



# **FİZİK I LABORATUVARI MEKANİK DENEYLERİ**

**ZONGULDAK 2007**

**ZONGULDAK KARAELMAS ÜNİVERSİTESİ  
FEN EDEBİYAT FAKÜLTESİ  
FİZİK BÖLÜMÜ**

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	3
GİRİŞ .....	4
DENEYLER	
1. ÖLÇME.....	20
2. KUVVETLERİN VEKTÖREL TOPLANMASI .....	25
3. EĞİK DÜZLEMDE HAREKET .....	31
4. İKİ BOYUTLU UZAYDA ÇARPIŞMA .....	38
5. SARMAL YAYDA, POTANSİYEL ENERJİ DEĞİŞİMİNİN VE BASİT TİTREŞİM HAREKETİNİN İNCELENMESİ .....	43
6. KÜTLE MERKEZİ VE CİSİMLERİN DENGESİ .....	47
7. BASİT SARKAÇ İLE YERÇEKİMİ İVMESİNİN BULUNMASI .....	51
8. AÇISAL HIZ, AÇISAL İVME VE TORK .....	57
9. EYLEMSİZLİK MOMENTİ .....	64
EK: DÖNME DİNAMİĞİ AYGITININ KULLANIMI İLE İLGİLİ BİLGİLER .....	68

## ÖNSÖZ

Bu laboratuvar kılavuzu, fen öğrenimi görecek öğrencilerin temel fizik programında ilk dönem mekanik deneylerini kapsar. Kılavuzun ilk çalışmaları üniversitemizin kurulduğu yıl, fakültemizin ilk öğrencileri için yapıldı. Bu yıl, fizik bölümü öğretim elemanlarının yoğun gayretleri ile geçen yılki eksiklikleri düzeltilerek ve birkaç yeni deney eklenerek yeniden hazırlandı. Fakültemizin baskı biriminde basıldı.

Fizik eğitiminde laboratuvar çalışmalarının önemi büyüktür. Öğrencilerin fizik ilkelerini deney yapmaksızın öğrenmesi ve kendini geliştirmesi oldukça güçtür. Temel fizik eğitiminde mekanik ve elektrik-manyetizma derslerinin yanı sıra bunlarla ilgili deneyleri içeren iki laboratuvar dersi vardır. Laboratuvar kılavuzu bu derste yapılan deneylerin; amacını, kuramsal bilgilerini, düzenine ve ölçümlerinin nasıl alınacağını kısaca tanımlar ve sonuçların yorumlanmasında yol gösterir. Ayrıca eksik bilgilerin tamamlanması için kaynaklar önerir.

Fakültemizin laboratuvarı, her deney düzenine toplam dokuz set olmak üzere tüm öğrencilerin deneyleri aynı anda yapabilecekleri şekilde yeniden düzenlenmiştir. Böylece deneylerin yapılış sırasının, temel fizik derslerinin akışına bağlı olarak belirlenmesine olanak sağlanmıştır. Ancak öğrencinin deneylere hazırlanırken konu ile ilgili gerekli bilgiye sahip olması gerektiğinden öğrencinin eksiklerini giderecek şekilde deneye hazırlanması önemlidir.

Laboratuvar çalışmalarının temel amaçları:

1. Öğrencinin edindiği bilgileri, doğru ve düzgün bir ifade ile anlatma yeteneğini geliştirmek. Bu nedenle her deneyden önce sözlü sınav yapılır. Daha önce istenen bilgiyi öğrenip, sözlü olarak ifade edebilmeniz gerekmektedir. Bu şekilde edindiğiniz bilgileri ve çözümlediğiniz problemleri ifade etme ve düşünme yeteneğini kazanacaksınız.
2. Laboratuvar çalışmalarında önemli olan, ölçme ve çözümleme yöntemlerini kavramaktır. Bu kapsamda hata hesabını, deney verilerinin değerlendirilmesini, grafik çizme yöntemlerini ve sonuçları değerlendirmeyi öğrenmiş olacaksınız.
3. Laboratuvar çalışmalarının en önemli kısmını rapor yazmak oluşturur. Buradaki temel hedef, deney çalışmasının sonunda öğrencinin özgün bir çalışma ile deney raporunu yazabilmesidir. İstenilen rapor öğrencinin kendi fikirlerini aktarabilmesine ve yaratıcılık yeteneğini geliştirmesine olanak sağlayacaktır. Bilimsel çalışmalarda, burada edineceğiniz deneyimler önemlidir.

Bu kılavuzun hazırlanmasındaki çalışmalar için emeği geçen fizik bölümü elemanlarına ve baskısını yapan Fen-Edebiyat Fakültesi Dekanlığına teşekkür ederiz.

Her yıl eksiklikleri giderilerek ve yeni deneyler eklenerek, daha iyi bir laboratuvar kılavuzu hazırlanması amaçlandığı için düzeltmeleriniz ve önerileriniz her zaman şükranla karşılanacaktır.

DEVREK FEN-EDEBİYAT FAKÜLTESİ  
FİZİK BÖLÜMÜ

## GİRİŞ

**Hazırlayan**  
**Arş. Grv. M. ERYÜREK**

### DENEY ÇALIŞMASI

Deney için gerekli malzeme ve aletlerin hazır olup olmadığını kontrol ediniz. Kullanacağınız aletlerin kullanım özelliklerini mutlaka öğreniniz. Genellikle laboratuvar aletleri pahalıdır ve kolaylıkla bulunamazlar, bu nedenle kullanım sırasında dikkatli olunuz. Ne tür alet kullandığınızı ayrıntılı olarak not ediniz.

Deneyi yapmaya başladıktan sonra elde ettiğiniz verileri bir tabloya geçiriniz. Yapacağınız bu çalışma raporunuzun önemli bir kısmını oluşturacaktır. Ölçümlerinizi tamamladıktan sonra deney verilerini kontrol ediniz, eksiklikleriniz var ise tamamlayınız. Daha sonra deney sorumlusuna kontrol ettiriniz.

Laboratuvarda deney çalışması, ölçümler ile ilgili grafikleri çizdiğinizde ve gerekli hesaplamaları tamamladığınızda biter. Zamanınızın yetmediği durumda ise, verilerin çözümlenmesini anlamadan laboratuvardan ayrılmayınız.

### RAPORUN YAZILMASI

Deney raporu standartlaşmış bir formata uygun olacak şekilde hazırlanır. Genellikle ileri düzeyde yapılan çalışmalarda da aynı kurallara uyulur. Bu nedenle rapor yazma alışkanlığı ve becerisini kazanacağınız deney çalışmaları çok önemlidir. Raporlarınızı zamanında hazırlamayı alışkanlık haline getiriniz. Geciktirmeniz halinde pek çok sorunla karşılaşabileceğinizi unutmayınız. Rapor mürekkepli kalem kullanılarak, el yazısı ile yazılabileceği gibi daktilo veya bilgisayarla da yazılabilir. Ancak sizlerin ilk deneyiminiz olduğu düşünülerek bu dönem için kurşun kalem kullanmanız hoş görülecektir.

Haftalık hazırladığınız raporlar dikkatle değerlendirilir. Bu değerlendirmede yalnız fizik prensiplerine uygunluğu ve doğruluğu göz önüne alınmaz. Bunların yanında düzenli ve temiz hazırlanmış olmasına, anlatıma ve imla kurallarına uygunluğuna da dikkat edilir. (Giriş kısmının sonunda yer alan EK bölümüne bakınız.)

### ANLAMLI RAKAMLAR

Fiziksel ölçmelerin çoğu bir veya birkaç ölçeklendirilmiş aletin okunmasına dayanır. Bu aletlerin bölmelerinin sıklığı ve çizgilerinin inceliği sınırlıdır. Bu bakımdan okunan ölçüm değerinin son rakamı tahmine dayanır ve bir dereceye kadar şüphelidir. Bununla beraber bu şüpheli son rakam, ölçmek istenen büyüklük hakkında yararlı bilgi verdiği için **anlamlıdır**. **Anlamlı rakam'** lar, bir ölçü sonucunu belirtmek üzere yazılan sayıda doğru olduğu kesin olarak bilinen ve **sonuncusu** tahmine dayanan rakamlardır. Fiziksel ölçülerde bir ve yalnız bir tahmini veya şüpheli rakama izin verilir ve buna da anlamlı rakam gözüyle bakılır.

Milimetre bölmeli bir cetvelle bir uzunluk 4.87 cm olarak ölçülmüş olsun. Sonuncu 7 rakamı mm' nin tahmin edilen bir kesridir ve ölçüyü yaparken 6 veya 8 de okunmuş olabilir. Ne olursa olsun bu rakam ölçülen uzunluk hakkında faydalı bir değer ifade eder. Dolayısıyla bu

ölçünün anlamlı rakamları sayısı üçtür. **Virgölün yerinin anlamlı rakamlar üzerinde hiç bir etkisi yoktur.** Aynı uzunluk ister 48.7 mm, isterse 0.0487 m olarak ifade edilsin daima üç anlamlı rakamdan oluşmuştur.

