Hata Miktarı (%)
30			
50			
70			
90			

a) Kütle ile açısal ivme arasındaki ilişki nedir?

……

…………………………………………………………………………………………………...…….

b) Denklem (8.16) kullanılarak açısal ivmeyi hesaplayıp Tablo 8.2'e yazınız.

c) Bulduğunuz değerle, hesapladığınız değeri karşılaştırınız. Yüzde hata hesabı yapınız.

……

……

C) Eylemsizlik momenti ve açısal ivme

1. Kefeye 40 g kütle asınız. İpi kademeli yarıçapta 2.00 cm'e sarınız. önceki kısımlarda uygulanan adımları uygulayıp açısal ivmeyi Tablo 8.3'e kaydediniz.

2. Ana diskin üzerine yedek diski takıp aynı adımları uygulayınız. Ve açısal ivmeyi tabloya kaydediniz.

3. Yedek diski kaldırıp yerine metal halkayı çeltiklerini ana diske geçirecek şekilde takınız ve tekrardan ölçüm alıp tabloya kaydediniz.

4. Metal halkayı çıkarıp yerine metal bloğu yerleştirip gereken ölçümleri alınız ve tabloya kaydediniz.

5.

Tablo 8.4. Açısal ivme ve eylemsizlik momenti tablosu.

	Açısal ivme, $\alpha(rad/s^2)$	Eylemsizlik Momenti I $(g.cm^2)$
Ana Disk		
Ana Disk + Yedek Disk		
Ana Disk + Metal Halka		
Ana Disk + Metal Blok		

6. Sisteme etki eden kuvveti (kefe + kütlenin etki ettiği kuvvet) hesaplayınız.

a) Eylemsizlik momenti ile açısal ivme arasındaki ilişki nedir?

……

……………………………………………………………………………………...…………….

b) Denklem (8.16) kullanılarak eylemsizlik momenti hesaplayıp Tablo 8.3'e yazınız.

c) Hesapladığınız değer ile Tablo 8.4'te verilen eylemsizlik momenti değerlerini karşılaştırınız. Yüzde hata hesabı yapınız.

………

………

Tablo 8.5. Deney sistemine ait cisimlerin referans değerleri.

	$\boldsymbol{m}\ (\boldsymbol{g})$	$\boldsymbol{R - R_{dış}} (\boldsymbol{cm})$	$\boldsymbol{R_{iç}}\ (\boldsymbol{cm})$	$\boldsymbol{I}\ (\boldsymbol{kg.m^2})$
Ana Disk	991	12.7	–	$7.50\ 10^{-3}$
Yedek Disk	894	12.7	–	$7.22\ 10^{-3}$
Metal Halka	701	6.4	5.4	$2.46\ 10^{-3}$
Metal Blok	690	22.5	5.51	$2.98\ 10^{-3}$

Deney 9. Maxwell Tekerleği - Enerji Korunumu

Deneyin Amacı: Bu deneyde toplam enerjinin korunumu ilkesi gözlemlenecektir.

Öğrenilecek Kavramlar: Toplam enerji ve enerji türleri, Mekanik enerji, Çizgisel ve Açısal hız, Eylemsizlik momenti

Deneyde Kullanılacak Malzemeler: Kronometre, Maxwell deney seti

Ön Hazırlık Soruları:

1. Bir sistem neden dolayı enerji kaybeder?
2. Nükleer reaktörler de üretilen nükleer enerji nasıl elektrik enerjisine dönüşür?

Teorik Bilgi:

Bir sistemin harekete geçmesi için enerjiye ihtiyaç vardır. Bu enerji başka bir enerji türünün dönüşmesiyle elde edebilir. Mesela belirli bir yükseklikte duran bir top, düşerken sahip olduğu potansiyel enerji kinetik enerjiye dönüşerek hız kazanır. Çevremizdeki gördüğümüz bir çok olayın işleyişi bu enerji dönüşümleri sayesinde olmaktadır. Enerji dönüşümleri sırasında termodinamiğin 1. yasasına göre **var olan enerji yok edilemeyeceğine** için *toplam enerji* korunur. Yani toplam enerji korunumludur. Mekanik enerji izole edilmiş sistemlerde korunumlu iken, toplam enerji her zaman korunur, enerji yalnızca form değiştirir.

