

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN FAKÜLTESİ FİZİK BÖLÜMÜ

FİZ 203
Laboratuvar Deney Föyü



İÇİNDEKİLER

LABORATUVAR KURALLARI	4
DENEY RAPORUNUN HAZIRLANMASI	5
DENEY RAPORUNUN PUANLAMASI	5
GRAFİK ÇİZİMİ VE DEĞERLENDİRMESİ İLE İLGİLİ ÖNEMLİ NOKTALAR.....	6
A. GİRİŞ.....	7
B. HAVA MASASI NEDİR?	7
B.1. Hava Masasının Çalıştırılması	7
C. FİZİKSEL ÖLÇÜMLER VE HATALAR	8
C.1. Sistematiik hatalar	8
C.2. İstatistiksel hatalar	9
D. GÜVENİLİR SAYILAR.....	14
E. GRAFİK ÇİZME VE GRAFİKTEN YARARLANMA.....	15
E.1. Grafik Çiziminde Başlıca Kurallar	15
E.1.1. Koordinat Eksenlerinin Seçimi ve İşaretlenmesi	15
E.1.2. Ölçek Seçimi	16
E.1.3. Verilerin İşaretlenmesi	16
E.1.4. Grafiğin Çizilmesi	16
F. DOĞRUSAL OLMAYAN GRAFİKLER.....	21
F.1. Ters Orantı Grafiği	21
F.2. Kare Kanunu Grafiği.....	22
F.3. Ters Kare Kanunu Grafiği	23
F.4. Üstel İlişki	24
G. ULUSLARARASI BİRİM SİSTEMİ	24
1. Deney : Serbest Düşme.....	27
1.1. Deneyin Amacı	27
1.2. Teorik Bilgiler	27
1.3. Deneyin Yapılışı	28
2. Deney : Düzgün Doğrusal Hareket	31
2.1. Deneyin Amacı	31
2.2. Teorik Bilgiler	31
2.3. Deneyin Yapılışı	32
3. Deney : Basit Sarkaç	33
3.1. Deneyin Amaç	33
3.2. Teorik Bilgiler	33
2.3. Deneyin Yapılışı	34
4. Deney : Açısal Hız ve Dönme Eylemsizlik Momenti	36
4.1. Deneyin Amacı	36
4.2. Teorik Bilgiler	36
4.3. Deneyin Yapılışı	38
5. Deney : Atwood Makinası ve Newton'un II. Hareket Kanunu	41
5.1. Deneyin Amacı	41
5.2. Teorik Bilgiler	41

5.3.Deneyin Yapılışı	43
6. Deney : Hooke Kanunu	45
6.1. Deneyin Amacı	45
6.2. Teorik Bilgiler	45
6.3. Deneyin Yapılışı	45

LABORATUVAR KURALLARI

- Her öğrenci derse gelirken, deney föyünü, çok fonksiyonlu bir hesap makinesini, milimetrik kâğıdını ve en az 20 cm'lik bir cetvelini getirmelidir.
- Öğrenci derse gelmeden önce, Ek-2'deki tabloda belirtildiği gibi yapacağı deneyin teorik bilgilerini boş beyaz kâğıda siyah veya mavi tükenmez veya pilot kalemle yazacaktır. Ön hazırlığı yapmadan gelen öğrencinin deney raporu 60 puan üzerinden değerlendirilecektir.
- İlgili asistanlar, teorik bilginin hazırlanıp hazırlanmadığını paraf atarak kontrol edeceklerdir.
- Deneyin yapılışı yazılırken, kullanılan deney düzeneği çizilecektir.
- **Zaman kalması durumunda telafi deneyi yapılacaktır.**
- Belirtilen süre içinde gelmeyen raporlar değerlendirmeye alınmayacaktır.
- Öğrencinin gelmediği veya teslim etmediği deneye ait rapor notu, 0 (sıfır) olarak değerlendirilecektir.
- **Öğrenci, laboratuvar dersine gelmediği hâlde, yapmadığı deneyin raporunu veremez.**
- Öğrenci, hazırladığı deney raporunun aslını vermek zorundadır. Deney raporunun fotokopisi kabul edilmez. Öğrenciler teslim ettikleri raporlarını geri alamayacaklardır.
- **Rapor, mavi ya da siyah tükenmez veya pilot kalem ile yazılacaktır.**
- Hesaplamalar kısmında, hesaplamalarda kullanılan formüller belirtilecek, en az bir örnek hesaplama gösterilecek, bulunan değerlerin birimleri yazılacak, varsa ilgili tablo veya tablolar doldurulacaktır.
- Ek-3'te belirtilen grafik çizim kurallarına uygun olarak, grafikler, milimetrik kâğıda kurşun kalem ile çizilecektir.
- **Ara sınav haftasında, laboratuvar dersi yapılmayacaktır.**
- Öğrenciler tüm rapor notlarını ve ortalamasını dönem sonunda öğrenir.

DENEY RAPORUNUN HAZIRLANMASI

1.	Öğrenci No: Adı-Soyadı: Şube Numarası: Fakültesi:	Sol kısımda listelenen ilk beş maddeden oluşan kısım, boş beyaz kâğıda <u>deneye gelmeden önce</u> yazılacaktır. (Ön Hazırlık)
2.	Deney No:	
3.	Deneyin Adı:	
4.	Deneyin Amacı:	
5.	Teorik Bilgi	
6.	Deneyin Yapılışı: (Deneyde kullanılan alet ve malzemelerin listesi ve devre şeması ile birlikte)	6., 7. ve 8. maddeler <u>dene yapıldıktan sonra</u> yazılacaktır.
7.	Ölçüm ve Hesaplamalar	
8.	Sonuç ve Yorum	

DENEY RAPORUNUN PUANLAMASI

Grafik çizilmesi gereken deneyler için:

Deney No, Deneyin Adı, Deneyin Amacı, Teorik Bilgi40 Puan
Deneyin Yapılışı10 Puan
Ölçüm ve Hesaplamalar15 Puan
Sonuç ve Yorum20 Puan
Grafikler15 Puan

Grafik çizilmesini gerektirmeyen deneyler için:

Deney No, Deneyin Adı, Deneyin Amacı, Teorik Bilgi40 Puan
Deneyin Yapılışı15 Puan
Ölçüm ve Hesaplamalar20 Puan
Sonuç ve Yorum25 Puan

GRAFİK ÇİZİMİ VE DEĞERLENDİRMESİ İLE İLGİLİ ÖNEMLİ NOKTALAR

Laboratuvar derslerinde grafik çizerken ve değerlendirilirken dikkat edilmesi gereken noktalar aşağıdaki gibidir.

1. Eksenler uygun seçilmelidir.
2. Eksenlere uygun bölmelendirme işlemi yapılmalıdır ve **eksenlerde sayısal değerler doğru şekilde gösterilmelidir.**
3. **Eksenlerin birimleri kesinlikle yazılmalıdır.**
4. Varsa eksen çarpanları eksenlere yazılmalıdır.
5. Deney verilerine ait noktalar grafikte doğru işaretlenmelidir.
6. Noktaların çoğundan geçen eğri doğru çizilmelidir.
7. Grafik üzerinde eğimin bulunuşu düzgün gösterilmelidir.
8. Eğim doğru hesaplanıp birimleri doğru yazılmalıdır.
9. Eğimin hangi fiziksel niceliği gösterdiği belirtilip sonuç doğru verilmelidir.

Değerlendirmede bunlar dikkate alınacaktır. Bunlardan biri eksik olursa grafik çizimi doğru sayılmaz.

A. GİRİŞ

Bu el kitabında Hava Masası deney düzeneği ile yapılabilecek fizik deneylerinden yalnızca bir kısmı verilmiştir. Zamanla bize ulaşacak öneri ve eleştirilerle, kapsamı ve deney düzeni yönünden daha yararlı bir yapının oluşacağı inancındayız.

Deneyler kısa kurumsal bir hatırlatma ile başlamaktadır. Daha sonra öğrencinin deneyi nasıl yapacağı ve deneysel verileri nasıl değerlendireceği ele alınmıştır. Değişik sorular hem öğrenciye yol göstermekte, hem de elde ettiği sonuçları kontrol edebilmesini sağlamaktadır. Deneylerin bu düzen içinde yürütülmesinde amaç, öğrencinin olabildiğince yaratıcılık ve bağımsız uygulama yeteneklerini ortaya koyabilmektir. Umut ederiz ki amaçlanan sonuca yaklaşılmıştır.

B. HAVA MASASI NEDİR?

Hava Masası deney düzeneği başlıca aşağıdaki birimlerden oluşmaktadır:

- a. Hava Masası,
- b. Diskler,
- c. Ark kronometresi,
- d. Ark pedalı

Kompresörden gelen basınçlı hava, dağıtıcı plastik hortumlardan geçerek disklerle ulaşır. Diskler zincirler yardımıyla ark kronometresine bağlanmıştır. Disk ve masa yüzeyi arasında oluşan hava yastığı disklerin sürtünmesiz olarak yüzmesine neden olur. Masa yüzeyi ve diskler arasına sırasıyla iletken karbon kâğıdı ve deney veri kâğıdı konulmuştur. Ark kronometresinin oluşturduğu zaman aralıklı kıvılcımlar, yüzen disklerin etkileşimi sırasında disk konumlarının saptanmasını sağlar. Dolayısıyla deney sonuçları gözlenebilir ve grafiksel olarak kaydedilir. Ark kronometresinin çalıştırılması el pedalıyla kontrol edilir. Değişik aksesuarlardan nasıl yararlanılacağı ilgili deneylerde ayrıca anlatılmıştır.

B.1. Hava Masasının Çalıştırılması

1. Deney kâğıdını (50x55 cm büyüklüğünde beyaz kâğıt) karbon kâğıdının üstüne koyunuz. Kâğıdı yapıştırmayınız. Kompresörden gelen hava, plastik hortumlarla disklerle ulaşarak masa yüzeyi ile diskler arasındaki sürtünmeyi minimuma indirecek ve disklerin hareketini sağlayacaktır.

2. Ark pedalını rahatlıkla kullanabileceğiniz bir yere koyunuz. Disklerin izlerini belirlemek isterseniz ark pedalına basınız. Deneyde disklerden yalnızca birini kullanmak isterseniz, diğer

diski masanın uygun bir köşesine, karbon kâğıdının üstünde kalacak şekilde bırakınız ve altına bir kâğıt parçası koyarak deney sırasında hareketsiz kalmasını sağlayınız.

3. Hava masasını yatay duruma getirmek için disklerden birini masanın ortasına, diğerini masanın bir köşesine koyunuz. Hava masasını açtığınızda ortadaki disk hareket etmeye başlar. Masanın iki ayağının vidalarını kullanarak diskin hareketsiz kalmasını sağlayınız. Bu durumda masa yatay duruma gelmiş demektir.

4. Her iki disk deney kâğıdının üstüne koyunuz. Hava masasını açınız, diskleri hafifçe itiniz ve ark pedalına basınız. Diskler masanın kenarına geldiğinde ark pedalını serbest bırakınız ve kâğıdı çekerek çıkarınız. Deney kâğıdının arka yüzünde disklerin kıvılcım izlerini göreceksiniz. Ark kronometresinin frekansını değiştirerek aynı işlemi yineleyiniz. Böylece Hava Masası deney yapmaya hazır duruma gelmiştir.

UYARI

Hava masasının yüzeyi camdır, kırılabilir. Karbon kâğıdının son derece pürüzsüz ve düzgün olması gerekir. Bu nedenle hava pedalına basmadan diskleri kâğıt üzerinde sürüklemeyiniz, yüzeyin düzgünlüğü bozulabilir. Deney kâğıdına hava masasında iken hiçbir şey yazmayınız. Disklere ek kütleler takarken dikkatli olunuz, kütleler simetrik oturmalıdır.

C. FİZİKSEL ÖLÇÜMLER VE HATALAR

Fizikte hiçbir ölçüm hatasız değildir. Deneylerde bulunan sayısal sonuçlar ölçüm hataları belirlenmedikçe hiçbir anlam ifade etmez. Yani her ölçülen sonuçta, bu sonucun güvenilirlik sınırları yani hata sınırları belirtilmelidir. Bu amaçla hataların saptanmasına ilişkin bazı pratik bilgiler sunulmuştur.

İki cins hata vardır: Sistemik ve istatistik hatalar.