Şimdi aynı cetvel ile bir uzunluğun tam otuz santimetre olarak ölçüldüğünü düşünelim. Ölçü sonucunu 30 cm olarak yazmak hatalı olacaktır. Çünkü fiziksel anlamda bu yazış tarzı, ölçülen uzunluğun tam otuz santimetre olduğunu değil 29 ile 31 cm arasında bir değere sahip olduğunu belirtir ve **ölçme işleminin son derece kaba yapıldığını gösterir.** Mademki elimizdeki cetvel ile milimetrelerce kadar tam okuyabiliyoruz ve milimetrenin kesirlerini tahmin edebiliyoruz, o halde ölçü sonucu 30.00 cm şeklinde dört anlamlı rakamla yazılmalıdır. Yani virgülden sonraki sıfırlar, çok defa sanıldığı gibi, gereksiz değil aksine yazılması zorunludur.

Genellikle ölçüm sonunda elde edilen bir sayıdaki sıfır rakamlarının anlamlı olup olmadığına sayının ondalık kesrine bakılarak karar verilir. Buna göre genel kurallar şöyle sıralanabilir:

- i) Sıfır olmayan bütün rakamlar anlamlıdır.
- ii) İki anlamlı rakam arasındaki bütün sıfırlar anlamlıdır.
- iii) Ondalık sayıların sol ucunda yer alan sıfırlar anlamsız, sağ ucunda yer alan sıfırlar anlamlıdır.
- iv) Tam sayıların sağ ucunda yer alan sıfırlar anlamsızdır.

Aşağıda verilen örneklerin incelenmesiyle bu kurallar daha iyi anlaşılacaktır.

Sayı	Anlamlı Rakam Sayısı	Dikkat Edilmesi Gereken Noktalar
2	1	%25 duyarlılığı ifade eder
2.0	2	%2.5 duyarlılığı ifade eder
2.00	3	%0.25 duyarlılığı ifade eder
0.136 (.136)	3	sıfırın yazılması zorunlu değildir, okuyucuya kolaylık sağlar
2.483	4	
$2.483 \times 10^3$	4	
310	2 veya 3	belirsizdir, sıfır anlamlı olabilir ya da yalnızca sayının ondalık kısmını gösterir
$3.10 \times 10^2$	3	
$3.1 \times 10^2$	2	belirsizlik yok

Bir ölçüm sonucunda yapılan ölçme hatasının da belirtilmesi gerekir. Bunun için hata değeri, ölçümün duyarlılığı kadar olmalı ve ölçülen değer in ondalık kısmını içermelidir. Örneğin;  $54.1 \pm 0.1$ ;  $121 \pm 4$ ;  $8.764 \pm 0.002$ ;  $(7.63 \pm 0.10) \times 10^3$  gibi.

## ANLAMLIL RAKAMLARLA HESAPLAMALAR

Bir sonucun ifade edildiği anlamlı rakamların gerçek değerleri, ölçüm hatalarını da içermelidir. Ancak hata hesabı çok uzun zaman alır ve genellikle laboratuvar çalışmaları uygulamaya yöneliktir. Böyle bir durumda, ölçüm sonucu elde edilen sayının

yuvarlatılmasıyla önemli bir hata yapılmış olmayacaktır. İşte bu düşünceye göre anlamlı rakamlarla hesaplama işlemlerini inceleyebiliriz.

### Toplama ve Çıkarma İşlemleri:

Toplanacak veya çıkarılacak bütün sayılar, içinde tahmin edilmiş değer bulunan en soldaki sütundan 1 basamak daha sağa uzanacak biçimde yuvarlatılır. Toplama ya da çıkarma işleminden sonra bulunan sonuç bir basamak daha yuvarlatılır.

Örnek: Yan tarafta verilen ölçmelerde son basamaklar olan 4, 5 ve 8 tahmin edilen kısımlardır. İçinde tahmin edilmiş değer bulunan en soldaki sütun koyu gösterilendir. Kurala göre bulunan sonuç bir basamak daha yuvarlatılmıştır.

$$\begin{array}{r} 476 \mathbf{4} \quad \text{birim} \\ 18.25 \quad " \\ + \quad 6.378 \quad " \\ \hline 4764 \quad \text{birim} \\ 18.2 \quad " \\ + \quad 6.4 \quad " \\ \hline 4788.6 \quad \text{birim} \end{array}$$

Aşağıda verilen örnekleri dikkatle inceleyiniz.

$$4788.6 \longrightarrow 4789 \text{ birim}$$

$$51.4 - 1.67 = 49.73 \rightarrow 49.7$$

$$7146 - 12.8 = 7133.2 \rightarrow 7133$$

$$20.8 + 18.72 + .851 = 40.37 \rightarrow 40.4$$

$$1.4693 + 10.18 + 1.062 = 12.711 \rightarrow 12.71$$

### Çarpma ve Bölme İşlemleri:

**Kural 1:** Çarpma ve bölme işlemlerinde bütün çarpanlar, en az anlamlı rakamı olan (en az duyarlı olan) çarpandan 1 fazla anlamlı rakamı olacak şekilde yuvarlatılır. Çarpma ya da bölme işleminden sonra bulunan sonuç en az duyarlı olan çarpan ile aynı sayıda anlamlı rakamı olacak biçimde yuvarlatılır.

Örnek olarak  $\frac{(653.6) \cdot (7.4)}{2\pi} = ?$  işleminin cevabını bulmaya çalışalım;

Burada tam sayı olan 2 nin ve  $\pi$  sayısının sonsuz sayıda anlamlı rakamı vardır. En az duyarlı olan ölçme ise 2 anlamlı rakamı olan 7,4 sayısıdır. Bu nedenle diğer ölçme ve çarpanlar 3 anlamlı rakama yuvarlatılır. Kurala göre işlemin sonucu ise 2 anlamlı rakama yuvarlatılacaktır.

$$\frac{(653.6) \cdot (7.4)}{2\pi} = \frac{(654) \cdot (7.4)}{(2.00) \cdot (3.14)} = 7.71 \times 10^2 = 7.7 \times 10^2 \text{ birim}$$

**Kural 2:** Bir çarpma ya da bölme işleminde bütün çarpanlar ve sonuç en az duyarlı olan ölçme ile aynı sayıda anlamlı rakamı olacak biçimde yuvarlatılır.

$$\frac{(81.526)(\pi)(7560)}{(0.0284)(0.50145)} \rightarrow \frac{(81.5)(3.14)(7560)}{(0.0284)(0.501)} = 1.360 \times 10^8 = 1.36 \times 10^8 \text{ birim}$$

Not: En az anlamlı rakamı olan sayı 0.0284 dür ve anlamlı rakam sayısı 3 tür. Kurala göre bütün sayılar 3 anlamlı rakamı olacak şekilde yuvarlatılmıştır.

## SAYILARIN YUVARLATILMASI:

Genel olarak bir sayının n anlamlı rakamı olacak biçimde yuvarlatılması için o sayının en solundaki anlamlı rakamdan başlanarak n tane anlamlı rakam sayılır ve geriye kalan kısım atılır. Eğer atılan kısım 5, 50, 500, ...den büyük ise korunan son basamaktaki sayı 1 arttırılır. Eğer atılan kısım tam 5, 50, 500,... ise "ÇİFT SAYILAR KURALI" uygulanır. Bu kurala göre eğer korunan son basamaktaki sayı çift ise bir değişiklik yapılmaz, tek ise 1 arttırılarak çift yapılır.

## DENEY HATALARI

Hiçbir ölçüm kesin doğrulukta yapılamaz. Dikkat ve titizlik gerektiren araştırmalarda oldukça hassas aletler kullanılarak hatalar en aza indirilebilir. Ancak sizlerin yapacağı deney çalışmalarında hataları azaltmak pek mümkün olmamaktadır. Bu nedenle deney sonuçlarının beklenenden farklı çıkma olasılığı vardır. Ancak bu sonucu yorumlamak ve hataların kaynaklarını belirlemek, daha iyi sonuçlar almak için önemli adımlardır. Dolayısı ile deneyi doğru yapmak kadar hata kaynaklarını belirlemek gerekmektedir. Genelde iki tip hatadan söz edilir. Bunlar **sistemik hatalar** ve **rastgele** (kontrol edilemeyen) **hatalardır**.

**SİSTEMATİK HATALAR:** Belirlenebilen hatalardan kaynaklanan hatalardır ve genellikle tesbit edilebilirler. Bu hatalara sistematik hata denilmesinin nedeni bulunan sonuçların aynı büyüklükte hata içermesindendir. Birbirine uygun, büyük veya küçük değerler elde edilir. Deneyin tekrarlanması ve ortalama alınması ile bu hatalar giderilemez.