Bu deneyde de belirli yükseklikten bırakılan Maxwell tekerleğinin potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüşümünü göreceğiz. Sistemimiz tamamen izole olmadığı için, havanın sürtünmesinden dolayı mekanik enerjinin bir kısmı ısı enerjisine dönüşecek ve enerjisinin bir kısmını kaybeden disk bırakıldığı ilk yüksekliğe çıkamayacak, dolayısıyla zamanla yavaşlayıp duracaktır.

Deney setinde bulunan m kütleli Maxwell dişlisini belirli yükseklikten serbest bırakıldığında, enerjinin bir kısmı ötelemeden dolayı öteleme kinetik enerjisine ($E_{\text{ö}k}$), diskin kaymadan dönmesinden dolayı dönme kinetik enerjisine E_{dk} ve hala belirli bir yükseklikte bulunduğu için potansiyel enerjiye (E_p) dönüşecektir. I eylemsizlik momenti, m diskin kütlesi, w açısal hız ve v çizgisel hız olmak üzere ***korunumlu*** bir sistemde;

$$E_T = E_{\text{ö}k} + E_{dk} + E_p \qquad (9.1)$$

$$= \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}Iw^2 + mgh, \qquad w = \frac{v}{r} \quad \text{yerine yazılırsa}$$

$$= \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\frac{v^2}{r^2} + mgh$$

$$E_T = \frac{1}{2}(m + \frac{I}{r^2})\, v^2 + mgh$$

Toplam enerji zamanla değişmediğine göre, denklem (9.1)'in zamana göre türevini alırsak, **hızın** ve **düşey yer değiştirmenin** zamana bağlı formülü elde edilebilir. Zamana göre türev alındığı için tüm değişkenleri de zamana göre yazılırsa,

$$\frac{dE_T}{dt} = \frac{1}{2}(m + \frac{I}{r^2})\frac{d(v^2(t))}{dt} + mg\frac{dh(t)}{dt} \tag{9.2}$$

Toplam enerji zamanla değişmediğine göre;

$$\frac{dE_T}{dt} = 0 \tag{9.3}$$

ve

$$\frac{d(v^2)}{dt} = 2v(t)\frac{dv(t)}{dt} \tag{9.4}$$

yere doğru düşerken $h_2 < h_1$ olduğundan

$$\frac{dh(t)}{dt} = \lim_{dt \to 0} \frac{h_2 - h_1}{t_2 - t_1} = -v(t) \tag{9.5}$$

(9.3) – (9.5) deki denklemleri (9.2) denklemindeki yerlerine konulursa,

$$0 = \frac{1}{2}\left(m + \frac{I}{r^2}\right)\frac{2v(t)dv(t)}{dt} - mgv(t)$$

Sistemin **hızı** aşağıdaki ifade olarak bulunur.

$$v(t) = \frac{mg}{m + \frac{I}{r^2}}t \tag{9.6}$$

Düşey eksende yer değiştirmeyi bulmak için aşağıdaki bağlantıyı kullanılabilir.

$$\mathrm{dh} = v\,(\mathrm{t}).\,\mathrm{dt} \tag{9.7}$$

9.7 ifadesi kullanılarak, 9.6 denkleminin zamana göre integralini alınırsa,

$$h(t) = \frac{1}{2}\frac{mg}{(m + \frac{I}{r^2})}t^2 \tag{9.8}$$

elde edilir.

Deneyin Yapılışı:

1. Deney düzeneğini Şekil 9.1'deki gibi kurunuz. İp tamamen açık durumda iken bir su terazisi veya telefonlarınızın uygulamalarında bulunan su terazisi yardımıyla diskin yatay düzlemle paralelliğini kontrol ediniz.