C.1. Sistemik hatalar

Bu tip hatalar, adından anlaşılacağı gibi sistemin kendisinden gelen sabit hatalardır ve sonucu sürekli olarak aynı yönde etkilerler. Örneğin, 1 kilogramdan daha ağır bir kilo ile ağırlıklar ölçülmüşse, ölçüm sonucu aynı oranda daha küçük olacaktır. Bu tip hataların var olması durumunda hatalar tek yönlüdür; ya sürekli daha büyük ya da daha küçüktür. Sistemik hatalar aşağıdaki yöntemlerle giderilebilir.

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

C.2. İstatistiksel hatalar

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

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

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_N}{N} \quad (C.1)$$

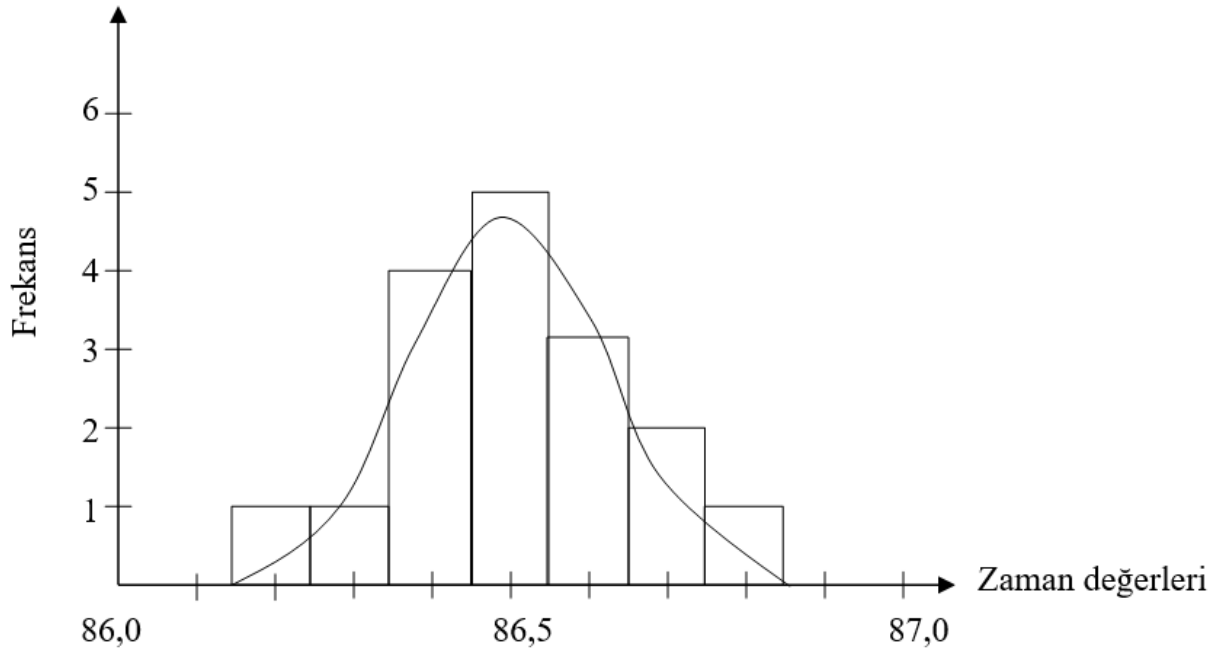
Elde edilen $\bar{x}$ değeri, x 'in en yaklaşık değeridir. O halde bir büyüklük N kez ölçülmüşse, ortalama değerini ölçüm sonucu olarak alabiliriz. Bulunan ölçüm sonucu, ölçüm sayısı N 'le orantılı olarak güvenilirliği artırıyor olmasına rağmen deneylerde kısıtlı zamana sahip olduğumuzdan makul sayıda tekrarla yetinmek zorundayız.

$\bar{x}$ ortalama değerindeki hata nedir? Bunu saptamak için aşağıdaki tabloda görüleceği şekilde "histogram" dediğimiz dağılım tablosundan yararlanabiliriz. Örneğin, zaman ölçtüğümüz bir deneyi 17 kez yineleyelim ve ölçüm sonuçları Tablo C.1'deki gibi olsun.

Tablo C.1.

Ölçüm sayısı	Zaman	Ölçüm sayısı	Zaman
1	86.2	10	86.8
2	86.5	11	86.5
3	86.4	12	86.5
4	86.5	13	86.4
5	86.7	14	86.6
6	86.6	15	86.3
7	86.6	16	86.7
8	86.5	17	86.4
9	86.4		

Bu sonuçlar incelendiğinde görüleceği gibi 5 kez 86.5, 4 kez 86.4 vs. ölçülüyor. Eğer ölçülen değere karşılık, bu değer kaç kez ölçüldüğünü bir grafik üzerinde gösterirsek, Şekil C.1'deki gibi bir histogram ya da frekans dağılım eğrisi elde ederiz.

**Şekil C.1.** Frekans dağılım eğrisi

Denklem (C.1) ile elde edilen $\bar{x}$ değerinin ne derece güvenilir olduğunun bilinmesi gerekir. Bu örnek için $\bar{x} = 86.5$ 'dir. Hataların saptanmasında uygulanan genel bir yöntem ortalama sapma değerinin saptanmasıdır. Örneğin, x_i ölçümündeki sapma, Denklem (C.2) ile ortalama sapma ise Denklem (C.3) ile hesaplanır.

$$d_i = x_i - \bar{x} \quad (C.2)$$

$$\bar{d} = \frac{(|d_1| + |d_2| + \dots + |d_N|)}{N} \quad (C.3)$$

Ortalama sapma değeri istatistiksel hata olarak alınabilir. Biraz önceki 17 ölçüm yapılan deneye dönersek Denklem (C.3)'ü kullanarak $\bar{d} = 0.1$ sn bulunur. x 'in ölçüm sonucu $x = \bar{x} \pm \bar{d}$ şeklinde ifade edilir. Bu durumda ele aldığımız örnek için $x = (86.5 \pm 0.1)$ sn olur.

Bazı hallerde hatalar hata yüzdesi olarak verilir. Bu durumda hata yüzdesi $(\bar{d}/\bar{x}) \times 100\%$ olacağından daha önceki örnek için hata yüzdesi $(0.1/86.5) \times 100\% = 0.1\%$ ve dolayısıyla ölçüm sonucu, $x = 86.5$ sn $\pm 0.1\%$ olarak bulunur. Bu örnekten görüleceği gibi N tane ölçüm için ortalama değerden sapma, ölçülen değerin hassaslığının saptanmasında bir ölçü olabilir. Ancak bu sapma miktarı gerçek hata değildir. Bu yalnızca istatistik hatanın saptanmasında bir yaklaşım olarak düşünülmelidir. Laboratuvar çalışmalarında öğrenci, ortalama değerden sapma olmasına rağmen, $\bar{d}$ 'yi hata olarak alabilir. Bir seri ölçüm sonucunda $\bar{d}$ küçük ise $\bar{x}$ 'in hassas olarak, $\bar{d}$ büyük ise daha az hassaslıkla ölçülmüş olduğunu gösterir. Yani ortalama sapma istatistik hatanın büyüklüğünün saptanmasında bir kıstas olarak kullanılabilir. Ortalama değer ve sapmanın anlamlı olabilmesi N sayısının büyüklüğüyle orantılı olacağından, öğrenci laboratuvar çalışmalarında N ölçüm sayısının saptanmasında pratik bir yaklaşım yapmalıdır.

İstatistik hataların saptanmasında çok kullanılan başka bir yöntem de standart sapmayı (σ) kullanmaktır.

$$\sigma = \left[\frac{(d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_N^2)}{N - 1} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (C.4)$$

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 $\pm$ standart sapma aralığında olacaktır.

Ölçümlerin çok sayıda yinelenmesinin 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 1 mm 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 direkt olarak yapılamaz. Başka değerler ölçülür ve belirlenmesi istenen fiziki büyüklük hesaplanır. Bu durumda değişik büyüklüklerin ölçümünden gelecek hata paylarının sonuç üzerindeki bileşik etkisinin saptanması gerekir. Bu durumlarda hataların hesabında kullanılacak yöntemleri kısaca inceleyelim.

$r = f(x, y, z)$ bağıntısıyla verilen r fiziki büyüklüğünün, x, y, z büyüklüklerinin ölçümüyle hesaplanacak olduğunu 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,

$$\Delta r \leq |f(x + \Delta x, y, z) - f(x, y, z)| + |f(x, y + \Delta y, z) - f(x, y, z)| + |f(x, y, z + \Delta z) - f(x, y, z)| \quad (C.5)$$

şeklinde olacaktır. Pratik olmayan bu ifade aslında kısmi türevler şeklinde yazılabilir. Bu durumda ifade Denklem (C.6)'da ki gibi olacaktır.

$$\Delta r = \left| \left(\frac{\partial f}{\partial x} \right) \cdot \Delta x \right| + \left| \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right) \cdot \Delta y \right| + \left| \left(\frac{\partial f}{\partial z} \right) \cdot \Delta z \right| \quad (C.6)$$

Yukarıdaki ifadenin uygulanması ile ilgili birkaç örnek aşağıda verilmiştir.

a. Toplama

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

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

Toplamdaki hata, hatalar toplamına eşittir.

b. Çıkarma:

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

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

Farktaki hata, hata toplamada olduğu gibi hatalar toplamına eşittir.

c. Çarpma

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

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

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

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

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

d. 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.

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

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

e. Üstel fonksiyon:

$r = x^n$ ise (n herhangi bir sayı),

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

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

x 'in n inci kuvveti için hata oranı, x 'in hata oranının n katıdır.

f. 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: Deneyisel Değer

$$\text{Mutlak Hata} = |TD - DD|$$

Teoriden ne kadar uzak olduğumuzu gösterir.

$$\text{Bağıl Hata} = |TD - DD|/TD$$

Mutlak hatanın teoriye ne kadar bağlı olduğunu gösterir.

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

D. GÜVENİLİR SAYILAR

Deneylerde verilen sayısal sonuçlar ölçüm hassaslığıyla 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 bu 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 bir kumpasla 0.01 cm hassaslıkla ve B kenarı 1 mm bölmeli bir cetvelle ölçülerek,

$$A = 5.34 \pm 0.01 \text{ cm}$$

$$B = 124.2 \pm 0.1 \text{ cm}$$

bulunmuş olsun. Bu dikdörtgenin alanı, $A.B = (5.34 \times 124.2) = 663.228 \text{ cm}^2$ olarak alınamaz. Bu sonuç yanlış olur, çünkü A ve B ölçümlerinin anlamlı rakam sayısı 3'tür ve çarpma işleminde elde edilen sonuçtaki anlamlı rakam sayısı, duyarlılığı en az olan çarpandaki anlamlı rakam sayısı ile aynıdır. Burada en az duyarlıdan kasıt, en az sayıda anlamlı rakamı olandır. Buna göre çarpım sonucu;

$$S = A.B = 663 \text{ cm}^2 \text{ alınmalıdır.}$$

A ve B deki ölçüm hatalarına bakıldığında A.B çarpımındaki hata kolayca belirlenir. A'nın ölçümündeki bağıl hata $\frac{\Delta A}{A} = \frac{0.01}{5.34} = 0.002 \approx \% 0.2$ ve B'nin ölçümündeki bağıl hata $\frac{\Delta B}{B} = \frac{0.1}{124.2} = 0.001 \approx \% 0.1$ 'dir. Dolayısıyla A.B de olası en büyük hata %0.3 olacaktır. Alandaki hata (ΔS);

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta B}{B}$$

$$\frac{\Delta S}{663} = 0.002 + 0.001$$

$$\Delta S = 663 \times 0.003 = 1.989 \approx 2$$

bulunur ve sonuç,

$$S = (663 \pm 2) \text{ cm}^2$$

olarak alınır. Deneylerde önemli olan sonuçlardaki hata sınırlarının belirlenmesidir.

E. GRAFİK ÇİZME VE GRAFİKTEN YARARLANMA

Deney sonuçlarının grafiklerle verilmesi, pratik ve kolay anlaşılır oluşu nedeniyle hemen her bilim dalında yaygın olarak kullanılır. Grafikler deney verilerinin görselleştirilmesini ve değişkenler arasındaki ilişkinin rahatlıkla yorumlanmasını sağlayan ölçekli çizimlerdir. Grafikler aynı zamanda deneyde alınamayan verileri kestirmekte ya da hesaplamalarda çokça kullanılmaktadır. Grafikler, her türlü bilgiyi, herkes tarafından kolaylıkla anlaşılacak şekilde vermektedir.