Bu tip hatalar, hatalı veya ayarlanmamış ölçü aletlerinden, kullanılan metodun yanlış olmasından, gözleyicinin alışkanlığından, tecrübesizliğinden ve çevre şartlarından ileri gelebilir. Örneğin; hatalı bölmelendirilmiş bir cetvelin uzunluk ölçümünde kullanılması, gözlemcinin ölçü aletini yanlış kullanması gibi etkenler hataya neden olur. Bunların yanında sıfır noktası kaymış bir termometrenin kullanılması, gramları yanlış ayarlanmış veya kolları eşit olmayan bir terazi ile yapılan ölçümler sistematik hatalara girer. Sistematik hatalar çoğu zaman rastgele hatalardan daha önemlidir. Bu hatalar kullanılan metodu değiştirmek, ölçü aletlerini ayarlamak ve denklemleri düzeltmek yolu ile azaltılabilir veya giderilebilir.

**ÖRNEK:** Bir hassas terazinin iki kolu tamamiyle eşit yapılamayacağından bir m kütlelerinin tartılması ile kaçınılması mümkün olmayan bir alet hatası yapılmış olur. Bu sistematik hata çift tartma ile giderilebilir: m kütlelerini dengelemek için sağ göze konulan gramlar  $m_1$  ve sol göze konulan gramlar  $m_2$  olursa, cismin doğru kütlesi

$$m = \sqrt{m_1 m_2} \quad \text{veya} \quad m = (m_1 + m_2) / 2$$

dir.

**RASTGELE HATALAR:** Bu tip hatalar gözleyiciye, ölçü aletlerine ve ölçülecek büyüklüğe etki eden kontrolü imkansız koşullar nedeni ile ortaya çıkan hataların birikmesinden kaynaklanır. Bu hatalar pratikte bütün ölçülere girerler, pozitif veya negatif değerde olabilirler. Bu hataların etkileri fiziksel büyüklüğün birçok kereler ölçülmesi ve ortalamasını almakla azaltılabilir. Rastgele hatalar için atmosfer basıncı, sıcaklık değişimi, çevreden gelen gürültüler, güç kaynaklarının voltajlarında meydana gelen dalgalanmalar örnek olarak verilebilir.

## HATA HESAPLARI

Bilimsel çalışmalarda yapılan araştırmaların doğruluğu hakkında bilgi sahibi olmak istenir. Bu nedenle ölçüm sonuçlarının ne kadar doğru olduğunu belirlemek için hata hesapları yapılır.

Hata hesabının yapılabilmesi için öncelikle ölçmeden gelen hatanın belirlenmesi gerekir. Prensip olarak ölçmede yapılabilecek hata ölçü aracının gösterdiği en küçük değer kadardır. (Bazı durumlarda yarısı kadar da alınabilir.) Örneğin; 1mm duyarlılıkla ölçüm yaptığınız bir cetvelden gelebilecek hata  $\pm 1$  mm dir, 1/10 mm duyarlılıkla ölçüm yaptığınız kompasdan gelecek hata  $\pm 0.1$  mm olacaktır, saniyenin 1/100 ni gösteren bir kronometre ile  $\pm 0.01$  s hatalı ölçüm yapılacaktır. Bir cetvel ile 12.7 cm olarak ölçülen bir niceliğin değeri (d)

$$d = (12.7 \pm 0.1) \text{ cm}$$

şeklinde yazılır. Bu değer % belirsizliği (hatası) bilinmek istenir. Bunun için

$$\% \text{ belirsizlik} = \frac{\Delta d}{d} \times 100$$

bağıntısından bulunur. Burada  $\Delta d$  ölçmede yapılan 0.1 cm lik hata değerine karşı gelir. Buna göre

$$d = (12.7 \pm \%1) \text{ cm}$$

şeklinde ölçüm sonucu yazılır.

Bir fiziksel büyüklüğün değeri iki şekilde bulunur. Bunlardan biri tek bir ölçüm aleti kullanılarak büyüklüğün bulunması, diğeri ise matematiksel olarak bağlı olduğu bağımsız değişkenlerin ölçümünden hesaplanarak bağımlı değişken olarak elde edilmesidir.

Ölçülen bir fiziksel büyüklüğün belirsizliği daha önce anlatıldığı gibi ölçü aletinin belirsizliğinden bulunabilir.

Aynı büyüklüğün tekrarlanan ölçümü farklı sonuçlar veriyorsa belirsizliğin yeniden tanımlanması gerekir. Bunun için ortalama değer (aritmetik ortalama) ve standart sapma hesaplanmalıdır.

Her bir okuma  $x_i$  , okuma tekrar sayısı n ise, **aritmetik ortalama** nın anlamı;

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

dir. Her bir okumadaki **sapma** ( $d_i$ ) ise

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



ile tanımlanmıştır. Tüm okumalardaki sapmaların ortalamasının sıfır olduğu söylenebilir. Sapmaların mutlak değerlerinin ortalaması ise

$$|\bar{d}| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |d_i| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|$$

ile hesaplanır ve bu değerin sıfır olması gerekmemektedir. Standart sapma

$$\sigma = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{1/2}$$

eşitliğinden hesaplanır. Standart sapması hesaplanan fiziksel büyüklük genellikle

$$x = \bar{x} \pm \sigma$$

olarak yazılır. Ölçüm hataları belirlenmiş deney verilerinden, ikisinin veya daha fazlasının, hesaplama işlemlerinde kullanılması ile bir değer elde ediliyorsa, bu değerinde belirsizliğinin verilmesi gerekir. Bunun için bileşik hata hesabı kullanışlı ve basit bir yöntemdir.

### Bileşik Hata Hesabı

R,  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  bağımsız değişkenlerinin bir fonksiyonu olsun, yani matematiksel ifadesi  $R = f(x_1; x_2; x_3; \dots; x_n)$  dir. Bir deneyde bu değişkenlerin değerleri ölçümle bulunuyor ve her ölçüm için yapılan hata değerleri  $\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3, \dots, \Delta x_n$  olarak belirleniyor olsun. Hesaplanarak elde edilen R değerinin bulunmasında yapılan hata  $\Delta R$  olmak üzere, bileşik hata

$$\Delta R = \left( \left( \frac{\partial R}{\partial x_1} \Delta x_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial x_2} \Delta x_2 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial x_3} \Delta x_3 \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial R}{\partial x_n} \Delta x_n \right)^2 \right)^{1/2}$$

eşitliğinden bulunur.

Bu yöntem toplama ve çıkartma ile çarpma ve bölme işlemleri kullanılarak örneklerle açıklanmıştır.

### Ölçme Sonuçları ile Toplama ve Çıkarma İşlemleri:

x, y ve z ölçülen değerler ve ölçüm hataları  $\Delta x, \Delta y$  ve  $\Delta z$  olsun. Bu üç ölçüm sonucu  $x \pm \Delta x; y \pm \Delta y$  ve  $z \pm \Delta z$  şeklinde yazılır. Buradaki belirsizlik değerleri ölçüm aletinin en küçük birimine karşı gelmektedir. w ise

$$w = x + y - z \tag{1}$$

olsun.  $\Delta w$

$$\Delta w = \left( \left( \frac{\partial w}{\partial x} \Delta x \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial y} \Delta y \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial z} \Delta z \right)^2 \right)^{1/2} \tag{2}$$

$$\frac{\partial w}{\partial x} = 1, \quad \frac{\partial w}{\partial y} = 1, \quad \frac{\partial w}{\partial z} = -1$$

$$\Delta w = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2} \quad (3)$$

eşitliğinden bulunur. Eğer işlemde kullanılan ölçüm sonuçlarından birinde yapılan hata diğerlerinden çok büyükse, bu durumda diğer hata terimleri ihmal edilir.  $\Delta y$ ;  $\Delta x$  ve  $\Delta z$  den çok büyükse

$$\Delta w = \sqrt{(\Delta y)^2} = \Delta y$$

olarak bulunacaktır. Yani işlem sonunda aranan hata değeri, ölçüm sırasında yapılan en büyük hataya karşı gelmektedir.

### Örnekler

#### 1. Bir deneyde ölçülen uzunluklar

$$\ell_1 \pm \Delta \ell_1 = 23.5 \pm 0.1 \text{ cm}$$

$$\ell_2 \pm \Delta \ell_2 = 17.8 \pm 0.4 \text{ cm}$$

$$\ell_3 \pm \Delta \ell_3 = 93.9 \pm 0.2 \text{ cm}$$

olsun. Buradan  $L = \ell_1 + \ell_2 - \ell_3$  eşitliğinden

$$L \pm \Delta L = -52.6 \pm 0.4 \text{ cm}$$

olarak bulunur, 0.4 lük hata ise yapılan en büyük hata değerine karşı gelmektedir.

#### 2. İki kütlenin ölçüm değerleri hataları ile birlikte

$$m_1 \pm \Delta m_1 = 1.746 \pm 0.010 \text{ kg}$$

$$m_2 \pm \Delta m_2 = 0.507 \pm 0.010 \text{ kg}$$

olarak verilmiş ve  $M = m_1 + m_2$  olmak üzere

$$\Delta M = \sqrt{(0.010)^2 + (0.010)^2} = \sqrt{2} \times 0.010 = 0.014 \text{ kg}$$

ve

$$M \pm \Delta M = 2.253 \pm 0.014 \text{ kg}$$

olarak yazılır.