Şekil 9.1: Maxwell tekerleği deney düzeneği

2. Diski düzgün bir şekilde sararak istenen yüksekliğe kadar dikkatlice çıkarınız. Diski düzgün sarabilmek için;
    a. İp mile sarılırken ipler birbiri üzerine gelmemelidir.
    b. İplerin arasında boşluk kalmayacak şekilde sık bir şekilde sarılmalıdır.
    c. Disk belirli bir yüksekliğe geldiğinde diskin millerinin yere paralel olup olmadığını kontrol edilmelidir.

3. Deneyde veri almadan önce sardığınız diski hiçbir kuvvet uygulamadan serbest düşme hareketi yapacak şekilde bırakınız. Potansiyel enerjinin öteleme kinetik enerjisine ve dönme kinetik enerjisine dönüşümünü gözlemleyiniz.
    a. Tekerlek bıraktığınız yüksekliğe tekrar çıkabiliyor mu? Nedenleriyle tartışınız.
    b. Tekerlek yere doğru gelip anlık hızı $v = 0$ olduğunda nasıl oluyor da hareketini devam ettirerek bu sefer yukarı doğru hareket ediyor?

4. Diski Şekil 9.1'de gördüğünüz referans noktasından itibaren sarıp, Tablo 9.1 de verilen yüksekliklere sırasıyla getiriniz. **Disk istenen yüksekliğe geldiğinde serbest düşme yapacak şekilde yavaşça bırakılmalıdır.**

a. Belirlenen yükseklikten referans noktasına gelinceye kadar geçen süreyi kronometre yardımıyla sırasıyla kaydediniz, denklem (9.6)' daki denklemi kullanarak v(t) yi bulup Tablo 9.1 de yerine yazınız.

Tablo 9.1: Yüksekliğe göre hız - zaman tablosu

h(ölçülen) (cm)	**t (saniye)**	**v(t) m/s**
50 cm		
40 cm		
30 cm		
20 cm		
10 m		

b. Yukarıda t için aldığınız verileri ve denklem (9.8) deki formülü kullanarak düşey yer değiştirmeyi Tablo 9.2'ye kaydediniz.

Tablo 9.2: Ölçülen ve deneysel yükseklik

h(ölçülen)	**h(t) (deneysel)**
50 cm	
40 cm	
30 cm	
20 cm	
10 cm	

Yerçekim ivmesi, g=9,8 m/s^2

Sistemin kütlesi, m = 0,436 kg

Milin yarıçapı, r = 2,5 mm

Eylemsizlik momenti, I = 9,84x$10^{-4} kg.m^2$

5. Diskin referans noktasından olan yüksekliği h ile düşey yer değiştirmenin h(t) aynı mı? Kıyaslayınız ve nedenleriyle tartışınız.

6. Sistemde ne kadar enerji kaybettiğimizi anlamak için yaptığımızı kontrol edelim.

- İlk başta toplam enerji yalnızca potansiyel enerjiye eşitti.

$$E_{T_1} = mgh_i$$

Referans noktası başlangıç yeri olduğuna göre, başlangıç noktasındaki potansiyel enerji $E_p = 0$ olarak alabiliriz. Referans noktasına göre yerden yükseklik (h_i) cetvel ile ölçtüğünüz (Tablo 9.2 de 1. Sütundaki veri) değerdir.

- Tekerlek h_i yüksekliğinden bırakılıp referans noktasına geri döndüğünde, toplam enerji

$$E_{T_2} = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}Iw^2 + mgh_s$$

Tekerlek referans noktasına göre h_s=0 olduğu için

$$mgh_s = 0$$

olacaktır. Açısal hız w yerine çizgisel hızı yazılırsa,

$$E_{T_2} = \frac{1}{2}(m + \frac{I}{r^2})\, v^2$$

Tablo 9.1'de bulduğunuz değerleri kullanarak, E_{T_1} ve E_{T_2} Tablo 9.3'e yazınız.