Deneyssel 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 arasında bağıntı bulunmasa bile grafik yardımıyla, yapılmayan deneylerin de tahmin edilmesine olanak sağlar.

E.1. 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 kâğıdına grafiğin adı yazılmalıdır. (Örnek: Konum-Zaman Grafiği)
- Eksenlerin hangi değişkenleri ifade ettiği ve birimlerinin ne olduğu yazılmalıdır.
- Rakamlar kolayca okunabilir şekilde yerleştirilmelidir.
- Ölçeklendirme tüm grafiği kapsayacak şekilde yapılmalıdır.

E.1.1. Koordinat Eksenlerinin Seçimi ve İşaretlenmesi

Grafik çizerken, zaman gibi bağımsız değişkenler yatay eksene (apsis), serbest düşen cismin yüksekliği gibi bağımlı değişkenler ise dikey eksene (ordinat) yerleştirilir. Bu durumda çizilen grafik, $\text{Bağımlı Değişken} = f(\text{Bağımsız Değişken})$ fonksiyonunun grafiğidir. Bağımlı değişken, bağımsız değişkendeki değişiklikten etkilenebilecek olan değişkendir. Değişkenler ilgili eksenlere yerleştirilirken bu eksenlere değişkenlerin adı ve parantez içinde birimleri yazılır.

E.1.2. Ölçek Seçimi

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

➤ Deneysel ölçümler tam sayılardan oluşabileceği gibi ondalıklı sayılardan da oluşabilir. Her iki durumda da yapılması gereken alınan ölçümlerin tanımlı olduğu bir tam sayı aralığı belirlemek ve eksenini buna göre ölçeklendirmektir. Bunun için ilgili değişkenlerin aldığı en düşük ve en yüksek değer göz önünde bulundurulur. Daha sonra bu aralıktaki değerler her defasında aynı mesafede aynı miktarda artış yapılacak şekilde eksenlere yerleştirilir. Her bir eksen bölümlendirilirken farklı aralıklar ile (örneğin x eksenini 0,02 birim aralıklarla y eksenini 5 birim aralıklarla) bölmelendirilebilir. Önemli olan eksenlerin bölmelendirilmesinin kendi içinde eşit olmasıdır.

➤ Veriler çok büyük ya da çok küçük sayılardan oluşuyorsa, 10^n 'un kuvvetleri şeklinde yazılmalı ve ölçek seçimi buna göre yapılmalıdır. Grafik kâğıdında üslü ifade parantez içinde değişkenin birimi ile birlikte yazılır. Örneğin ekseninde 0,001 cm, 0,004 cm vb. değerler 1 ve 4 olarak yazılırken eksen isminin yanına ($\times 10^{-3}$) çarpanı eklenir. Birim yine parantez içinde (cm) olarak belirtilir.

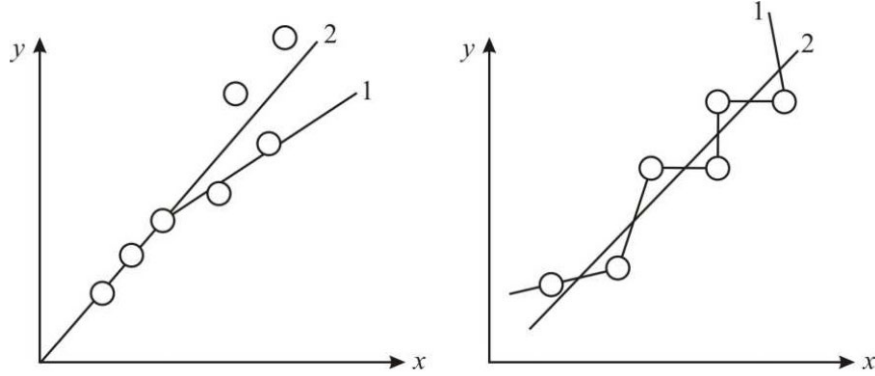
➤ **Verilere bağlı olarak, her iki eksen üzerindeki değerlerin sıfırdan başlaması zorunlu değildir.** Yani eksenlerden biri sıfır ile başlarken diğer eksen farklı bir değer ile başlayabilir ya da her iki ekseninde sıfırdan farklı değerler ile başlayabilir. Bu nedenle eksenlerin başlangıç değerleri her zaman için grafikte belirtilmelidir.

E.1.3. Verilerin İşaretlenmesi

Deney sonucu elde edilen, birbirinin karşılığı değerlerin çakıştığı noktalar tespit edilerek grafik üzerinde işaretlenir (noktaların eksenlere olan izdüşümleri işaretlenmez). x ve y eksenindeki değerler kesikli çizgilerle kesiştirilmez. Her veri için birer hata payı hesaplamasının ve ölçüm hatalarıyla orantılı büyüklükte hata paylarının da grafikte gösterilmesi önemlidir. Çizimlerde hata payları istenmediği sürece veriler grafik üzerinde yuvarlak içine alınarak gösterilebilir. **Grafiğin rahatlıkla okunabilmesi için, koordinatlara sadece belirlenen ölçek değerleri yazılmalı, deneyde ölçülen veri değerleri yazılmamalıdır.** Grafik mümkün olduğunca sade olmalı, grafiğe bakıldığında veriler rahatlıkla okunabilmelidir.

E.1.4. Grafiğin Çizilmesi

Tüm deneysel noktalar tespit edildikten 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.** Yani, hata paylarını dengelemek için doğru ya da eğrinin altında ve üstünde kalan noktaların sayılarının birbirine yakın olması beklenir. Eğer çizilen grafiğin uzantısı orijinden geçiyorsa, eğri orijinle birleştirilir. Çizilen grafiğin tüm veri noktalarından geçmesi şartı yoktur. Şekil E.1’de doğru ve yanlış çizilmiş bazı örnek grafikler verilmiştir.



Şekil E.1. Grafik çiziminde 1 yanlış çizimi; 2 doğru çizimi göstermektedir.

Doğrusal desen elde edilen grafiklerde grafik üzerinde bir takım analiz işlemleri yapılır. Çünkü doğrusal grafikler için, $y = f(x)$ fonksiyonu, $y = ax + b$ şeklinde ifade edilebilir. Bu ifade genel doğru denklemdir. Burada b, doğrunun düşey eksenini kestiği nokta, a ise doğrunun x eksenine (yatay eksene) göre eğimidir. Bu doğru denkleminde yararlanarak, iki değişken arasındaki ilişki formülleştirilebilir. Bu ifadede, b sabitini bulmak kolaydır. Ancak, a katsayısını bulmak için birtakım işlemler gerekmektedir. Bunun için, grafik üzerinden deneysel noktalar dışında iki nokta seçilir ve bu noktalardan eksene paralel çizilerek bir üçgen oluşturulur. Üçgenin yatay eksen ile yaptığı açı işaretlenir ve bir isim verilir. Bu üçgenin eğimi alınarak, doğrunun eğimi bulunur. Doğrunun eğimi, a katsayısını verir.

Böylece, $y = ax + b$ ifadesindeki tüm bilinmeyenler bulunmuş olur. İki değişken arasındaki ilişki böylelikle formülleştirilir.

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

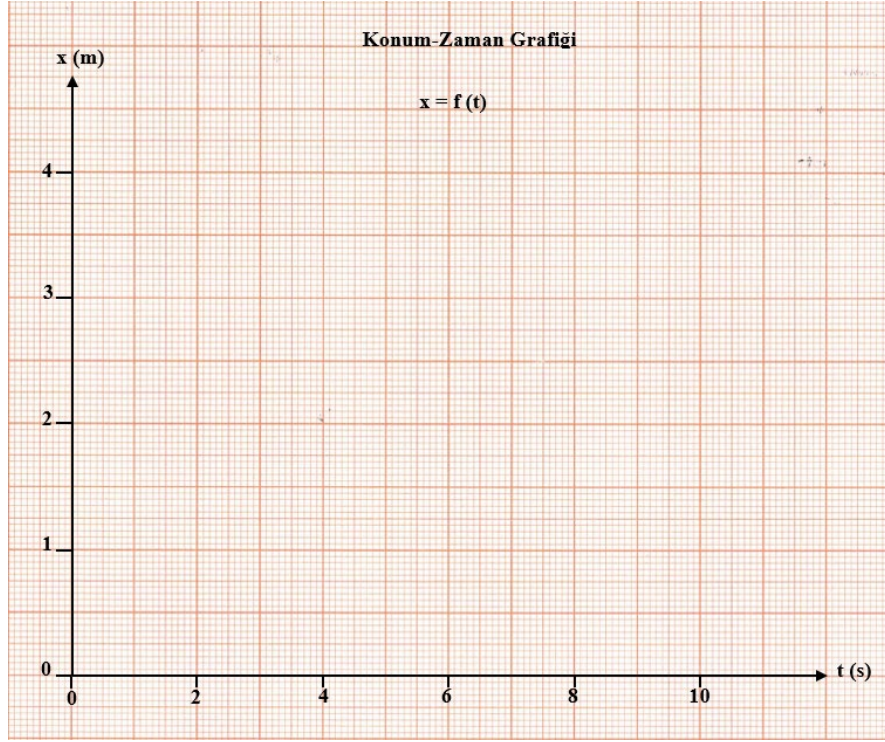
Tablo E.1. Konum-zaman ölçümleri

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

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

- **Öncelikle, bağımlı ve bağımsız değişkenler tespit edilerek bağımsız değişkenin yatay ekseninde, bağımlı değişkenin dikey ekseninde olacağına dikkat edilmelidir. Bu, evrensel olarak kabul görmüş bir uygulamadır.** Bu örnek için bağımsız değişken zaman (t(s)) ve bağımlı değişken konum (x(m))'dur. Dolayısıyla grafikte zaman değişkenine ait değerler yatay eksene, konum değişkenine ait değerler düşey eksene yerleştirilecektir. Bu tespit yapıldıktan sonra eksenler çizilmeden ölçeğin belirlenmesi gerekir.

- Ölçeğin belirlenebilmesi için öncelikle ölçümlerin tanımlı olduğu tam sayı aralıkları tespit edilir. Bu değerler belirlendikten sonra kaç karede bir düzenli artışın yapılacağına karar vermek gerekir. Burada dikkat edilecek husus, belirlenecek ölçeğin grafik kâğıdından taşmamasıdır. Bunun için öncelikle kaç tane kare kullanılacağına karar vermek gerekir. Örneğin, elimizde zaman değerleri için en büyük değer 10 s'dir. Zaman ekseni olan yatay ekseninde 10 büyük kutucuk kullanılabilir. Buna göre, 1 büyük kutucuk 1 s'ye karşılık gelir. Aynı zamanda 1 küçük kutucuk ise 0,1 s'ye karşılık gelir. Bu yatay eksen için belirlediğimiz ölçektir. Konum değerleri için en büyük değer 3,8 m olarak ölçülmüştür. Bu ölçümün en yakın olduğu tam sayı 4 m'dir. Bu değere göre dikey ekseninde 8 büyük kutucuk kullanılabilir. Bu durumda, 1 büyük kutucuk 0,5 m'ye karşılık gelir, 1 küçük kutucuk ise 0,05 m olacaktır. Ölçek oluştururken mümkün olduğunca 1 küçük kutucuğun devirli sayılardan oluşmayacak şekilde seçilmesine dikkat edilmelidir. Ölçeğimizi yerleştirirken eşit aralıklarla yerleştirmeliyiz. Belirlenen ölçeğe göre elde edilen grafik Şekil E.2'de verilmiştir.