#### 3. Aşağıda verilen zaman değerleri ölçülmüş olsun

$$t_1 \pm \Delta t_1 = 0.743 \pm 0.005 \text{ s}$$

$$t_2 \pm \Delta t_2 = 0.384 \pm 0.005 \text{ s}$$

toplam t zamanı,  $t = 2t_1 + 5t_2$  ise ;  $\Delta t$  nin hesaplanmasında eşitlikte görülen katsayılar aynen kullanılır. Buna göre

$$\frac{\partial t}{\partial t_1} = 2, \quad \frac{\partial t}{\partial t_2} = 5$$

$$\Delta t = \sqrt{(2\Delta t_1)^2 + (5\Delta t_2)^2} = \sqrt{(0.010)^2 + (0.025)^2} = 0.027 \text{ s}$$

$$\Delta t = 3.406 \text{ m} 0.027 \text{ s}$$

bulunur.

### ***Ölçme Sonuçları ile Çarpma ve Bölme İşlemleri:***

Bir dikdörtgenin eni (w) ve boyu (h) olmak üzere alanı (A)

$$A = wh$$

dır. w ve h, ölçüm hataları belirlenerek ölçüldüğünü düşünelim. Buradan  $w \pm \Delta w$ ,  $h \pm \Delta h$  olmak üzere  $A \pm \Delta A$  yı bulalım.

$$\Delta A = \left[ \left( \frac{\partial A}{\partial w} \Delta w \right)^2 + \left( \frac{\partial A}{\partial h} \Delta h \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\Delta A = \left[ (h \Delta w)^2 + (w \Delta h)^2 \right]^{1/2}$$

Elde edilen eşitliğin her iki tarafı A ya bölünür ( $A = wh$ ).

$$\frac{\Delta A}{A} = \sqrt{\left( \frac{\Delta w}{w} \right)^2 + \left( \frac{\Delta h}{h} \right)^2}$$

Bu son eşitlikte her terimin; ölçüm hatasının, ölçülen değere oranı olduğuna dikkat ediniz. Dolayısı ile oranlar birimsizdir.  $\Delta A$  değeri son eşitliğin sağ tarafının A ile çarpılmasından bulunabilir.

Eşitliğin sağ tarafında bulunan oranlardan biri diğerinden çok daha büyükse yine diğer terim ihmal edilir. Buna göre ölçülen değerler çarpılıyor veya bölünüyorsa, ölçümlerin en büyük hata değeri işlem sonucunun da belirsizliğine karşı gelir.

Örnekler:

1. Bir cismin hızı (v); alınan yol (x) ve geçen süre (t) ölçülerek bulunuyor olsun;  $v = x/t$  olmak üzere v nin elde edilmesinde yapılan hatayı ( $\Delta v$ ) bulalım. Önce kısmi türevleri alalım.

$$\frac{\partial v}{\partial x} = \frac{1}{t} \quad , \quad \frac{\partial v}{\partial t} = -\frac{x}{t^2}$$

olur.

$$\Delta v = \left[ \left( \frac{\Delta x}{t} \right)^2 + \left( -\frac{x}{t^2} \Delta t \right)^2 \right]^{1/2}$$

Eşitliğin her iki tarafını v ye bölelim , böylece

$$\frac{\Delta v}{v} = \sqrt{\left( \frac{\Delta x}{x} \right)^2 + \left( \frac{\Delta t}{t} \right)^2}$$

eşitliğinden hata oranı bulunur.

$$x \pm \Delta x = 0.63 \pm 0.02 \text{ m}$$

$$t \pm \Delta t = 1.71 \pm 0.10 \text{ s}$$

olarak ölçülmüş ise  $v \pm \Delta v = 0.37 \pm 0.02 \text{ m/s}$  olduğunu gösteriniz.

## 2. Silindirin Hacmi

Silindirin çapı d , ölçüm hatası  $\Delta d$ ; silindirin yüksekliği h; ölçüm hatası  $\Delta h$  olmak üzere; silindirin V hacmi

$$V = \pi r^2 h = \frac{\pi}{4} d^2 h$$

eşitliğinden ve  $\Delta V$  değeri

$$\Delta V = \left\{ \left( \frac{\partial V}{\partial d} \Delta d \right)^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial h} \Delta h \right)^2 \right\}^{1/2} = \left\{ \left( \left( \frac{\pi}{2} dh \right) \Delta d \right)^2 + \left( \left( \frac{\pi}{4} d^2 \right) \Delta h \right)^2 \right\}^{1/2}$$

$$\frac{\Delta V}{V} = \left\{ \left( \frac{2\Delta d}{d} \right)^2 + \left( \frac{\Delta h}{h} \right)^2 \right\}^{1/2}$$

eşitliğinden bulunur. d ve h nin değerleri bir ölçüm sonunda

$$d = (2.36 \pm 0.01) \text{ cm} \quad \text{ve} \quad h = (5.28 \pm 0.02) \text{ cm}$$

olarak verilmiş ise, yukarıdaki eşitliklerde  $d = 2.36 \text{ cm}$  ,  $\Delta d = 0.01 \text{ cm}$ ;  $h = 5.28 \text{ cm}$  ve  $\Delta h = 0.02 \text{ cm}$  değerleri yerine konur ve hesaplamalar yapılır. Buna göre  $V = (23.09 \pm 0.22) \text{ cm}^3$  dür. Bu değeri için % belirsizlik hesaplanıyorsa %1 olarak bulunur ve  $V = (23.09 \pm \%1) \text{ cm}$  olarak yazılır.

Laboratuvar deneylerinin büyük bir kısmı bilinen sabit değerlerin bulunmasını içerir. Bunun için bilinen değer ile deneysel olarak bulunan değer karşılaştırılır. Genel bir fikir edinmek için % hata hesabı yapılır ve aşağıdaki bağıntı kullanılır.

$$\% \text{ Hata} = \frac{(\text{Bilinen Sabit Değer} - \text{Deneysel Değer})}{\text{Bilinen Sabit Değer}} \times 100$$

**ÖRNEK.** Bir deney sonunda yerçekimi ivmesi  $g = (9.20 \pm 0.20) \text{ ms}^{-2}$  olarak bulunmuş olsun, bilindiği gibi  $g$  nin gerçek değeri  $9.80 \text{ ms}^{-2}$  dir. Bu deney sonucunu değerlendirmek üzere % hata yukarıda verilen denklemden %6 olarak bulunur.

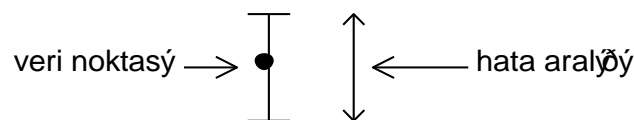
Bu tür bir hesaplama ile elde edilen değer, kuramsal bilgi ile deney arasında meydana gelen uyumsuzluğu gösterir. Ancak bunun ölçme sırasında yapılan hatalardan kaynaklandığı unutulmamalıdır. Yapılan hatanın % değeri bulunduğundan sonra, hata nedenleri tartışılır ve hataları gidermek için yeni yöntemler önerilir.

## GRAFİKSEL ANALİZ

Deneysel sonuçlar genellikle grafiksel olarak gösterilir. Grafik, bir seri ölçüm sonucunun en iyi ortalamasının elde edilmesini, değerlerin birbiri ile ilgili ilişkilerinin açıkça görülmesini sağlar. Ayrıca bir deneyde ölçülen büyüklükler arasındaki ilişkilerin bulunması istenir, işte bunun için de en iyi yöntem grafik çizimidir. Çizilen bir grafik analiz edilerek sonuca ulaşılır. Bütün bu özelliklerinden dolayı grafik çizimi ve analizi her fizikcinin çok iyi bilmesi gereken bir konudur.

### Grafik Çizimi ve Verilerin Grafikte Gösterilmesi ile İlgili Temel Prensipler:

1. Grafik çiziminde ince uçlu kalem kullanılmalıdır (kurşun kalem kullanılabilir). Gerektiğinde renkli kalem de kullanılabilir.
2. Grafik mümkün olduğunca büyük çizilmelidir. Küçük çizilmiş bir grafik, doğru sonuç elde edilmesini engeller.
3. Grafiğin mutlaka kısa ve öz adı yazılmalıdır. Örneğin; Hız-Zaman Grafiği, matematiksel olarak  $v=f(t)$  Grafiği şeklinde yazılabilir.
4. Sonuçların grafiğe geçirilmesinde; x-eksenine (apsis) bağımsız değişken, y-eksenine (ordinat) bağımlı değişken işaretlenmelidir.
5. Grafiğin eksenlerine ilgili büyüklüğün adı ve birimi yazılmalıdır.
6. Eksenler uygun şekilde ölçeklendirilmeli (genellikle 1, 2, 5, 10 ve katları kullanılır) ve mümkün olduğunca sıfırdan başlatılmalıdır. Ölçeğin seçiminde gereğinden büyük olmamasına dikkat edilmelidir. Aksi takdirde sonuçların hataları artar ve iki büyüklük arasındaki ilişkinin anlaşılması güçleşir.
7. Ölçümlerde yapılan hataları göserecek şekilde hata darları çizilmelidir. hata barının çizimi şekilde gösterilmiştir. Eğer bağımlı ve bağımsız değişkenlerin her ikisinde ölçüm hatasını içeriyorsa, grafik üzerindeki her nokta kare veya daire içine alınmalıdır.