Tablo 9.3: Belirli yüksekliğe göre enerjilerin karşılaştırma tablosu

h (cm)	E_{T_1} $(kg.m^2/s^2)$	E_{T_2} $(kg.m^2/s^2)$	**Enerji kaybı(%)**
50			
40			
30			
20			
10			

a. Bulduğunuz değerler birbirine eşit midir, tartışınız.
b. Daha az yüksekliklerde daha az enerji kaybı oluyor, nedenlerini yazınız.

Deney 10. Basit Harmonik Hareket

Deneyin Amacı: Basit harmonik hareketin incelenmesi.

Öğrenilecek Kavramlar: Frekans, Periyot, Açısal Frekans, Genlik, Faz Açısı

Deneyde Kullanılacak Malzemeler: Üçayak, Destek Çubuğu, Dik Açılı Kelepçe, Tutma Pimi, Kefe, Kütle Seti, Ayaklı Cetvel, Hava Masası, Hava Kompresörü, Ark Kronometresi, Siyah Karbon Kağıdı, Parşömen Kağıdı, 1 Disk, 2 Yay

Ön Hazırlık Soruları:

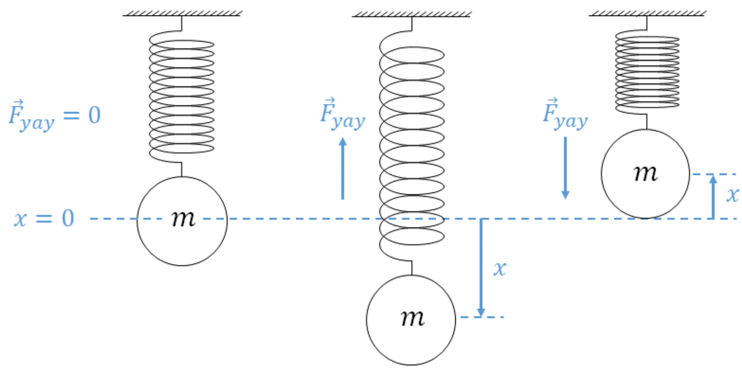
1. Basit harmonik hareket yapan cismin toplam enerjisinin $E = \frac{1}{2}kA^2$ olduğunu gösteriniz.

2. Kütle, yay sabiti ve genlik biliniyorsa, basit harmonik hareket yapan bir cismin herhangi bir konumdaki hızı bulunabilir mi? Açıklayınız.

3. Basit harmonik hareket ile düzgün dairesel hareketi karşılaştırınız.

Teorik Bilgi:

Bir ucu sabitlenmiş ve diğer ucuna kütle bağlanmış bir kütle-yay sistemini inceleyelim (Şekil 10.1).



Şekil 10.1. Kütle-yay sistemi

Kütle, denge konumundan küçük bir x uzaklığı kadar gerilir veya sıkıştırılırsa yay, kütle üzerine bir kuvvet uygular. Bu kuvvet yerdeğiştirme (x) ve yay sabiti (k) ile doğru orantılıdır. (Hooke kanunu):

$$F_{yay} = -kx \tag{10.1}$$

Bu kuvvet her zaman denge konumuna doğru yönelir, dolayısıyla yerdeğiştirme ile zıt yönlüdür. Bu yüzden geri çağrıcı kuvvet olarak adlandırılır. Geri çağırıcı kuvvet etkisinde cismin yaptığı harekete *basit harmonik hareket* denir.