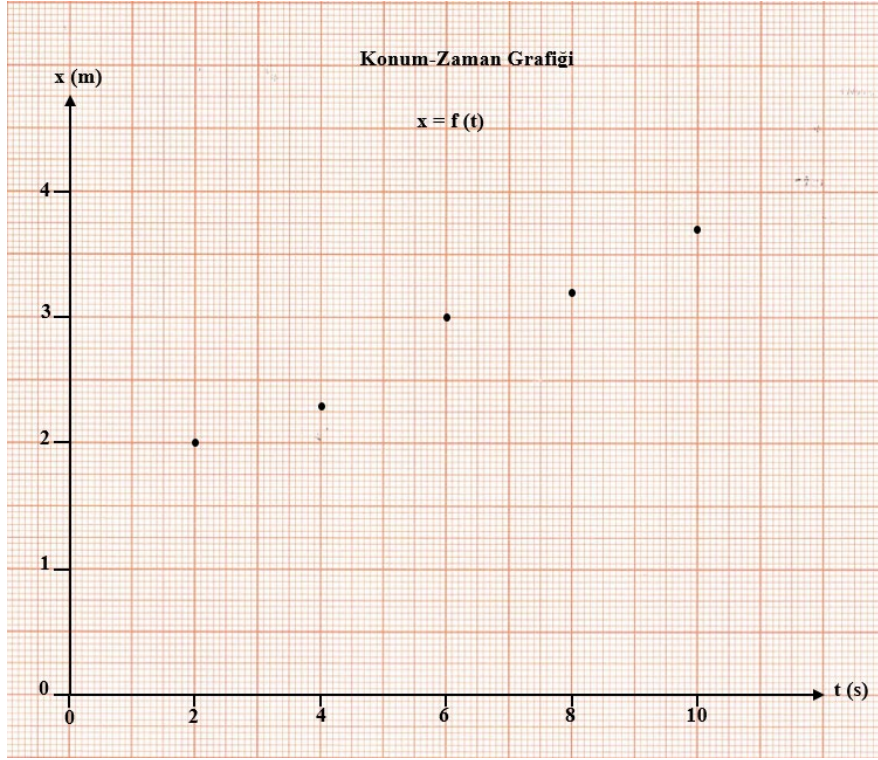


Şekil E.2. Ölçeğin belirlendiği ve eksenlerin yerleştirildiği durum

Önemli:

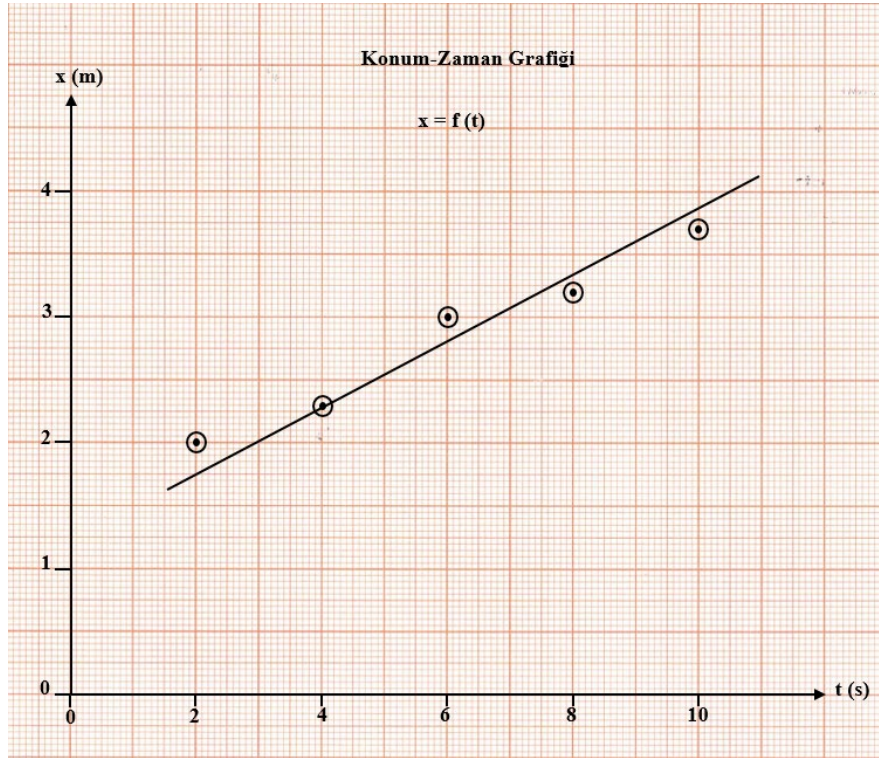
- Ölçeklendirme kişiye özeldir. Farklı ölçekler kullanmak mümkündür. Burada sadece bir örnek üzerinden gidiyoruz.
- Ölçeklendirme yaparken mümkün olduğunca kolay anlaşılabilir ölçekler kullanınız. Bu, hem verileri yerleştirirken işinizi kolaylaştıracak hem de okuyucunun daha rahat anlamasını sağlayacaktır.

➤ Ölçek belirlenip eksenler çizildikten sonra sıra, verilerin yerleştirilmesine gelir. Bunu yaparken tablodaki değerler eksenlere yazılmaz ya da gösterilmez. Bu durum okuyucunun grafiği okumasını zorlaştıracaktır. Birbirine karşılık gelen değerlerin çakıştığı nokta ölçüm hatalarıyla orantılı büyüklükte çember içine alınarak veya hata barları da çizilerek işaretlenir. Bu durumda örneğimize ait grafiğin son hali Şekil E.3'te verildiği gibi olacaktır.



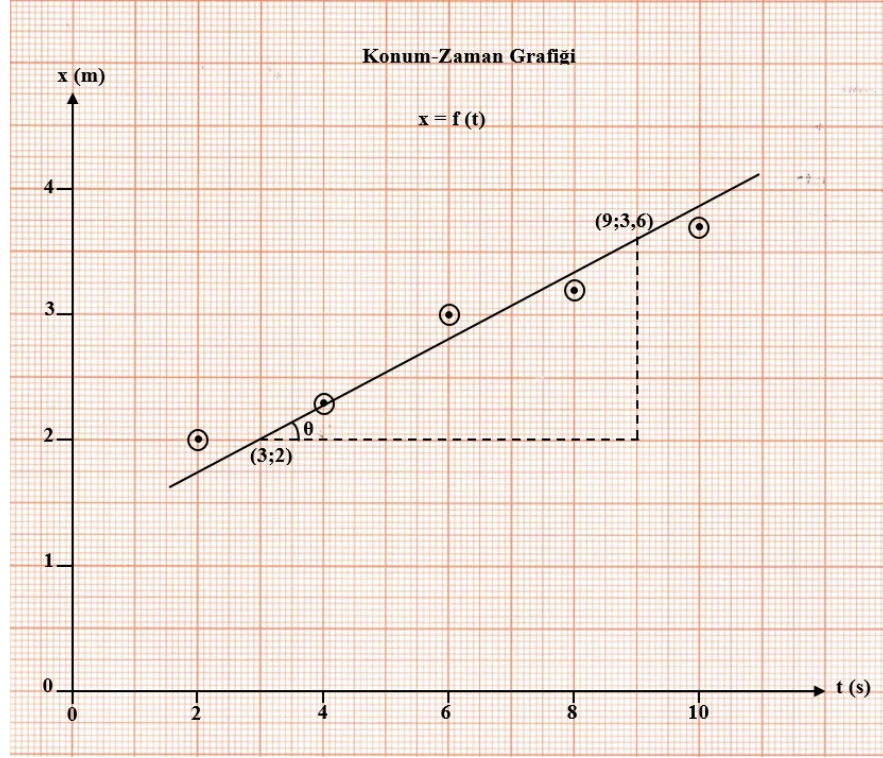
Şekil E.3. Verilerin işaretlendiği durum

Veriler işaretlendikten sonra en uygun grafik çizilmelidir. Bu örnekte sabit hızlı hareket incelendiği için en uygun grafik, bir doğrudur. Bu doğru, tüm veri noktalarını ortalayacak şekilde çizilmelidir (Şekil E.4). Çizilen en uygun grafiğin orijinden geçme zorunluluğu yoktur.



Şekil E.4.

Cismin sahip olduğu hızı bulmak için çizilen bu grafiğin eğiminin hesaplanması gerekmektedir. Çizilen doğru, hipotenüs olacak şekilde oluşturulan dik üçgenin gösterildiği grafiğin son hali Şekil E.5’de verilmiştir.



Şekil E.5

Buna göre eğim;

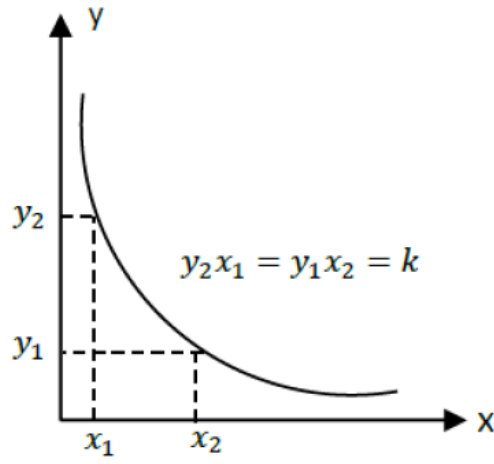
$$Eğim = \tan \theta = \frac{\Delta x}{\Delta t} = V_{ort} = \frac{(3,6 - 2)}{(9 - 3)} = 0,27 \text{ m/s}$$

olarak hesaplanır.

F. DOĞRUSAL OLMAYAN GRAFİKLER

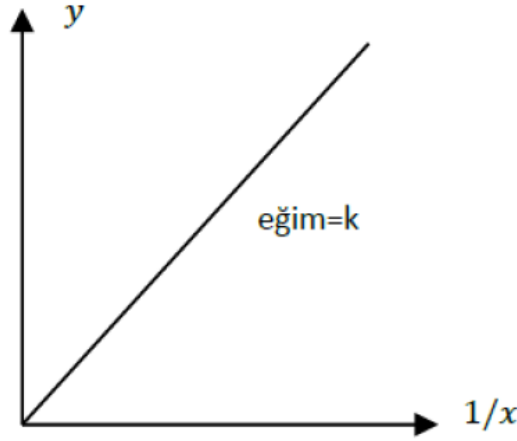
F.1. Ters Orantı Grafiği

Bu grafik, x ile y ’nin ters orantılı olduğunu göstermektedir. Bu ters orantı: $yx = k$ veya $y = k/x$ şeklinde yazılabilir. Burada k bir sabittir. Böyle bir ilişki, y değerlerine karşılık x değerleri grafiği çizildiğinde Şekil F.1’de gösterildiği gibi hiperbolik bir ilişki verir.



Şekil F.1. x değişkenine göre y grafiği

Bununla birlikte, eğer x -koordinatındaki bağımsız değişken olarak $1/x$ seçilirse ve daha sonra $1/x$ 'e karşı y grafiği çizildiğinde, doğru orantı elde edilir (Şekil F.2).

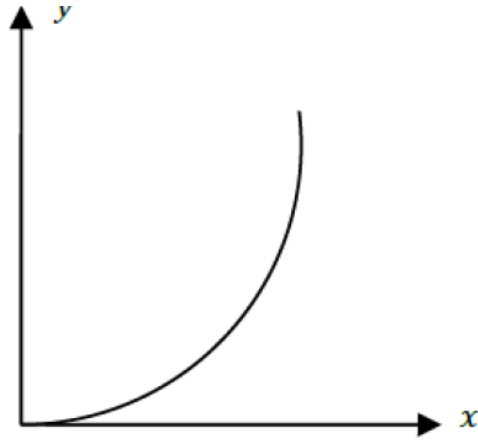


Şekil F.2. $1/x$ değişkenine göre y grafiği

Böylece, deneysel veriler doğrusal bağıntıların grafik analizinde verilen şekilde incelenebilir.

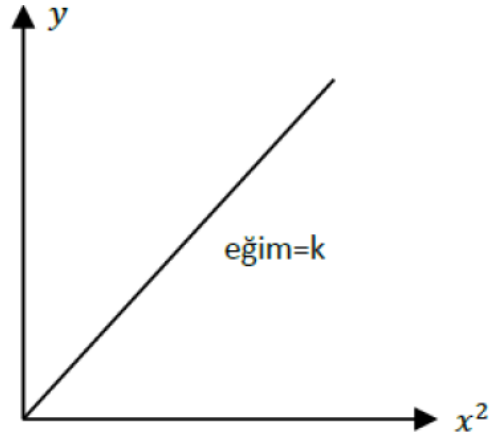
F.2. Kare Kanunu Grafiği

Herhangi iki değişken olan x ve y arasındaki kare bağıntı: $y = kx^2$ olarak yazılabilir. Bu ilişkide, k yine bir oran sabitidir. Verilen bu ilişkide, y verileri ile x değişkenleri arasında doğrusal olmayan bir oran vardır. x 'in y 'ye karşı grafiği (Şekil F.3) parabolik bir eğri olacaktır.



