

Paketleme Listesi

1. Dijital Terazı
2. Eşit Kollu Terazı
3. Sferometre
4. **Ayna Seti** (6 Adet, Çerçevesiz, Farklı Odak Uzaklıklarında Çukur/**Concave** ve Tümsek/**Convex** Aynalar)
5. Mikrometre
6. Kumpas
7. Ağırlık Takımı (8 Adet: 1x**50gr**, 2x**20gr**, 1x**10gr**, 1x**5gr**, 2x**2gr**, 1x**1gr**)
8. Cetvel (150mm)
9. Dereceli Silindir (Beher Kabı)
10. Farklı Şekilde Katı Geometrik Cisimler (4 Adet: Silindir, Koni, Dikdörtgen, Kare)
11. Çelik Bilye (1 Adet, Çap Ölçümleri)
12. **Öğrenci ve Öğretmen Deney Föyleri**

İçindekiler

Bölüm	Sayfa
1. Amaç	5
2. Fizik ve Ölçme	5
2.1. Uluslararası Birimler Sistemi (SI Birim Sistemi)	5
2.2. SI Birimleri Ön-ekleri	5
2.3. Ölçüm Çeşitleri	6
3. Hatalar	6
3.1. Hata Çeşitleri	6
3.1.1. Sistematik Hatalar	6
3.1.2. Rastgele Hatalar	6
3.2. Doğruluk ve Kesinlik	7
4. Anlamlı Sayılar	8
4.1. Bilimsel Gösterim	9
4.2. Anlamlı Sayılarla Hesaplamalar	9
4.2.1. Sayıların Yuvarlanması	9
4.2.2. Çarpma ve Bölme	10
4.2.3. Toplama ve Çıkarma	10
5. Hesaplanan Sonuçlarda Hatalar	11
5.1. Toplama ve Çıkarma	11
5.2. Çarpma ve Bölme	11
6. Ölçmede Hataların İfadesi (İstatistiksel Bakış)	11
6.1. Ortalama Değer	11
6.2. Ortalama Değerin Sapması	11
6.3. Standart Sapma	12
6.4. Mutlak, Fraksiyonlu ve Yüzdelik Hatalar	12
7. Grafikler	12
7.1. Doğrusal Bağlılıkların Grafik Analizi	14
7.2. Doğrusal Olmayan Grafikler	16
7.2.1. Ters Orantı Grafiği	16
7.2.2. Kare Kanunu Grafiği	17
7.2.3. Ters-Kare Kanunu Grafiği	17
7.2.4. Üstel İlişki	17
7.2.5. Katsayı Kanunları	18

8.	Deney Düzeneği	.....	19
8.1.	Cetvel	.....	20
8.2.	Kumpas	.....	20
8.3.	Mikrometre	.....	23
8.4.	Eşit Kollu Terazı	.....	25
8.5.	Dijital Terazı	.....	25
8.6.	Dereceli Silindir	.....	25
8.7.	Sferometer	.....	26
9.	Deney Prosedürleri	.....	29
9.1.	Yoğunluk	.....	29
9.2.	Dış Boyutların Belirlenmesi (Uzunluk, Hacim)	.....	29
9.3.	Kütlenin Belirlenmesi	.....	32
9.4.	Merceklerin Özellikleri	.....	34
9.5.	Eğrilik Yarıçapının Belirlenmesi	.....	35
10.	Laboratuvar Raporu	.....	36
10.1.	1. Cisim Ölçümleri	.....	37
10.2.	2. Cisim Ölçümleri	.....	40
10.3.	3. Cisim Ölçümleri	.....	42
10.4.	4. Cisim Ölçümleri	.....	44
10.5.	5. Cisim Ölçümleri	.....	46
10.6.	Yoğunluğun Hesaplamaları	.....	48
10.7.	1. Ayna (veya Mercek) Ölçümleri	.....	50
10.8.	2. Ayna (veya Mercek) Ölçümleri	.....	51
10.9.	3. Ayna (veya Mercek) Ölçümleri	.....	52
10.10.	4. Ayna (veya Mercek) Ölçümleri	.....	53
10.11.	5. Ayna (veya Mercek) Ölçümleri	.....	54
10.12.	6. Ayna (veya Mercek) Ölçümleri	.....	55