Newton’un ikinci yasası bu harekete uygulanırsa,

$$F_{yay} = -kx = ma = m\frac{d^2x}{dt^2} \tag{10.2}$$

ifadesi elde edilir. Bu ifade düzenlendiğinde,

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}x = 0 \tag{10.3}$$

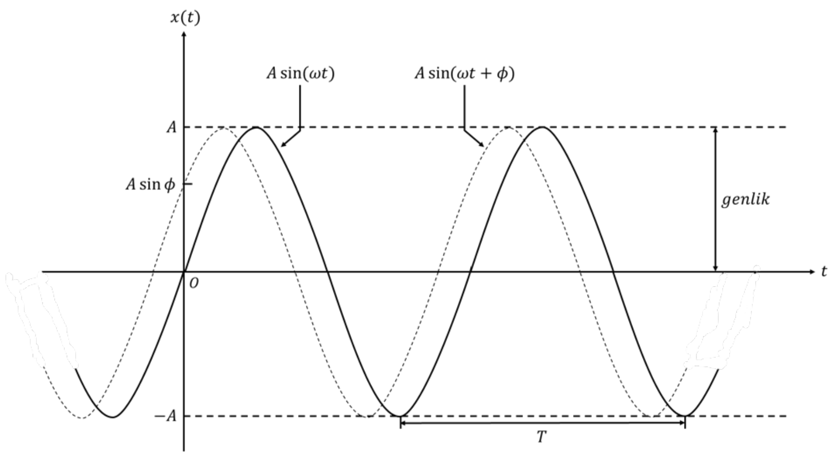
denkleminin çözümünden, cismin yerdeğiştirmesi

$$x(t) = Acos(\omega t + \phi) \tag{10.4}$$

olarak elde edilir. Burada A hareketin genliği, ω açısal frekansı ve ϕ de faz açısıdır.
Basit harmonik hareket yapan bir parçacığın hızı ise, yerdeğiştirme denkleminin zamana göre türevi alınarak bulunabilir.

$$v = \frac{dx}{dt} = -\omega Asin(\omega t + \phi) \tag{10.5}$$

Basit harmonik hareket için yerdeğiştirmenin zamana göre değişim grafiği Şekil 10.2’de gösterilmiştir.



Şekil 10.2. Basit harmonik hareket yapan cismin yerdeğiştirme-zaman grafiği

Hareketin periyodu,

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{k/m}} = 2\pi\sqrt{m/k} \tag{10.6}$$

şeklindedir.

Deneyin Yapılışı:

A) Yay Sabitlerinin Tayini

Deneyin bu kısmında Şekil 10.3'teki deney seti kullanılacaktır.

Şekil 10.3. Yay sabiti tayini için deney seti

1. Yaylardan birini tutma pimine yerleştiriniz.
2. Ayaklı cetveli kullanarak yayın denge konumunu belirleyiniz.
3. Yayın diğer ucuna 10 g kütle asınız. Yayın uzama miktarını belirleyiniz ve Tablo 10.1'e kaydediniz.
4. Tabloda yer alan diğer kütle değerleri için ölçümlerinizi tekrarlayarak tablodaki boşlukları doldurunuz.
5. Diğer yayı asarak aynı işlemleri tekrarlayınız.
6. Gerekli hesaplamaları yaptıktan sonra, her bir yay için F - x grafiğini çiziniz.
7. Grafiklerden yararlanarak yay sabitlerini belirledikten sonra Tablo 10.1'e kaydediniz.

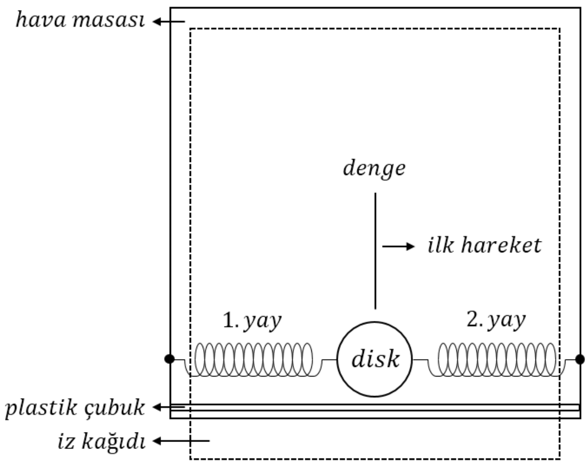
Tablo 10.1. Yay sabiti tayini için ölçüm ve hesaplamalar