8. Veri noktaları hataları ile birlikte grafikte gösterildikten sonra, bu noktalardan geçen düzgün bir eğri çizilmelidir. (Uyarı: Noktalar hiçbir zaman ard arda çizgilerle birleştirilmemelidir.) Çizilen eğri ölçüm hatalarını da içerir. Eğer ölçüm sonuçları rastgele hataları kapsıyorsa veri noktalarının yaklaşık 1/3 ü çizilen eğrinin dışında kalır.

9. Çizilen bir grafiğin doğrusal olması tercih edilmelidir. Doğrusal grafiğin çizilmesi hem kolaydır hem de daha güvenilir sonuçların elde edilmesine olanak sağlar. Eğer değişkenler arasında doğrusal bir orantı yoksa, doğrusal bir ilişki bulmak için; değişkenlerden birinin veya her ikisinin kuvvetleri alınır.

Örneğin; basit sarkaç için T periyod, l sarkaç uzunluğu olmak üzere T ye karşı l grafiği bir paraboldür, fakat  $T^2$  ye karşı l grafiğinden bir doğru elde edilir. Diğer taraftan T ye karşı  $1/l$  grafiğinden bir hiperbol elde edilir. Buna göre  $T^2$  ye karşı l grafiğinin çizilmesi sonucun değerlendirilmesinde en uygun yoldur.

Doğrusal grafik elde etmek için diğer bir yöntemde değişkenlerin 10 tabanına göre logaritmalarının (e tabanına göre doğal logaritması da alınabilir) alınması ve buna göre grafiğin çizilmesidir. Bu yöntem iki nicelik arasındaki ilişkinin bulunmasında kullanılır.

Örneğin; basit sarkacın ampirik bağıntısını elde etmek için, periyod-sarkaç uzunluğu  $T=k l^n$  şeklinde genel bir ifade olarak yazılabilir. Daha sonra eşitliğin her iki tarafının logaritması alınır. Buna göre

$$\log T = n \log l + \log k$$

eşitliği elde edilir.  $\log T = f(\log l)$  grafiği çizilir. Elde edilen doğrunun eğiminden n çarpanı, doğrunun y-eksenini kestiği noktadan k değeri bulunur. Bu şekilde T-l ilişkisi bulunmuş olur.

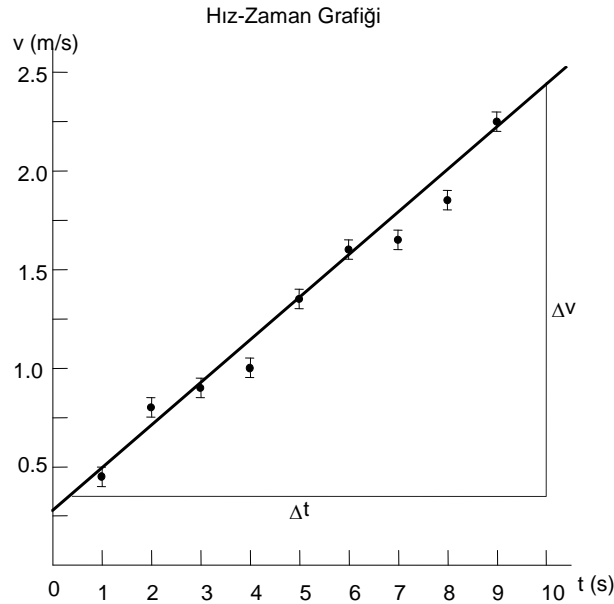
#### GRAFİK ÇİZİMİ İLE İLGİLİ ÖRNEKLER:

1. Hızın zamanla değişiminin incelendiği bir deney sonunda alınan ölçümler aşağıda verilmiştir:

Zaman (s)	Hız (m/s)
1	$0.45 \pm 0.05$
2	$0.80 \pm 0.05$
3	$0.90 \pm 0.05$
4	$1.00 \pm 0.05$
5	$1.35 \pm 0.05$
6	$1.55 \pm 0.05$
7	$1.65 \pm 0.05$
8	$1.85 \pm 0.05$
9	$2.25 \pm 0.05$

Hız bağımlı değişken, zaman bağımsız değişken olmak üzere Hız-Zaman Grafiği aşağıda verilmiştir.

Veriler şekilde görüldüğü gibi grafiğe geçirilir. Grafikten hızın zamanın lineer (doğrusal) bir fonksiyonu olduğu görülmektedir. Bir doğrunun genel denklemi  $y = mx + n$  şeklindedir.



Burada m doğrunun eğimi, n ise  $x=0$  iken doğrunun y-eksenini kestiği noktadır. Buradan  $y=v$  ve  $x=t$  olmak üzere  $m=a$  ve  $n=v_0$  olarak belirlendiğinde doğru denklemi

$$v = at + v_0$$

bağıntısı yazılabilir. Burada  $v_0$ ,  $t=0$  anında cismin ilk hızı ve  $a$ , cismin ivmesine karşı gelir. Çizilen grafikten  $v_0=0.28$  m/s değeri bulunur. Doğrunun eğimi hesaplanarak  $a$  ivmesinin değeri bulunur. Bunun için doğru üzerinde iki nokta seçilir. Seçilen iki nokta arasındaki mesafenin yeterince büyük olmasına dikkat edilmelidir. Grafik üzerinde bu iki nokta gösterilmiştir. Seçilen noktaların  $(t;v)$  değerleri belirlenir ve

$$\text{eğim} = a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{2.42 - 0.36}{10.0 - 0.3} \frac{(\text{m/s})}{(\text{s})} = \frac{2.06(\text{m/s})}{9.7(\text{s})} = 0.21 \text{m/s}^2$$

bulunur. Doğrunun denklemi;

$$v = 0.21t + 0.28 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

olarak elde edilir. Çizilen grafikte  $0.21 \text{ m/s}^2$  olarak bulunan eğim değeri ile doğrunun y-ekseni ile kesiştiği  $0.28 \text{ m/s}$  değerinin elde edilmesindeki belirsizliğin tayini yapılmalıdır. Yani grafik çiziminden elde edilen değerlerdeki hata değeri belirlenmelidir. İşte bunun için veri noktalarından geçen maksimum eğimli doğru ile minimum eğimli doğrular çizilir.

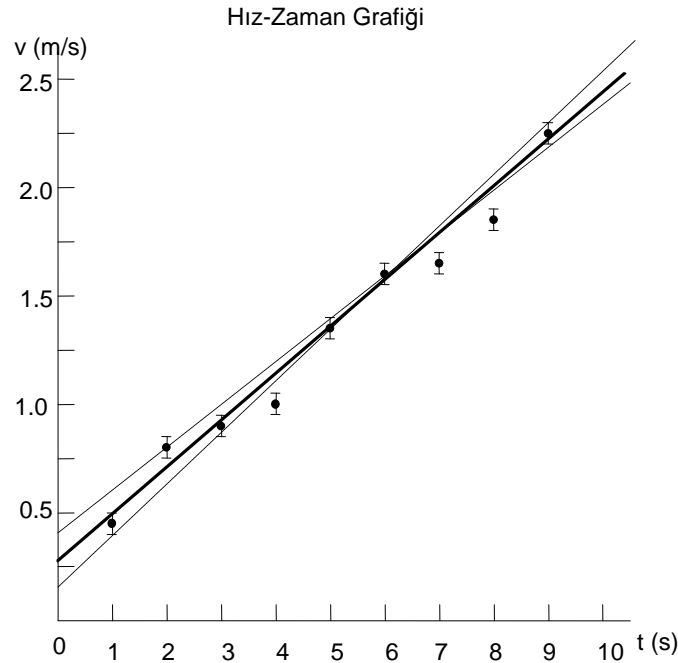
Hız-Zaman Grafiğinde çizilen doğru ortalamayı en iyi veren doğru olmalıdır. Bunun için genel kural; çizilen doğrunun sağında ve solunda kalan, veri noktaları sayısının eşit olması şeklindedir. Bundan başka öyle iki doğru çizilir ki, doğrulardan birinin eğimi minimum, diğerinin eğimi ise maksimumdur. Buna göre çizilen ideal doğrunun eğimindeki belirsizlik

$$\text{Eğimin Belirsizliği} = (\text{Mak. Eğim} - \text{Min. Eğim})/2$$

eşitliğinden hesaplanır. Verilen örnek için eğimdeki belirsizlik  $\Delta a$ ;

$$\Delta a = \frac{0.23 - 0.19}{2} (\text{m/s}^2) = 0.02 (\text{m/s}^2)$$

olarak bulunur ve  $a \pm \Delta a = 0.21 \pm 0.02 \text{ m/s}^2$  olarak sonuç hatası ile birlikte yazılır.