Şekil F.3. x değişkenine göre y grafiği

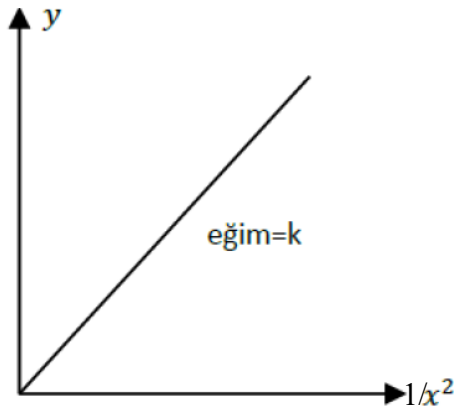
Dolayısıyla bu grafik ile çalışmak zor olduğundan x^2 değişkenine karşı y grafiğini kullanmak daha uygun olur. Bu grafik Şekil F.4’de verildiği gibi eğimi k olan bir doğru olacaktır.



Şekil F.4. x^2 değişkenine göre y grafiği

F.3. Ters Kare Kanunu Grafiği

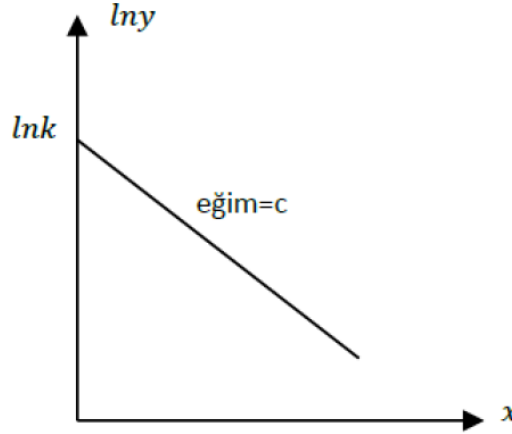
Ters kare kanunu $y = k/x^2$ şeklinde ifade edilebilir. Bu denklemde, k yine bir oran sabitidir. Bu ilişkide, y değişkeni x ile doğrusal olmayan şekilde, $1/x^2$ ile doğrusal olarak değişecektir (Şekil F.5).



Şekil F.5. $1/x^2$ değişkenine göre y grafiği

F.4. Üstel İlişki

Eğer x ve y 'nin grafiği $y = ke^{cx}$ gibi bir denkleme sahipse (burada, c ve k sabittir; e ise doğal logaritma tabanıdır ve değeri 2.718'e eşittir), bu denklemin her iki tarafının logaritması alınarak $\ln y = \ln k + cx$ gibi bir doğrusal bağıntı veren bir denklem elde edilir. $\ln y$ değerleri x 'in bir fonksiyonu olarak çizildiğinde, elde edilen doğrusal grafikten bulunacak c değeri eğim ve $\ln k$ değeri kesişim olacaktır (Şekil F.6).



Şekil F.6. x değişkenine göre $\ln y$ grafiği

2.718 tabanına göre doğal logaritma kullanmak yerine, 10 tabanına göre logaritma da doğrusal bir ilişki bulmak için kullanılabilir. Bu durumda, ilgili denklem $\log y = \log k + c \log x$ formuna gelir ve bu yeni denklem doğrusal bir grafik verecektir. $\log y$ değerleri $\log x$ 'in bir fonksiyonu olarak çizildiğinde, elde edilen doğrunun eğimi c değerini ve kesişim noktası $\log k$ değerini verecektir. Burada 10 tabanına göre logaritma almak yerine, 2.718 tabanına göre doğal logaritma kullanmak da aynı şekilde doğrusal bir grafik verecektir. Bu durumda, ilgili denklem, $\ln y = \ln k + c \ln x$ olarak yazılabilir. Eğer, $\ln x$ 'e karşı $\ln y$ grafiği çizilirse, eğim c ve kesişim noktası $\ln k$ olacaktır.

G. ULUSLARARASI BİRİM SİSTEMİ

Deneyler sırasında yapılan çeşitli ölçümlerin önceden saptanmış bir standarda göre sayısal değerinin belirlenmesi işine ölçüm, önceden saptanmış bu standarda ise birim adı verilir. Örneğin, bir cismin kütlesinin 5 kilogram olduğu söyleniyorsa, bu cismin kütlesinin 1 kilogram olarak tanımlanan bir birimin 5 katı olduğu söylenir. Başka bir deyişle bir niceliğin ölçülmesi demek, bu niceliğin birimi veya birimin belli bir kesrini kaç kere içerdiğinin saptanması demektir. Doğru ve güvenilir ölçümler yapmak için, çeşitli yerlerde değişmeyen standartlar belirlenmelidir. Tüm dünyada bilim adamları ve mühendisler fiziksel nicelikleri ölçmek için

standart olarak aynı birim sistemini kullanmaktadır. Bu sistem, Uluslararası Birim Sistemi (SI Birim Sistemi)'dir. Bu birim metrik sistemine dayanmaktadır ve temel birimler seti, metre, kilogram ve saniye birimlerini içermektedir. SI temel birimleri Tablo G.1'de verilmiştir.

Tablo G.1. Temel nicelikler ve birimler

Nicelik	SI birimi	Sembol
Uzunluk	Metre	m
Kütle	Kilogram	kg
Zaman	Saniye	s
Akım	Amper	A
Termodinamik Sıcaklık	Kelvin	K
Madde Miktarı	Mol	mol
Işık Şiddeti	Kandela	cd

Mekanik Laboratuvarı deneylerinde kullanılacak temel fiziksel parametrelerin MKS ve CGS birim sistemlerindeki birimleri Tablo G.2'de verilmiştir.

Tablo G.2.

Nicelik	Sembol	MKS	CGS
Uzunluk	x	m	cm
Kütle	m	kg	gr
Zaman	t	s	s
Hız	V	m/s	cm/s
İvme	a	m/s ²	cm/s ²
Kuvvet	F	N	dyn
Enerji	E	J	erg
Momentum	P	kg.m/s	gr.cm/s

Metrik sistemde, temel birimden daha büyük ve daha küçük birimler 10 üslü çarpan ile değişmektedir. Yaygın olarak kullanılan ön ekler Tablo G.3'de verilmiştir.

Tablo G.3. Yaygın olarak kullanılan önekler

10'un kuvvetleri	Önek	Sembol
10 ⁻¹⁵	femto	f
10 ⁻¹²	piko	p
10 ⁻⁹	nano	n

10^{-6}	mikro	μ
10^{-3}	mili	m
10^{-2}	santi	cm
10^{-1}	desi	d
10^1	deka	da
10^2	hekta	h
10^3	kilo	k
10^6	mega	M
10^9	giga	G
10^{12}	tera	T

Kaynaklar

1. Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Fizik Bölümü, Fizik-I Deneyleri Deney Kılavuzu (Mekanik), 2017.
2. Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Fizik Laboratuvarı (Mekanik), 2020.
3. Erzurum Teknik Üniversitesi, Fizik-I (Mekanik) Deney Föyü, 2010.

1. Deney : Serbest Düşme

1.1. Deneyin Amacı

Cisimlerin yerin merkezine doğru hareket etmesini sağlayan bir çekim kuvveti olduğunun açıklanması ve gözlenmesi. Yer çekimi kuvvetinin etkisi ile cisimlerin ivmeli hareket yaptıklarının incelenmesi. Düşen cisimlere yer çekimi kuvveti dışında da kuvvetlerin etki ettiğinin kavranması. Yer çekimi ivmesinin hesaplanması.

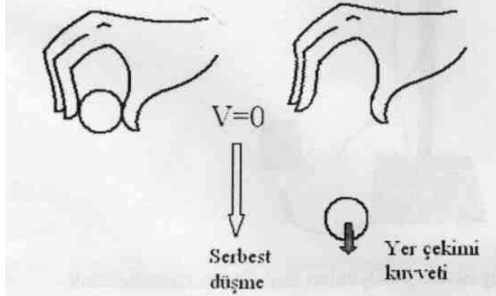
1.2. Teorik Bilgiler

Eğer bir cismin hızı zamanla değişiyorsa, o cisim ivmeli hareket yapıyor denir. Cismin Δt süresinde sahip olduğu ortalama ivme aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir.

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (1.1)$$

Burada cismin t_1 ve t_2 anlarındaki hızı v_1 ve v_2 ile gösterilmiştir. Cismin sahip olduğu anlık ivme ise hızın türevidir:

$$a = \frac{dv}{dt} \quad (1.2)$$

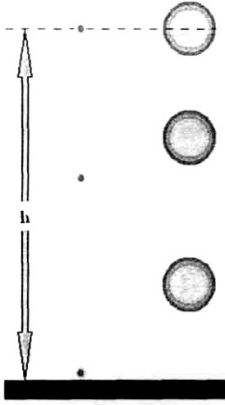


Şekil 1.1. Serbest düşme hareketinin gösterimi

Yukarıdaki şekilde, ilk hızsız serbest düşmeye bırakılan bir cisim ve cismin üzerine etki eden yer çekimi kuvveti gösterilmektedir. Serbest düşen cisim, bir ivme ile hızlanmaya devam eder. Belirli bir yükseklikten serbest bırakılan bütün cisimler, sabit bir çizgisel ivme ile düşerler. Bu ivmenin büyüklüğü **9,81 m/s²** dir ve **g** ile gösterilir. Bu olaya da serbest düşme denir.

Ancak serbest düşme, yalnızca özel durumlar için geçerlidir. Eğer bir elma ile bir kuştüyünü belirli bir yükseklikten aynı anda serbest bırakırsak elma yere çok daha erken düşer. Düşen cisimleri yer çekimi kuvveti dışında etkileyen başka bir kuvvet daha vardır. Bu kuvvet, cisimlere kesit alanlarıyla orantılı olarak etki eden hava sürtünme kuvvetidir. Örneğin elimizde

ağırlıkları eşit olan fakat kesit alanları farklı bir plastik top ile bir demir bilye olduğunu düşünelim. Plastik top demir bilyeye oranla çok daha büyük olsun.



Şekil 1.2. Yer çekiminin cisimlere etkisi

Ağırlıkları eşit bu iki cismi, belirli bir yükseklikten, aynı anda bıraktığımızda demir bilye daha çabuk aşağı düşer. Çünkü plastik topun kesit alanı demir bilyeye göre çok daha fazla olduğundan hava sürtünme kuvveti plastik topa daha fazla etki eder ve düşme süresi uzar.

Eğer bu deney havası alınmış bir ortamda yapılmış olsa idi tüy ile elmanın aynı anda yere düştüğü gözlenirdi.

Bu deneyimizde, farklı kütlelerde bilyeler kullanılacaktır. Kullanılan bilyelerin kesit alanları hemen hemen aynı olduğu için her birine etki eden hava sürtünmesini aynı kabul edebiliriz. Bu durumda aynı yükseklikten serbest düşmeye bırakılan ve kütleleri farklı olan cisimlerin yere aynı süre içinde düştüğünü gözlemleyeceğiz. Çünkü serbest düşen bir cisim g ivmesine sahip olduğu için t sürede:

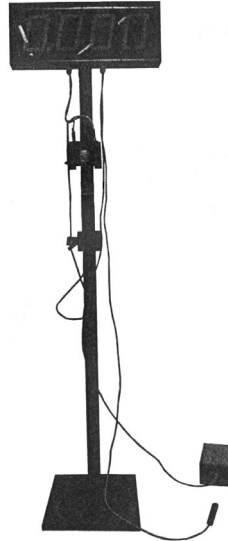
$$h = \frac{1}{2}gt^2 \quad (1.3)$$

kadar yol alır. Yukarıdaki bağıntıdan da açıkça görüldüğü gibi yere düşme süresi kütleden bağımsızdır.

1.3. Deneyin Yapılışı

1. Kullanacağınız bilyeyi bilye tutucuya yerleştirin.
2. Sensörler arasındaki mesafeyi 20 cm olarak ayarlayın.
3. Serbest düşme düğmesine basarak hareketi başlatın.
4. Bilye alttaki sensörden geçtikten sonra sensörler arası mesafeyi ve bu mesafeyi ne kadar sürede kat ettiğini kronometreden okuyarak deney raporunuza kaydedin.