1. yay				***2. yay***			
Kütle (g)	**Uygulanan kuvvet (N)**	**Yerdeğiştirme (cm)**	k_1 (N/m)	**Kütle (g)**	**Uygulanan kuvvet (N)**	**Yerdeğiştirme (cm)**	k_2 (N/m)
20				20			
40				40			
60			……	60			……
80				80			
100				100			
120				120			

B) Yay-Disk-Yay Sistemi

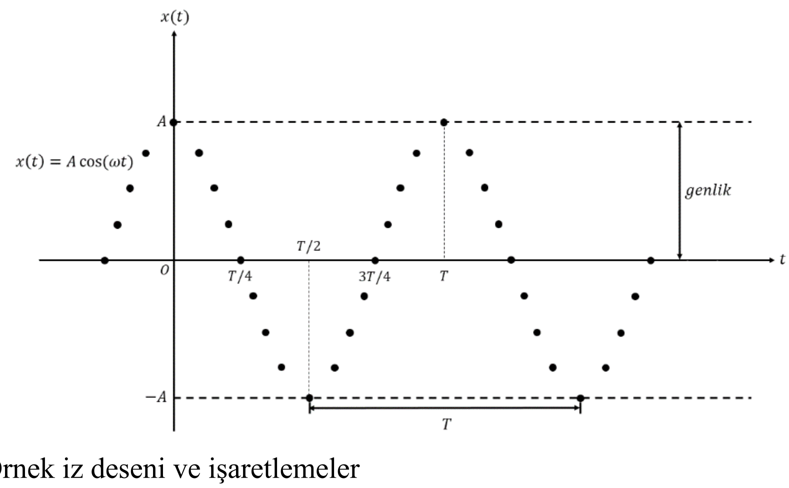
Deneyin bu kısmında hava masası deney seti kullanılacaktır.

1. Deney masasının elektrik şalterini açınız.
2. Hava kompresörü ve ark kronometresinin fişlerini takınız.
3. Hava masasını yatay olarak hizalamak için disklerden birini hava masasının ortasına getiriniz. Diskin ortada durmasını sağlayacak şekilde hava masasının ayaklarındaki vidalı ayakları çeviriniz.
4. Hava masasının üzerindeki karbon kağıdı üzerine parşömen kağıdını seriniz.
5. Yay sabitlerini belirlediğiniz yayları ve disklerden birini kullanarak Şekil 10.4'teki sistemi kurunuz.



Şekil 10.4. Basit harmonik hareket deney düzeneği

6. İz kağıdını plastik çubuğun altından geçiriniz ve masanın kenarından hafifçe sarkıtınız.
7. Ark kronometresinin zaman aralığını istediğiniz bir değere ayarlayınız, aşağıya kaydediniz.
   t_{ark} =...
8. Diski yatay doğrultuda bir miktar çekiniz ve salınıma bırakınız. Bu esnada ark pedalına basarak kağıdı sabit bir hızla yavaşça çekiniz. Şekil 10.5'tekine benzer bir iz deseni elde etmeye çalışınız. (İyi bir iz deseni elde edene kadar bu işlemi tekrarlayınız.)



Şekil 10.5. Örnek iz deseni ve işaretlemeler

9. İz deseni üzerinde eksen takımını yerleştiriniz. Genlik değerini ölçünüz ve aşağıya kaydediniz. $A = \ldots$

10. Ark kronometresinin zaman aralığı (t_{ark}) iz kağıdı üzerinde iki nokta arasında geçen zamana karşılık gelir. İki tepe, iki çukur veya özdeş iki nokta arasında kaç aralık olduğunu sayınız ve bu değeri, (t_{ark}) ile çarparak hareketin periyodunu belirleyiniz, açısal frekansı hesaplayınız.

$T = aralık\ sayısı \times t_{ark} = \ldots$

$\omega = 2\pi/T = \ldots$

11. Şekil 10.5'te iz kağıdı üzerinde yapılan çizim $Acos(\omega t)$ eğrisidir. $Asin(\omega t)$ eğrisi için nasıl bir eksen takımı yerleştirilmelidir, çizerek açıklayınız.