En iyi doğrunun y-ekseni ile kesiştiği noktanın elde edilmesinde yapılan hatanın (belirsizlik) hesaplanması: Doğrunun y-eksenini kestiği noktanın  $\Delta v_0$  belirsizliği; maksimum eğimli doğrunun y-eksenini kestiği nokta  $v_{\max}$ ; minimum eğimli doğrunun y-eksenini kestiği nokta  $v_{\min}$  olmak üzere

$$\Delta v_0 = (v_{\max} - v_{\min}) / 2$$

eşitliğinden bulunur. Örnek olarak verilen grafik için bu değer;

$$\Delta v_0 = \frac{0.45 - 0.17}{2} (\text{m/s}) = 0.14 (\text{m/s})$$

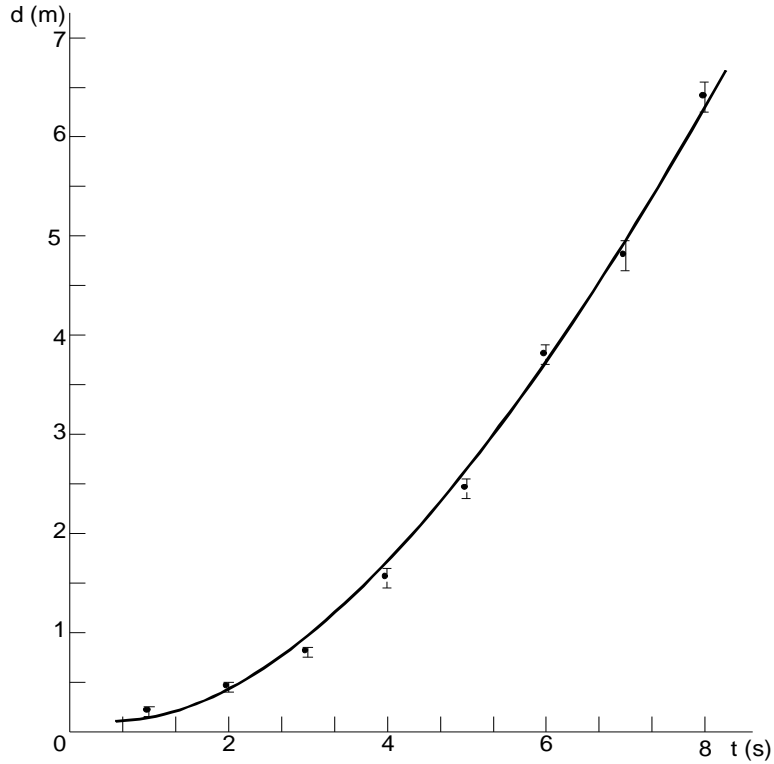
olarak bulunur ve  $v_0 \pm \Delta v_0 = 0.28 \pm 0.14 \text{ m/s}$  şeklinde sonuç yazılır.

**2.** Hareket eden bir cismin yol-zaman ilişkisi bulunmak isteniyor ve bir deney sonunda aşağıda verilen değerler elde edilmiş olsun;



t (s)	d (m)
1	0.20±0.05
2	0.45±0.05
3	0.80±0.05
4	1.57±0.10
5	2.43±0.10
6	3.81±0.10
7	4.80±0.20
8	6.39±0.20

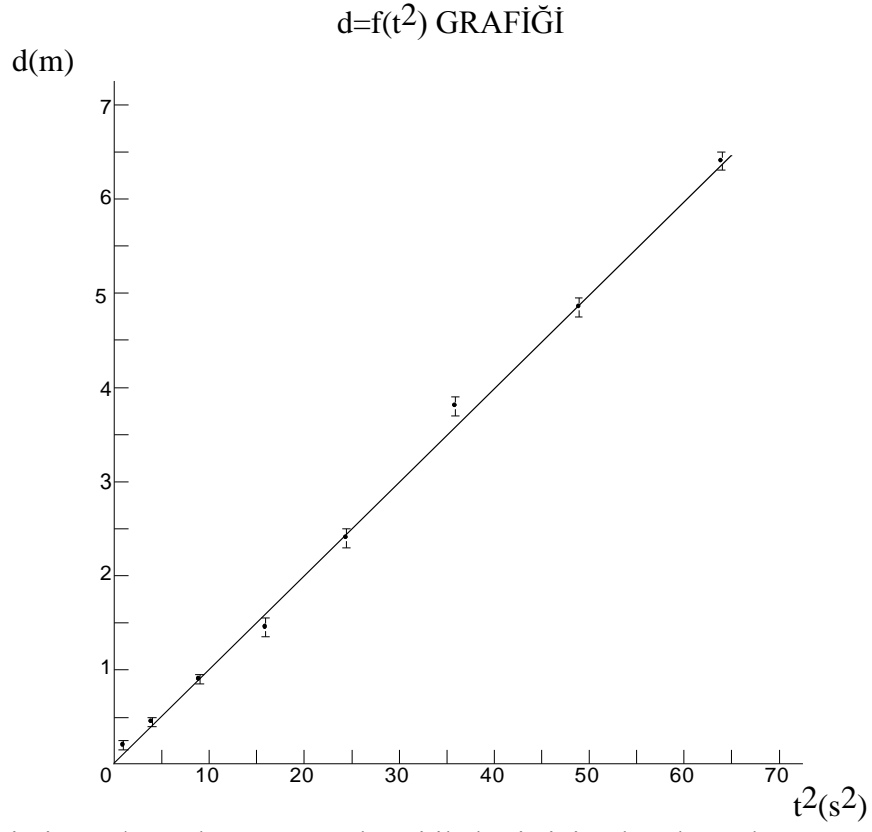
d=f (t) GRAFYONU



Görüldüğü gibi Yol-Zaman Grafiği bir parabolüdür ve buradan yol-zaman ilişkisinin doğrusal olmadığı söylenebilir. Buna göre d nin  $t^n$  ile orantılı olduğunu düşünmek gerekir, öyle ki  $n>1$  olmalıdır. Bilindiği gibi ivmeli hareket yapan bir cismin yol-zaman ilişkisi

$$d = d_0 + \frac{1}{2}at^2$$

eşitliği ile verilir. Yani d ile  $t^2$  orantılıdır. Bu nedenle d ye karşı  $t^2$  grafiği çizilirse; eğimi  $a/2$  ya eşit bir doğru elde edilir. Deney verileri kullanılarak aşağıda görülen grafik çizilir.



Grafiğin eğimi  $m=a/2$  ve doğrunun y-ekseni ile kesiştiği nokta  $d_0=0$  dır.

Bir uygulama olması için verileri kullanarak grafik kağıdına  $d=f(t^2)$  grafiğini çizin ve doğrunun eğiminden cismin  $a$  ivmesini bulunuz.

## **EK: Laboratuvar Raporunun Yazılım Biçimi**

Raporunuzun ilk sayfasına aşağıda gösterildiği gibi kimlik bilgisini yazınız;

Deney No:

Adı, Soyadı:

Grup No:

Tarih:

Deney Sorumlusu:

Deneyin Adı:

**AMAÇLAR:** Deneyin amaçları yazılır. Deney kılavuzunda her deney ile ilgili amaçlar verilmiştir. Ancak bu bilgiler olduğu gibi rapora yazılmamalıdır. Sizlerin kendi cümleleriniz ve düşüncelerinizi aktarmanız gerekir. Ayrıca kendinizi verilen bilgi ile sınırlamayınız. Aklınıza gelen farklı amaçlar da olabilir.

**ARAÇLAR:** Deneyde kullandığınız araçları ve ölçü aletlerinin özellikleri yazılır.

**KURAMSAL BİLGİ:** Deney çalışmasında kullanılan fizik prensipleri ve deneye özgü kullanılan genel bilgiler anlatılır. Deney kılavuzunda deneyin giriş kısmında yer alan bilgiler, size fikir verecektir. Aynısını aktarmayınız ve gerektiğinde konu ile ilgili kaynaklara başvurunuz. Kendi cümlelerinizi kullanınız. Böylece konuya hakimiyetiniz artar ve konuyu öğrenip öğrenmediğiniz anlaşılır.

**DENEYİN YAPILIŞI:** Deneyin nasıl yapıldığı, ne gibi problemlerle karşılaştığı yazılır. Gerektiğinde şekillere ve diyagramlara da yer verilir.

**VERİLER:** Her deneyin sonunda, deney ile ilgili tablolar verilmiştir. Bu tabloları deney sırasında kullanabilirsiniz. Ancak deney raporunda ayrıca veri tabloları oluşturulur ve veriler düzenli bir biçimde tablolara kaydedilir.

**VERİLERİN ÇÖZÜMLENMESİ:** Deney ile ilgili grafikler çizilir, grafikler ile ilgili işlemler, diğer hesaplamalar ve hata hesapları yapılır. Grafikler, grafik kağıdına çizildikten sonra kesilerek rapor kağıdına yapıştırılmalı ve ilgili hesaplamalar altında yer alan boşluğa yapılmalıdır. (Grafik üzerinde hiçbir işlem yapılmaz.) Raporunuzun bu kısmını yazarken deney kılavuzundaki *verilerin çözümlenmesi* kesiminde istenilen bilgilere dikkat ediniz.