5. Üsteki göstergenin ölçtüğü süreyi (t_1) raporunuza kaydedin. En doğru sonucu elde etmek için bu süre ölçümünü 5 kez tekrarlayıp sonuçta çıkan sürelerin birbirlerine yakın olanlarının ortalamasını alın.
6. Ölçtüğünüz t sürelerini ve sensörler arası mesafeyi tabloya kaydederek t sürelerinin ortalamasını ve karesini hesaplayın
7. Bu işlemi 30, 40 ve 50 cm mesafeler için tekrarlayın ve sonuçları Tablo 1.1 kaydedin.
8. Ölçüm 1 için takip ettiğiniz adımları büyük bilye için tekrarlayın ve sonuçları Tablo 1.2'e kaydedin.
9. Deney sonuçlarından oluşturduğunuz tabloları kullanarak $h=f(t^2)$ grafiğini çizin ve yer çekimi ivmesini (g) değerini bulunuz. Yüzde bağıl hatayı ($\% \delta g$) hesaplayın (Yer çekimi ivmesinin teorik değeri $g = 9,81 \text{ m/s}^2 = 981 \text{ cm/s}^2$ dir).



Şekil 1.3. Serbest düşme deney seti

Tablo 1.1. Küçük bilye için hesaplama tablosu

Ölçüm sayısı	h (cm)			
	20	30	40	50
1				
2				
3				
4				
5				
t_{ort}				
t_{ort}^2				

Tablo 1.2. Büyük bilye için hesaplama tablosu

Ölçüm sayısı	h (cm)			
	20	30	40	50
1				
2				
3				
4				
5				
t_{ort}				
t_{ort}^2				

2. Deney : Düzgün Doğrusal Hareket

2.1. Deneyin Amacı

Doğrusal hareketlerin incelenmesi.

2.2. Teorik Bilgiler

Bir parçacık düzgün doğrusal bir yolda hareket ettiğinde, parçacığın konumunu x gibi bir koordinat aracılığıyla orijine (0) göre tanımlarız. Hareket eden cisim üzerine bir net kuvvet etki etmiyorsa, bu cisim düzgün doğrusal bir yolda sabit hızla hareket eder. Parçacığın yer değiştirmesi konumunun değişmesidir. Bu yüzden, bir zaman aralığı ($\Delta t = t_2 - t_1$) boyunca parçacığın **ortalama hızı** (V_{ort}) yer değiştirmesinin ($\Delta x = x_2 - x_1$) zaman aralığına (Δt) bölümüne eşittir:

$$V_{ort} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad \text{(Deneysel)} \quad (2.1)$$

Yukarıda verilen Denklem 2.1’de, ortalama hız yer değiştirmenin (Δx) geçen zamana (Δt) bölümüdür. Ortalama hızın yönü her zaman yer değiştirmenin yönü ile aynıdır. Ortalama hız, gerçek parçacığın kat ettiği mesafeye (yani, toplam alınan yol) bağlı değildir, fakat bunun yerine ilk ve son konumuna (**yer değiştirme**) **bağlıdır**.

Böylece, **ortalama hız** toplam alınan yol yerine **yer değiştirme** cinsinden tanımlanır. Bir parçacığın hızı, aynı zamanda, **zamanın** bir fonksiyonu olarak **konumunun** grafiğinden de bulunabilir. **Zamana** (t) karşı **konum** (x) grafiğinde bir zaman aralığı (Δt) için **ortalama hız**, grafikteki noktaların oluşturduğu eğri üzerinde zaman aralığının iki uç noktasını birleştiren düz çizginin **eğimidir**. Bu nedenle, bu deneyde eğer t ’ye karşı x grafiği ($x-t$ grafiği) çizerseniz, düz bir çizgi ve bu hareket için ortalama hızın deneysel değerini verecek olan bu çizginin eğimine sahip olacağız.

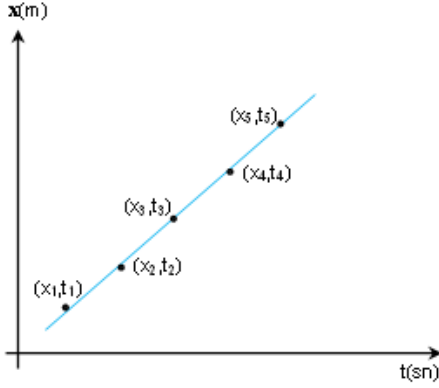
Sabit bir hız ile düzgün doğrusal bir yolda hareket eden bir parçacığın yer değiştirmesi $x(t)$ zamanın bir fonksiyonu olarak aşağıdaki formda verilmektedir:

$$x(t) = x_0 + Vt \quad (2.2)$$

Parçacık $t=0$ anında orijindeyse, $x_0=0$ olarak alınır. Bu nedenle, cisim başlangıç konumu olarak orijindeyse, $x_0=0$, hareket denklemi herhangi bir zaman için:

$$x(t) = Vt \quad (2.3)$$

haline gelir. Yukarıdaki bağıntıda, parçacığın düzgün doğrusal bir yol boyunca eşit zaman aralıklarında eşit mesafe aldığı açıkça görülmektedir (Şekil 2.1).



Şekil 4.1: Düzgün doğrusal bir yolda sabit hızla hareket eden bir cismin konum zaman grafiği.

2.3. Deneyin Yapılışı

2.4.1. Düzgün doğrusal hareket:

Hava masasını yatay duruma getirdikten sonra disklerden birini masanın bir köşesine bırakın. Diğer diski masanın bir kenarına koyunuz ve hava motorunu açtıktan sonra elinizle hafifçe hızlandırıp bırakın. Disk bir doğru boyunca hareket ediyor mu? Hareketin başlangıç ve bitiş noktalarını ayarladıktan ve ark kronometresinde uygun frekansı seçtikten sonra ark pedalına basarak hareketi tekrarlayın. Böylece diskin eşit zaman aralıklarındaki konumu, kıvılcım izleriyle deney kağıdına kaydedilecektir. Ark pedalını serbest bırakın ve deney kâğıdını diskin altından çekin. Elde ettiğiniz iz grafiğinden konum (x) ve zaman (t) değerlerini belirleyerek Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'ye yazın. $x=f(t)$ grafiğini çizerek diskin hızını (v) hesaplayın.

Tablo 2.1. Sabit hızlı hareket için konumun zamanla değişimi

x (cm)	t (s)

Tablo 2.2. Sabit hızlı hareket için konumun zamanla değişimi

x (cm)	t (s)

3. Deney : Basit Sarkaç

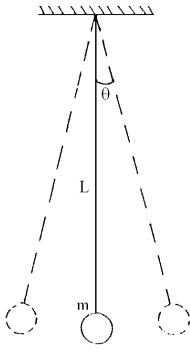
3.1. Deneyin Amaç

Eğik düzlemde salınan basit sarkaç yardımıyla yer çekimi ivmesi g 'nin ölçülmesi.

3.2. Teorik Bilgiler

Uzamayan ve kütlesi ihmal edilebilen bir iple asılmış maddesel bir noktadan ibaret sisteme basit sarkaç denir (Şekil 2.1). Denge konumundan küçük bir θ açısı kadar ayrılıp salınımına bırakılan sarkaç basit harmonik hareket yapar ve bu hareketin periyodu,

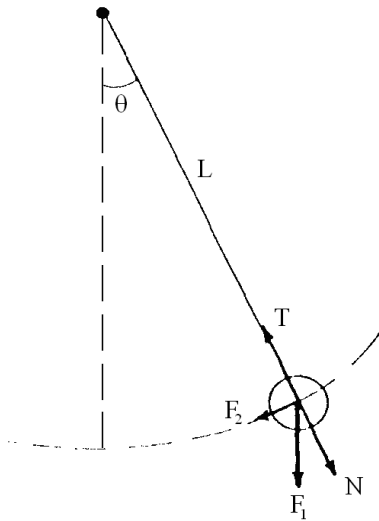
$$T = 2\pi\sqrt{L/g} \quad (3.1)$$



Şekil 3.1. Basit sarkaç sistemi

olur. Burada L sarkacın uzunluğu ve g yer çekimi ivmesidir.

Eğik hava masasında salınım yapan bir diskin hareketi de harmonik harekettir. ϕ hava masasının eğim açısı, m diskin kütlesi ve θ denge konumundan sapma açısı olmak üzere, bu sarkaca etkiyen kuvvetin bileşenleri Şekil 3.2’de görülmektedir.



Şekil 3.2. Salınan bir cisme etkiyen kuvvetler

$$F_1 = mg \sin \phi$$

$$F_2 = mg \sin \phi \cdot \sin \theta$$

$$N = mg \sin \phi \cdot \cos \theta$$

$$T = -N$$

Eğik düzlemde salınan sarkacın periyodunu hesaplamak için dinamiğin temel prensibini bu hareket için yazmak yeterlidir. Şekil 3.2'den

$$mL(d^2\theta)/(dt^2) = -mg \sin \phi \cdot \sin \theta \quad (3.2)$$

yazılabilir. Burada $(d^2\theta)/(dt^2)$ ani açısal ivmedir. (2.2) denklemi,

$$(d^2\theta)/(dt^2) = -\{(g \sin \phi) / L\} \sin \theta \quad (3.3)$$

ya da açısının küçük değerleri için,

$$(d^2\theta)/(dt^2) = -\{(g \sin \phi) / L\} \theta \quad (3.4)$$

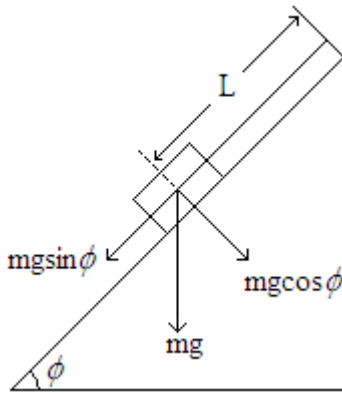
şeklinde yazılabilir. (2.4) denklemi basit harmonik hareketin hareket denklemi olup,

$$T = 2\pi \sqrt{L/(g \sin \phi)} \quad (3.5)$$

çözümünü verir.

2.3. Deneyin Yapılışı

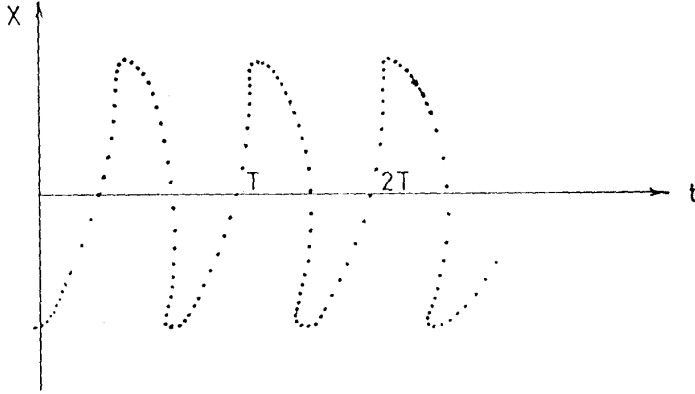
Yatay durumdaki hava masasına bir ϕ açısı kadar eğim verin. Disklerde birini masanın bir köşesine koyunuz ve diğer diski uzunluğu bilinen bir ip ile masanın arka kenarına rahatlıkla hareket edebilecek biçimde bağlayın (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Sürtünmesiz eğik düzlemdeki bir cismin kuvvet bileşenleri

Ark kronometresi uygun frekansa ayarladıktan sonra diski denge konudan θ açısı kadar ayırın ve hava pedalına basarak salınıma bırakın. Disk salınım halinde iken ark kronometresini

alıştırarak deney kâğıdını mümkün olduğunca sabit bir hızla çekini. Hareketinizi şekil 3.4’e benzecektir.



şekil 3.4. Basit sarkaç iz grafiği

Kağıdı sabit hızla ekebilseydiniz şekil 3.4’deki iz tamamen harmonik görünümde olacaktır. Hareketi sarkacın değişik boyları için yineleyin. İz grafiğinde değişik L değerleri için T periyodunu ölçünüz. $L = f(T^2)$ grafiğini çiziniz. Doğrunun eğimini bulunuz ve $g = \frac{4\pi^2}{\sin \phi} \frac{L}{T^2}$ bağıntısında yerine yazarak yer çekimi ivmesini (g) hesaplayınız ($\pi = 3,14$). Yüzde bağıl hatayı (% δg) bulunuz. Yer ekimi ivmesinin teorik değeri $g = 9,81 \text{ m/s}^2 = 981 \text{ cm/s}^2$ ’dir.

Tablo 2.1. Deney sonucunda elde edilen veriler.