12. İdeal durumda $Acos(\omega t)$ formundaki bir basit harmonik hareket için zamana bağlı olarak cismin sahip olacağı yerdeğiştirmeler Tablo 10.2'de verilmiştir. t değerlerine karşılık gelen yerdeğiştirmeleri iz kağıdından ölçünüz.

13. Denklem (10.5)'ten yararlanarak, diskin hızını hesaplayınız ve Tablo 10.2'ye kaydediniz.

Tablo 10.2. Basit harmonik hareket deneyi için ölçüm ve hesaplamalar

Zaman	**İdeal yerdeğiştirme**	**Ölçülen yerdeğiştirme, $x(cm)$**	**Hız, $v(m/s)$**
$t = 0$	$+A$		
$t = T/4$	0		
$t = T/2$	$-A$		
$t = 3T/4$	0		
$t = T$	$+A$		

- Diskin hareketi ideal bir harmonik hareket midir? Değilse, hataların kaynağı nedir?
- Hız değerlerindeki değişimi yorumlayınız.

14. Yay-disk-yay sisteminde diske etki eden toplam kuvvet

$$F_{net} = -k_1 x - k_2 x = -(k_1 + k_2)x = -k_{eş} x$$

olduğundan sistemin yay sabiti $k_{eş} = k_1 + k_2$ olmalıdır. Bu bağıntı yardımıyla sistemin yay sabitini bulunuz ve periyodu hesaplayınız.

$k_{eş} = k_1 + k_2 = \ldots$ $\qquad$ $T = 2\pi\sqrt{m_{disk}/k_{eş}} = \ldots$

15. Hesapladığınız T değerini, 1. adımda iz kağıdı üzerinden bulduğunuz değerle karşılaştırınız ve sonucunuzu yorumlayınız.

16. Eğer cismin hızı biliniyorsa, $K = \frac{1}{2} m_{disk} v^2$ ifadesi kullanılarak kinetik enerjisi, sistemin yay sabiti biliniyorsa; $U = \frac{1}{2} k_{eş} x^2$ ifadesi kullanılarak potansiyel enerjisi hesaplanabilir. $E_{toplam} = K + U$ ile sistemin toplam enerjisi bulunabilir. Tablo 10.2'de yer alan ölçülen yerdeğiştirme ve hız değerlerini kullanarak Tablo 10.3'teki gerekli hesaplamaları yapınız.

Tablo 10.3. Basit harmonik hareket deneyi için hesaplamalar

Zaman	**Ölçülen yerdeğiştirme,** x (cm)	**Hız** v (m/s)	K **(J)**	U **(J)**	E_{toplam} **(J)**
$t = 0$					
$t = T/4$					
$t = T/2$					
$t = 3T/4$					
$t = T$					

- Kinetik enerji ve potansiyel enerjideki değişimleri yorumlayınız, cismin toplam enerjisinin sabit kalıp kalmadığını inceleyiniz.

17. Basit harmonik hareket yapan bir cismin toplam enerjisi aşağıda verilmiştir. Bu ifade yardımıyla cismin toplam enerjisini hesaplayınız.

$E_{toplam} = \frac{1}{2} k A^2 =$...

Bu değeri, Tablo 10.3'te belirlediğiniz E_{toplam} değeri ile karşılaştırınız, hata kaynaklarını belirtiniz.

Kaynaklar

Kittel, C., Knight, W.D., Ruderman M. A. (1973). Berkeley Fizik Dersleri Cilt 1 (2th edition). McGraw Hill Book Company, 240-249.

Serway, A. R., Jewett, J.W. (2004). Physics for Scientists and Engineers (6th Edition). Thomson Brooks/Cole, 300-304.

Young, H.D., Freedman, R. A. (2011). University Phyisics with Modern Phyisics (13th Edition). Person, 289-296.