**SONUÇ:** Deneyin sonunda neye ulaştınız? Beklediğiniz sonuçları elde edebildiniz mi? Ne kadar bir hata ile istenilen değerleri buldunuz? Öğrendiğiniz fizik prensiplerinin ve kavramlarının doğruluğunu görebildiniz mi? gibi soruların cevapları bu kesimde anlatılır.

**YORUM:** Deneyden neler öğrendiniz? Hata kaynakları nelerdir? Hataları giderme yolları var mı? gibi soruların yanıtları yer almalıdır.

**SORULAR:** Deney sonunda bulunan sorular cevaplandırılır.

## 1. ÖLÇME

### AMAÇ

1. Uzunluk, kütle ve hacim metrik birimlerini öğrenmek,
2. Cetvel verniyeli kompas, mikrometre ve terazi kullanarak uzunluk ve kütle ölçmeyi öğrenmek,

### ARAÇLAR

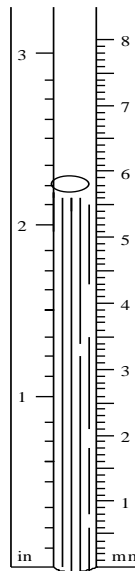
Ölçülecek cisimler, Cetvel, Verniyeli kompas, Mikrometre, 100 ml'lik ölçekli kap, Terazi (mg duyarlı),

### GİRİŞ

Fizikte deneyler genellikle bir fiziksel niceliğin ölçümünü içerirler. Bu ölçümlerin sonuçları olan sayılar da fiziksel verileri oluştururlar. Bundan başka, hemen tüm ölçümler sonuçta, bölmelenmiş bir ölçek üzerinde bir başvuru (referans işaretinin) yerini seçmeyi içerir.

Cetvel belki de en bilinen bir ölçek örneğidir. Bilimsel çalışmalarda uzunluk metrik cetvelle ölçülür. Bu cetvel santimetre (cm) ve onun onda biri, milimetre (mm) olarak bölmelendirilmiştir.

Şekil 1' deki silindirin uzunluğu metrik cetvelde 5 cm artı 7 mm artı 0.9 mm olarak saptanır ve  $1\text{ mm} = 0.1\text{ cm}$  olduğundan 5.79 cm olarak yazılır. 5.79 sayısının son basamağı, silindirin ucunun cetvelin 5.7 ile 5.8 cm çizgilerine uzaklığı göz önüne alınarak saptanır. Son basamak ilk iki basamak kadar keskin olmasa da, anlamlıdır ve yazılmalıdır. Bununla birlikte ölçü sonucunu 5.790 cm yazmak yanlıştır. Çünkü bu durumda son basamak olan 0 rakamı anlamlı değildir. Çizelge 1, uzunluk, hacim ve kütlenin en çok kullanılan metrik birimlerini ve çevirme bağıntılarını vermektedir. Bu birimler fizik öğreniminiz süresince kullanılacaktır. Bu nedenle onları çok iyi bilmeniz gerekir.



Şekil 1. Bir silindirin uzunluğunun metrik cetvelle ölçülmesi.

Çizelge 1. Genel Metrik Birimler

Fiziksel Büyüklük	Ölçü Birimleri	Kısaltılmış Gösterim	Çevirme Bağlantıları
Uzunluk	metre santimetre milimetre	m cm mm	1 m=100 cm=1000 mm 1 cm=0.01 m=10 mm 1 mm=0.1 cm=0.001 m
Hacim	litre mililitre santimetreküp	l ml cm <sup>3</sup>	1 l=1000 ml 1 ml=0.001 l 1 cm <sup>3</sup> =1 ml
Kütle	kilogram gram	kg g	1 kg=1000 g 1 g=0.001 kg

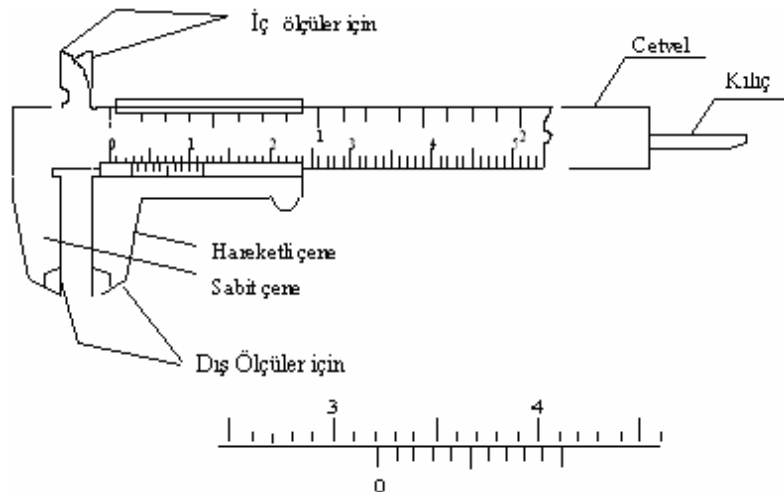
## YAPILACAK İŞLER

Size, A, B, C, D olarak işaretlenmiş değişik büyüklükte dört metal silindir verilecektir. Silindirlerin hepsi de aynı metalden, örneğin alüminyum, pirinç veya çelikten yapılmıştır.

Her silindirin L boyunu ve d çapını cetvelle ölçünüz. Her ölçme milimetrenin kesirleri göz önüne alınarak 0.02 cm kesinlikle yapılabilir. Ölçü sonuçlarınızı doğru sayıdaki anlamlı basamakla yazdığınızdan emin olmalısınız. Silindirlerin boyları için verniyeli kompas çapları içinde mikrometre kullanarak yukarıdaki ölçmeleri tekrarlayınız.

**Verniyeli Kompas:** Verniyeli kompas (Şekil 2), bir cismin iki ucunu bir cetvelin bölmeleri üzerine tam olarak çakırtmaya yarayan bir araçtır. Bu araçta, cetvel bölmelerinin kesirlerini belirtmeye yarayan bir verniyeli ölçek de vardır. Ölçülen uzunluk, ilk verniye çizgisinin (0) asıl ölçekteki yeri ile belirlenir. Şekil 2' deki örnekte verniyenin ilk çizgisi 3.2 cm'den fazla bir uzunluğu göstermektedir. 3.2 cm ile 3.3 cm arasındaki kesirsel uzunluğu bulmak için, verniyenin hangi çizgisinin, asıl örneğin çizgilerinden biri ile çakışmış olduğu saptanır. Verniyenin bu çizgisi ile ilk çizgisi (0) arasındaki verniye bölmelerinin sayısı göz önüne alınarak, aranan kesirsel uzunluk bulunur. Örneğin şekil 2' de, üçüncü verniye çizgisi, asıl örneğin çizgilerinden biri ile çakışmıştır. Verniyenin 0 çizgisi ile üçüncü çizgisi arasında iki verniye bölmesi vardır. Her verniye bölmesinin uzunluğu 1 mm 'nin 9/10'u kadardır. Başka bir deyişle, bir verniye bölmesi, asıl ölçeğin en küçük bölmesinden 0.1 mm daha kısadır. Yeniden örneğimize dönersek, asıl ölçeğin 3.2 cm çizgisi ile, verniyenin 0 çizgisi arasındaki farkın,

2 verniye bölmesi x 0.1 mm = 0.2 mm olduğunu görürüz. O halde örnekteki kompastan okunacak değer tam olarak 3.22 cm'dir.

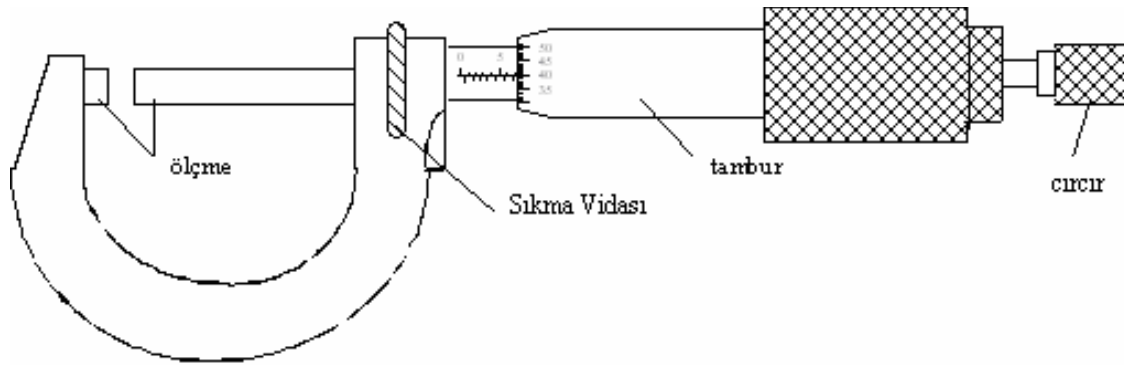


Şekil 2. Verniyeli Kompas ve bir verniyeli ölçeğin kullanılması

**Mikrometre:** Mikrometre (Şekil 3), küçük uzunlukları 0.001 cm'den daha iyi doğrulukta ölçebilen bir araçtır. Mikrometre ile ölçme yapmadan önce, mikrometrenin çeneleri arasında birşey yokken, çeneleri kapatarak sıfır ayarını kontrol etmelisiniz (Mikrometreyi çok sıkı kapatırsanız bozabilirsiniz. Bunun için mili, her zaman en uçtaki küçük tırtıllı sapını kullanarak çeviriniz). Mikrometrenin gövdesi üzerindeki başvuru (referans) çizgisi, dairesel ölçek üzerindeki sıfır çizgisi ile çakışmıyorsa ayarlı değildir. Bu durumda bütün ölçülerinizi aşağıdaki biçimde düzeltmeniz gerekir. Mikrometre kapalıyken sıfır çizgisi, başvuru çizgisinin ötesine geçiyorsa, sıfır çizgisinin başvuru çizgisini kaç bölme geçtiği saptanır ve bu bölme sayısı ölçme sonuçlarına eklenir. Sıfır çizgisi, başvuru çizgisinin önünde kalıyorsa, yine kaç bölme önde kaldığı saptanır ve bu bölme sayısı ölçme sonuçlarından çıkartılır.