Sıra	L (cm)	T (s)	T ² (s ²)
1			
2			
3			
4			

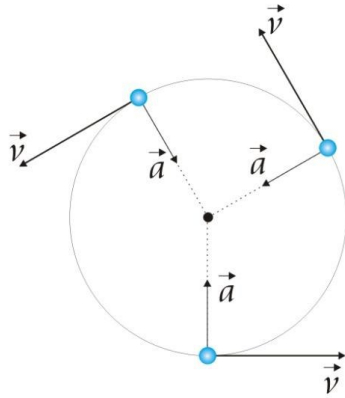
4. Deney : Açısal Hız ve Dönme Eylemsizlik Momenti

4.1. Deneyin Amacı

Açısal hız ve açısal ivme kavramlarının öğrenilmesi, Dönme eylemsizlik momentinin bulunması.

4.2. Teorik Bilgiler

Eğer bir cisim düzgün bir dairenin etrafında ya da dairesel bir yayda hareket ediyorsa bu harekete *düzgün dairesel hareket* denir. Şekil 4.1’de görülen “v” cismin çizgisel hızıdır. Hız vektörel bir nicelik olduğu için bu dairesel hareket boyunca büyüklüğü aynı kalsa dahi yönü sürekli olarak değişir. Bu da cismin bir ivmesinin olduğunu gösterir.



Şekil 4.1. Düzgün dairesel harekette hız ve ivme vektörleri

Bu ivmeye *merkezcil ivme* denilir ve büyüklüğü;

$$a = \frac{v^2}{r} \quad (4.1)$$

eşitliği ile verilir. Burada “r” dairesel hareketin yarıçapını, “v” ise cismin çizgisel hızını ifade eder. Düzgün Dairesel harekette ivmenin yönü hareketin merkezine doğrudur. Eğer bir dönme hareketinden bahsediliyorsa sistemin bir periyodu vardır. Şekil 4.1’deki dairesel hareketin periyodu;

$$T = \frac{2\pi r}{v} \quad (4.2)$$

denklemini ile hesaplanır.

Açısal Hız (ω): Dairesel hareket yapan bir cismin belirli bir zaman aralığında açısal olarak yaptığı konum değişikliğine *ortalama açısal hız* denilir (Şekil 3.2).

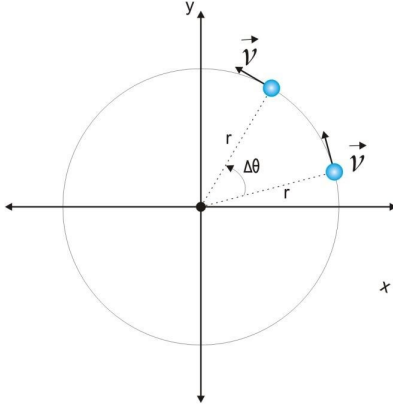
$$\omega_{ort} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad (4.3)$$

şeklinde formüle edilir.

Anlık açısal hız formülü ise;

$$\omega_z = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt} \quad (3.4)$$

şeklindedir.



Şekil 4.2. Bir cismin belirli bir zamandaki açısal konum değişikliği

Açısal ivme(α): Açısal hız belirli bir zaman aralığında değişiyorsa bu değişime *ortalama açısal ivme* denilir.

$$a_{ort} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (4.5)$$

$\Delta t \rightarrow 0$ iken ki anlık açısal ivme ise;

$$a_z = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (4.6)$$

eşitliği ile ifade edilir. Bir cismin x-y eksenindeki dairesel hareketi sırasındaki açısal hız zamanla artıyorsa ivme, açısal hız ile aynı yönlüdür(z-ekseninde). Fakat eğer zamanla açısal hız azalıyorsa açısal hız ile açısal ivme ters yönlüdür(z-ekseni).

Tork(τ): Bir cisme uygulanan kuvvet ile kuvvetin uygulandığı noktanın dönme eksenine dik uzaklığının çarpımıdır, vektörel bir büyüklüktür.

$$\tau = r \times F \quad (4.7)$$

Bir cisme dönme eksenine teğet bir kuvvet uygulandığında kuvvetin yerine “ $m_i a_{i,tan}$ ” yazılabilir, o zaman tork;

$$\tau_i = (m_i a_{i,tan}) r_i \quad (4.8)$$

olur. Denklem 4.8’de çizgisel ivmenin yerine dönme hareketinden bahsettiğimiz için açısal ivmeyi yazarsak;

$$\tau_i = (m_i \alpha) r_i^2 \quad (4.9)$$

olur. Bu denklem i’inci parçanın torkunu verir. Bütün cisim için torka bakarsak;

$$\sum_i \tau_i = \sum_i (m_i \alpha) r_i^2 \quad (4.10)$$

şeklini alır. “ $\sum_i m_i r_i^2$ ” ifadesi dönme eylemsizlik momentidir. O zaman en genel ifadeyle tork;

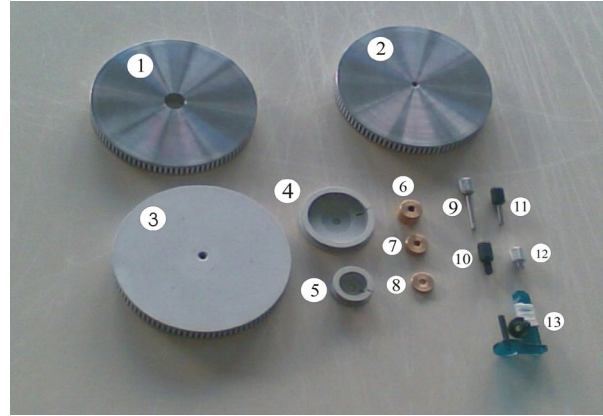
$$\tau = I \alpha \quad (4.11)$$

olarak yazılır.

4.3. Deneyin Yapılışı



Şekil 4.3. Deney düzeneğinin üstten görünüşü



Şekil 4.4. Deney düzeneğinde kullanılan malzemeler

4.3.1. Açısal Hızın Ölçülmesi

Şekil 4.4’teki 1 nolu çelik disk Şekil 4.3’teki 2 numaralı kısma monte edin. Daha sonra bu diskin üzerine 2 nolu çelik diski yerleştirin. Şekil 4.4’teki 12 nolu tıpayı 11 nolu tıpayla kapatarak bu disklerin üzerine vidalayın. Böylece alt disk sabit iken üst disk hareketli olacaktır. Şekil 4.3’teki 1 nolu sayaç düğmesini üst diski okuma konumuna alın ve kompresörü çalıştırın. Üst diski elinizle sabit tutarak dijital göstergenin sıfır göstermesini bekleyin. Elinizle bir seferlik kuvvet uygulayarak üst diskin dönmesini sağlayın. Arka arkaya okunan verileri Tablo 4.1’e kaydederek açısal hızı hesaplayın.

Tablo 4.1. Çelik disk için okunan bar sayısı ve hesaplanan açısal hız değerleri

$r_{disk}=6,3 \text{ cm}$	
Okunan bar sayısı (β)	Açısal hız ω (rad/s)

4.3.2. Dönme Eylemsizlik Momentinin Bulunması

Bu bölümde de deney düzeneğinde alt disk sabit üst disk hareketli olacaktır (Birinci bölümde olduğu gibi). Şekil 4.3'teki 1 nolu sayaç düğmesini üst diski okuma konumuna alın. Üst diske Şekil 4.4'teki 5 nolu küçük yarıçaplı tork makarasını ve ağırlıkların bağlandığı 13 nolu aparatı monte edin. Bu aparata Şekil 4.4'teki 8 nolu kütleyi takın. İpi tork makarası üzerindeki kesikten çıkarın. Ağırlığın ipini Şekil 4.3'teki 4 numaralı makaradaki yarıktan geçirerek aşağı sarkıtın. İpin tork makarasından çıkışı ile 4 numaralı makara arasında açının 90^0 olmasına dikkat edin. Kompresörü çalıştırın. Tork makarasına ipi sararak ağırlığı 4 numaralı makaraya kadar çıkarın. Dijital gösterge sıfırı gösterdiği anda sistemi serbest bırakın. Sensörün okuduğu değerleri Tablo 4.2'ye kaydedin. Okunan değerlerin 1 saniye aralıklarla okunduğuna dikkat edin. Bu değerleri kullanarak her veri için açısal hızı hesaplayın ve hesaplanan değerleri Tablo 4.2'e kaydedin. Açısal hızın zamana karşı grafiğini çizerek açısal ivmeyi hesaplayın. Denklem 4.7'i kullanarak torku hesaplayın (Bu denklemde; kuvvet asılan yük, kuvvet kolu (r) ise tork makarasının yarıçapıdır). Denklem 4.7'den bulunan tork değerini ve $\omega = f(t)$ grafiğinin eğiminden bulunan açısal ivmeyi kullanarak Denklem 4.11'den dönme eylemsizlik momentini bulunuz. Bulunan bu değeri, disk için olan eylemsizlik momentinden (Denklem 4.12) bulduğunuz değer ile karşılaştırın. Disk için eylemsizlik momenti;

$$I = \frac{1}{2} m_{disk} r_{disk}^2 \quad (4.12)$$

dir. Bu denklemde “ m_{disk} ” hareketli olan üst diskin kütlesi, “ r_{disk} ” ise üst diskin yarıçapıdır. Bulunan teorik eylemsizlik momenti ile deneysel eylemsizlik momentini karşılaştırın. Hata hesabını yapın.

Tablo 4.2. Çelik disk için okunan bar sayısı ve açısal hız ($r_{\text{disk}}=6,3$ cm; $m_{\text{disk}}=1350$ gr)

	m= 15 gr, $r_{\text{makara}}=1,3$ cm	
t(s)	Okunan bar sayısı (β)	Açısal hız ω (rad/s)
1		
3		
5		

5. Deney : Atwood Makinası ve Newton'un II. Hareket Kanunu

5.1. Deneyin Amacı

Eğik düzlem üzerine kurulmuş Atwood makinesini kullanarak Newton'un II. Hareket kanunun incelenmesi

5.2. Teorik Bilgiler

Bir cisim üzerine etki eden kuvvetlerin bileşkesinin sıfır olmadığı durum için ne olur görelim:

Birinci yasadan biliyoruz ki, cismin üzerine kuvvet etki etmiyorsa, cismin hızında bir değişim meydana gelmez. Yani ivme söz konusu değildir. O halde değişken bir kuvvet olduğunda, bir ivme yani bir hız değişimi olmalıdır. Kuvvet ile ivme arasındaki ilişkiyi bulabilmek için, önce bir cisme değişik şiddet ve doğrultularda kuvvet uygulanır. Uygulanan bu kuvvet ($\vec{F}$) ve ivme ($\vec{a}$) ölçülürse, sonrada farklı cisimlerle aynı ölçümler yapılırsa şu sonuçlar elde edilir:

1. Bütün durumlarda ivmenin doğrultusu kuvvetin doğrultusu ile aynıdır. Bu sonuç, cisim başlangıçta durgun olsa da, herhangi bir hızla belli doğrultuda gitse de doğrudur.

2. Belli bir cisim için kuvvetin şiddetiyle ivmenin oranı sabit kalmaktadır.

$$\frac{\vec{F}}{\vec{a}} = \text{sabit} \quad (5.1)$$

Bu oran değişik cisimler için farklı, fakat bir cisim için aynıdır. Bu değişmeze, cismin bir özelliği gözüyle bakılır ve cismin kütlesi olarak adlandırılır. Kütle m harfiyle gösterilir.

$$\frac{\vec{F}}{\vec{a}} = m \quad \text{veya} \quad \vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad (5.2)$$

Kütle skaler (sayısal) bir büyüklüktür.

Denklem 5.2'de görüldüğü gibi kütle, uygulanan kuvvete karşı cismin kazanacağı ivmeye karşı koyan bir nicelik olarak ortaya çıkmaktadır. Yani, aynı kuvvetle kütlesi küçük olan bir cisim daha büyük bir ivme, kütlesi büyük olan bir cisim ise daha küçük bir ivme kazanır.

Newton'un ikinci yasası olarak bilinen Denklem 5.2 vektörel bir eşitliktir. Bir cisme aynı anda çeşitli doğrultularda, çeşitli büyüklüklerde birçok kuvvet etki ettiği zaman, cisim bunların bileşkesi yönünde bir ivme kazanır.