Bir silindirin çapını ölçmek için, mikrometrenin çeneleri, küçük tırtıllı sap kaymaya başlayıncaya kadar, silindirin üzerine yaklaştırılır. Mikrometrenin mili (gövdesi) üzerindeki çizgisel ölçek 0.1 cm olarak bölmelendirilmiştir. Milimetrenin kesirleri dairesel ölçekten okunur. Mikrometre milinin 0.1 cm ilerlemesi için mile iki tane dönü yaptırılması gerekir. Mil üzerindeki dairesel ölçek de 50 bölmeye ayrılmıştır. Böylece dairesel ölçek üzerindeki her bölme 0.001 cm'ye karşılık gelir. Bir bölmenin kesirlerinin de dikkate alınmasıyla mikrometre ile 0.0001 cm'ye kadar ölçüler yapılabilir. Milin çizgisel ölçek üzerindeki iki 0.1 cm çizgisinin yarısından daha fazla ilerlemiş olduğu durumlarda, dairesel ölçek üzerindeki okumalara 0.050 cm eklenmesi gerektiği unutulmamalıdır.

Silindirlerden en büyük ikisini sıra ile, yarısına kadar su doldurulmuş 100 ml'lik ölçekli kaba koyunuz (metal silindirin hafifçe kayarak gitmesi için ölçekli kabı eğik tutunuz). Silindirlerin V hacimlerini yükselttikleri suyun hacmini belirleyerek, ölçünüz.



Şekil 3. Mikrometre

Bütün silindirlerin m kütlelerini terazi ile ölçünüz.

## VERİLERİN ÇÖZÜMLENMESİ

Uzunluğu L, çapı d olan bir silindirin hacmi,

$$V = \frac{1}{4} \pi L d^2 \quad (1)$$

bağıntısı ile verilir. Burada  $\pi = 3.14$  'dür. Her silindirin hacmini, ölçtüğünüz L ve d değerlerinden yararlanarak hesaplayınız. Hesapladığınız V değerleri ile, bölmeli kapta suyun yükselmesi sonucu doğrudan elde ettiğiniz V değerlerini karşılaştırınız. Bir cismin  $\mu$  özkütlesi, kütlesinin hacmine oranıdır.

$$\mu = \frac{m}{V} \quad (2)$$

Özkütlenin metrik birimi santimetreküp başına gram ( $\text{gr/cm}^3$ ) ya da metreküp başına kilogram ( $\text{kg/m}^3$ ) dır. Verilerinizden her silindirin özkütlesini hesaplayınız.

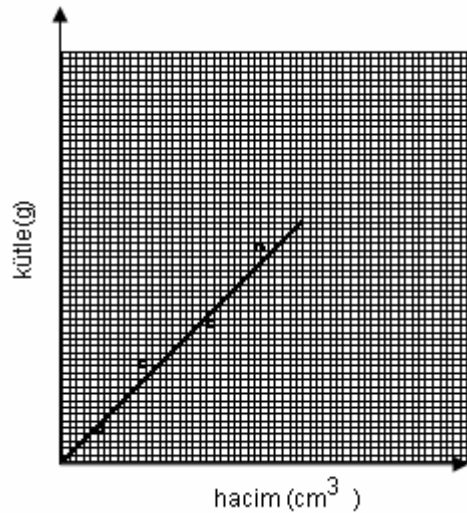
Türdeş (homejen) bir maddenin öz kütlesi, onun kendine özgü özelliklerinden biridir ve kütlesinden bağımsızdır. Bu nedenle, deney hataları dışında bütün metal silindirler için aynı  $\mu$  değerini elde etmeniz gerekir. Bununla birlikte her deneydeki doğruluğun sınırlı olması nedeni ile, bulacağınız dört  $\mu$  değeri tam olarak birbirine eşit çıkmayacaktır. Verilerinizden, dört silindirin öz kütlesinin "en iyi" değerini bulmak için aşağıdaki iki yöntemi kullanınız.

Yöntem 1.  $\mu$ 'nün dört değerinin ortalamasını alınız.

Yöntem 2. Silindirlerin m kütlelerini, V hacimlerine bağlayan  $m = f(V)$  grafiğini çiziniz. (2) bağıntısından görüldüğü gibi,

$$m = \mu \cdot V \quad (3)$$

dir. (2) bağıntısı  $m = f(V)$  grafiğinin başlangıçtan geçen bir doğru çizgi olması gerektiğini belirtir. Noktalarınızın üstünden geçen bir doğru çizgi çiziniz. Şekil 4'te görüldüğü gibi,



Şekil 4.  $m=f(V)$  grafiği. Doğru çizgi, veri noktalarına olabildiği kadar yakın ve başlangıçtan geçecek biçimde çizilmiştir

noktalarınız bir doğru çizgi üzerine düşmüyorsa, verilerinize en uygun (çizdiğiniz doğrunun sağında ve solunda eşit sayıda nokta olması en iyi sonucu verir) gelecek doğruyu çiziniz.  $\mu$ 'nün "en iyi" değeri, doğrunun eğimidir. Eğim,  $\Delta y$  düşey değişiminin,  $\Delta x$  yatay değişimine oranıdır. Yani,

$$s = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (4)$$

dir. Doğrunuzun eğimini hesaplayınız. Bu değerle, 1.Yöntemden elde ettiğiniz değeri karşılaştırınız. Bulduğunuz  $\mu$  değerini, bir özküteler çizelgesinde verilen özkütle değeri ile karşılaştırınız.

### KAYNAKLAR

1. A.H., Cromer, **Physics for the life Sciences**, Mc Graw-Hill, Çizelge 7.2
2. **Handbook of Chemistry and Physics**, Rubber Co. Cleveland.

### SORULAR

1. Bir silindirin hacmini bulmak için hangi yöntemin kullanılması daha iyi sonuç verir? Niçin?
2. Küçük silindirlerin hacimleri, ölçekli kaptaki suyun yükselmesi yöntemi ile niçin ölçülemez?
3. Belli bir geometrik biçimi olmayan bir taş parçasının öz kütlesini, bir terazi ve hacmini bildiğimiz ölçeksiz bir kap kullanarak nasıl ölçersiniz?

### EK BİLGİ

Bir maddenin, başka bir maddeye göre daha yoğun olup olmadığının belirlenmesi gerekebilir. Bu durumda bu iki maddenin özkütelerinin oranına bakılmalıdır. Bu orana, söz konusu iki maddenin birbirlerine göre yoğunluğu ya da bağıl yoğunluğu denir. Örneğin A maddesinin özkütlesi  $\mu_A$ , B maddesinin özkütlesi de  $\mu_B$  ise, A maddesinin, B maddesine göre yoğunluğu,

$$\rho = \frac{\mu_A}{\mu_B} \quad (5)$$

dır. Bu oran 1'den büyükse A maddesi B maddesinden daha yoğun, 1'den küçükse B, A'dan daha yoğundur. Kolayca görüleceği gibi bağıl yoğunluğun birimi yoktur.

Maddelerin suya göre yoğunluklarına doğrudan "yoğunluk" denir. Suyun özkütlesi  $\mu_{su} = 1 \text{ g/cm}^3$  olduğu için, bütün maddelerin yoğunluklarının sayısal değerleri, özkütelerinin sayısal değerlerine eşittir. Bu sonuca bakılarak özkütle ve yoğunluk kavramları karıştırılmamalıdır. Bu kavramlar fizikte çok ayrı nitelikleri belirler.

Çizelge 2. Bazı metal ve alaşımların özkütle değerleri.

Madde	Özkütle ( $\text{g/cm}^3$ )
Alüminyum	2,70
Çinko	7,10
Demir	7,87
Çelik	8,03
Pirinç	8,40
Bakır	8,96
Kurşun	11,34
Tungsten	19,30

**NOT:** Deneye gelmeden önce deney kitapçığının Önsöz ve Giriş kısımlarını okuyunuz.