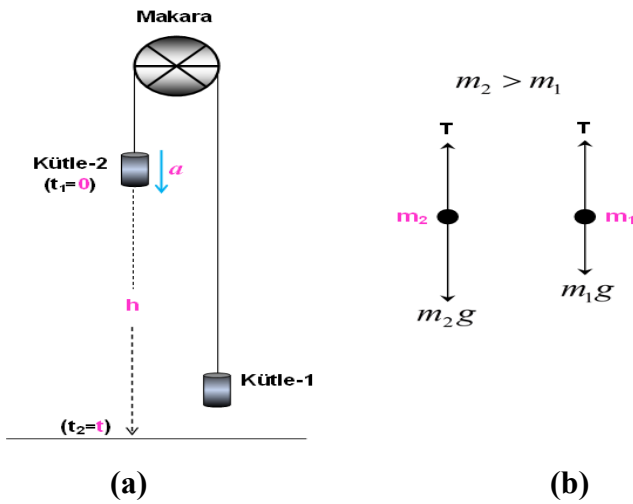
Newton'un ikinci yasası şöyle tanımlanabilir:

- İvme uygulanan kuvvetle doğru orantılıdır ve kuvvet yönündedir.

- Cismin momentumundaki zamana göre değişiminin oranı, cisme etkiyen kuvvetle doğru orantılıdır.

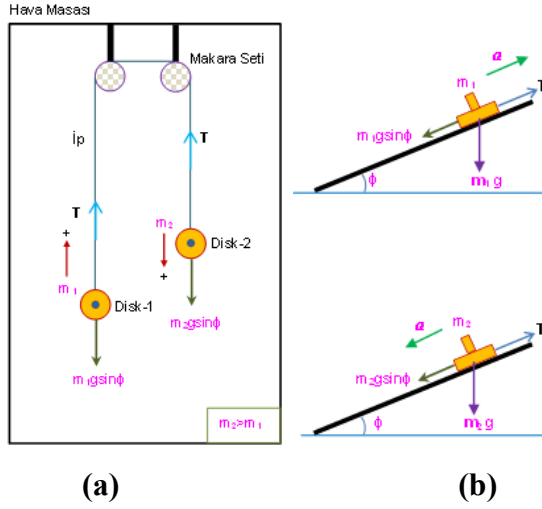
Atwood Makinesi

Atwood makinesi yer çekiminden dolayı hareket eden bir sistemin ivmesini ölçmek ve ivmenin sistemin toplam kütesine ve sistem üzerindeki net kuvvete bağlılığını incelemek için kullanılan bir alettir. Basit bir Atwood Makinası aşağıdaki Şekil 5.1.a'da görüldüğü gibi bir makaradan geçen bir ip ile bağlanmış m_1 ve m_2 ($m_2 > m_1$) gibi iki kütlelen oluşur. İki kütleli bu sistem hareketsiz durumda iken serbest bırakıldığında, daha ağır olan m_2 kütlesi **sabit** ivme ile aşağı doğru, m_1 kütlesi ise **aynı ivme** ile yukarı doğru hareket eder. Her bir kütle üzerine etkiyen kuvvetler Şekil 5.1.b'de gösterilmiştir. T ipteki gerilmedir. m_2 kütlesi aşağı doğru ivmelenmesi, onun bu yönde bir bileşke kuvvete maruz kaldığını ve $m_2g > T$ olduğunu gösterir. Benzer nedenle, m_1 kütlesi için $m_1g < T$ olduğu anlaşılır.



Şekil 5.1. Atwood aleti: (a): Düzenek, (b): Her bir kütleye etki eden kuvvet

Sistemin a ivmesi sabit olduğu için ve her iki kütle de durmakta iken harekete geçtiğinden, $y = \frac{1}{2}at^2$ ilişkisinin geçerli olduğunu kolayca görebiliriz. Eğim açısı ϕ olmak üzere eğik düzlem durumuna getirilmiş olan bir hava masası üzerinde basit bir Atwood Makinası yapmak için, sistem Şekil 5.2.a'daki gibi kurulur. Burada makinadaki iki kütlelerin yerini hava masasının iki diski alır. Disklerden birinin üzerine ek kütleler konularak o diskin kütlesi artırılır.



Şekil 5.2. Eğimli bir hava masası üzerinde bir atwood makinasının deneysel kurulumu.

Şekil 5.2.b’de gösterildiği gibi, daha büyük olan m_2 kütlesine eğik düzlem üzerinde iki kuvvet etki etmektedir: ipteki, yukarı doğru çeken T çekme kuvveti ve m_2 kütlesinin ağırlığının $m_2 g \sin \phi$ bileşenidir. Bu kütle aşağı doğru ivmelendiği için, T çekme kuvveti $m_2 g \sin \phi$ ’den daha küçüktür; dolayısıyla m_2 kütlesine etki eden bileşke kuvvet için şu eşitliği yazabiliriz:

$$m_2 g \sin \phi - T = m_2 a \quad (5.3)$$

Aynı yaklaşımla, m_1 kütlesine etkiyen bileşke kuvvetin

$$T - m_1 g \sin \phi = m_1 a \quad (5.4)$$

olduğunu görebiliriz. Bu iki eşitliği taraf tarafa toplayıp T ’yi elimine ederek, ivmeyi

$$a = \frac{(m_2 - m_1) g \sin \phi}{m_1 + m_2} \quad (5.5)$$

olarak bulabiliriz. a ’nın bu değerini kullanarak ipteki çekme kuvveti için

$$T = \frac{2m_2 m_1 g \sin \phi}{m_1 + m_2} \quad (5.6)$$

elde ederiz.

5.3. Deneyin Yapılışı

1. Önce hava masasını yatay duruma getirmek için ayaklarını özenle ayarlayın.
2. Hava masasını eğimli duruma getirmek için arka ayağının altına bir blok yerleştirin.
3. Önce iletken karbon kâğıdı, ardından da veri kâğıdınızı hava masasının cam levhasının üzerine koyun.

4. Ark üreticinin frekansını $f=10$ Hz olarak ayarlayın.
5. Makara setinizi cam tablanın üst kenarının ortasına takın. Uçlarını disklerle bağladığınız ipi Şekil 5.2.a’da görüldüğü gibi makaralardan geçirin. Sağdaki diskin (m_2) üzerinde ek kütleler olduğuna dikkat edin. ($m_{\text{disk}}=555\text{gr}$, ek kütle= 140 gr,)
6. Soldaki (kütlesi daha küçük olan) diski (m_1) tabla üzerinde en aşağı pozisyona, diğer diski ise en yukarı pozisyona koyun. Sadece hava pompasını çalıştırarak, sistemi serbest bırakın ve iki diskin hareketini gözlemleyin. Bu hareketi tanıyabilmek için, bu deneyi bir kaç kez tekrarlayın ve sonucunda diskleri serbest bırakırken ark üreticini de çalıştırın.
7. Kayıt kâğıdınızı tabladan kaldırın ve kaydedilen ark izlerini gözden geçirin. Disklerin ne tür bir yol izlediğini ve her iki diskin de aynı tür hareketi yapıp yapmadığını kontrol edin.
8. İlk noktadan başlayarak, iki diskin bıraktığı noktaları kayıt kâğıdının üzerinde 0, 1, 2, ..., n olarak numaralandırın. (Her diskin izlediği yolun ilk noktası x_0 noktası olacaktır. Bu noktayı sıfır konumu ve sıfır zamanı için referans noktası olarak kullanın). Pozitif y-eksenini hareketin yönü olarak kabul edip, disklerin izlediği her iki yol üzerindeki beş veri noktasının konumunu ve zamanını x_0 noktasına göre ölçün ve ölçümlerinizi aşağıda verilen Tablo 5.1’e yazın.
9. Tablo 5.1’e kaydettiğiniz verileri kullanarak m_1 ve m_2 kütlelerinin her ikisi için, milimetrik kağıtlara ayrı ayrı $y = f(t^2)$ grafiklerini çizerek grafiğin eğiminden disklerin ivmeleri (a_1, a_2) belirleyin.
10. Bulduğunuz deneysel ivme değerini kullanarak deneysel yerçekimi ivmesini hesaplayınız bulduğunuz değer ile yer çekimi ivmesinin teorik değeri arasında hata hesabı yapınız.
11. İpte oluşan gerilme kuvvetini (yer çekimi ivmesinin deneysel değerini kullanarak) hesaplayınız.

Tablo 5.1: m_1 ve m_2 kütlelerinin konum zaman ölçümleri

Nokta No	m_1 kütlesi			m_2 kütlesi		
	y(cm)	t(s)	$t^2(s^2)$	y(cm)	t(s)	$t^2(s^2)$
0						
1						
2						
3						
4						
5						

6. Deney : Hooke Kanunu

6.1. Deneyin Amacı

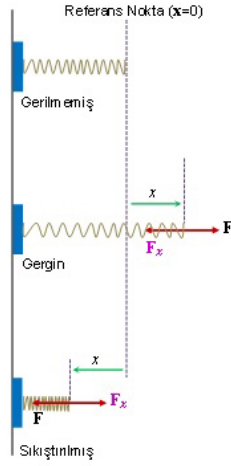
Hooke Kanunu'nun incelenmesi ve yay sabitinin belirlenmesi.

6.2. Teorik Bilgiler

Bir spiral yayın boyunu esneklik sınırları içinde x kadar uzatmak için yaya uygulanması gereken F kuvveti x uzama miktarı ile orantılıdır (Hooke kanunu):

$$F = -kx \quad (6.1)$$

k orantı katsayısına yay sabiti veya kuvvet sabiti denir. Eksi işareti bu kuvvetin geri çağırıcı, yani sistemi tekrar denge konumuna çekici bir kuvvet olduğunu gösterir. Sistemi denge konumuna geri çağıran merkezi kuvvetler denge konumu civarında basit harmonik hareket dediğimiz ileri-geri hareketlere neden olurlar.

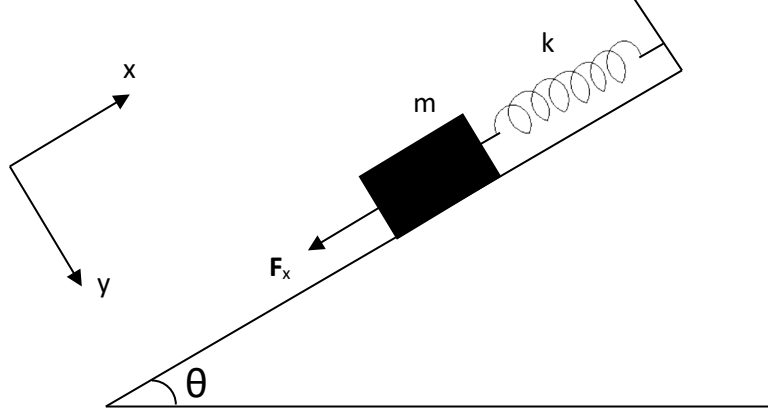


Şekil 6.1. Pozitif x -yönü boyunca uygulanan kuvvet (F) ile normal uzunluğundan (referans noktadan) gerilen bir yay.

6.3. Deneyin Yapılışı

Deneyimizi beş farklı eğim açısı ve sabit kütleli disk ile yapacağız. Şekil 6.2’de gösterildiği gibi, hava masasına eğim açısını (θ) verin. Masaya eğim verdikten sonra yay sabiti (k) belirlenecek olan yayı, masanın arka kenarına sabitleyin ve hava motorunu çalıştırarak yayın uç konumunu (x_0) işaretleyin. Hava motoru çalışır durumdayken, disklerden birini yayın serbest ucuna bağlayın ve diskin denge konumuna gelmesini bekleyin. Disk denge konumuna geldikten sonra, ark pedalına basarak diskin yerini işaretleyin ve yayın uzama miktarını (x) belirleyin. Daha sonra hava masasına farklı eğimler vererek ve aynı işlemleri tekrarlayarak Tablo 6.1’i doldurun. Sürtünmesiz hava masasında diske etkiyen kuvveti bulmak için $F = m_{\text{disk}} g \sin \theta$

bağıntısını kullanın ($m_{\text{disk}} = 555 \text{ gr}$). Tablo 6.1’de elde ettiğiniz sonuçlardan $x = f(\sin\theta)$ grafiğini çizerek eğimi bulun ve yay sabitinin deneysel (k_{den}) değerini hesaplayın. Yay sabitindeki yüzde bağıl hatayı ($\% \delta k$) hesaplayın (yumuşak yay için $k_{\text{teo}} = 11,81 \text{ N/m}$)



Şekil 6.2. Eğik düzlemde kütle-yay sistemi.

Tablo 6.1. Deney sonucunda elde edilen veriler

x (m)	Sin θ	F (N)	k (N/m)	$\% \delta k$