1. Amaç

Bu deneyde:

1. Kumpas, mikrometre ve **sferometre** kullanımlarının öğrenilmesi,
2. Verilen düzgün katı bir cismin **boyutlarının** (uzunluk, hacim) ölçülmesi,
3. Verilen bir cismin kumpas kullanarak **derinliğinin** belirlenmesi,
4. Verilen bir cismin eşit kollu terazi ve dijital terzi kullanarak **kütlesinin** belirlenmesi,
5. Cetvel, kumpas ve mikrometre ile yapılan ölçümlerdeki olası **hataların belirlenmesi** ve ölçüm sonuçlarının kesinliklerinin karşılaştırılması,
6. Kütlesi bilinen düzgün bir cismin farklı ölçüm teknikleri kullanarak **yoğunluğunun** belirlenmesi,
7. Küresel bir yüzeyin (**aynanın**), **sferometre** (indikatör) kullanarak eğrilik yarıçapının belirlenmesi,

amaçlanmıştır.

2. Fizik ve Ölçme

Fizik en temel bilimlerden biridir. Maddenin davranışı ve yapısı ile ilgilenir. Deneysel gözlemlere ve nicel ölçümlere dayanmaktadır. Doğayı anlatan anlamlı ilişkileri tanımlamak için, fiziksel nicelikleri, hangi fizik kanunu tarafından ifade edildiği açısından nasıl ölçüleceğini bilmek önemlidir.

Fiziksel nicelikler, genel olarak birbirlerinden bağımsız değildir. Fizik, yedi temel nicelikten oluşmaktadır. Bu niceliklerden uzunluk, kütle ve zaman, mekanikte kullanılan temel niceliklerdir. Mekanikte kullanılan diğer nicelikler bu üç temel nicelikten türetilmektedir. Bunların dışında diğer dört temel nicelik, akım, termodinamik sıcaklık, madde miktarı ve ışık şiddetidir.

2.1. Uluslararası Birimler Sistemi (SI Birim Sistemi)

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 Birimler Sistemi (SI Birim Sistemi)'dir. Bu birim sistemi, metrik sistemine dayanmaktadır ve temel birimler seti, metre, kilogram ve saniye birimlerini içermektedir. SI temel birimleri **Tablo-1**'de verilmiştir.

Tablo-1: Temel nicelikler ve birimleri.

Nicelik	SI Birim	Sembol
Uzunluk	metre	<i>m</i>
Kütle	kilogram	kg
Zaman	saniye	s
Akım	amper	A
Termodinamik Sıcaklık	kelvin	K
Madde Miktarı	mol	mol
Işık Şiddeti	kandela	cd

2.2. SI Birimleri Ön-ekleri

Metrik sistemde, daha büyük ve daha küçük birimler standart birimden 10 çarpanı ile belirlenir. Yaygın olarak kullanılan örnekler **Tablo-2**'de listelenmiştir.

Tablo-2: Yaygın olarak kullanılan örnekler.

10'un kuvvetleri	Önek	Sembol
10^{-15}	femto	f
10^{-12}	piko	p
10^{-9}	nano	n
10^{-6}	mikro	μ
10^{-3}	milli	m
10^{-2}	santi	c
10^3	kilo	k
10^6	mega	M
10^9	giga	G
10^{12}	tera	T

2.3. Ölçüm Çeşitleri

Genel olarak, ölçümler doğrudan ölçüm ve dolaylı ölçüm olmak üzere iki gruba ayrılır. Bir fiziksel değişkenin doğrudan ölçümü, bu değişkene karşılık gelecek birimlere göre kalibre edilmiş bir ölçüm cihazının skalasından okuma yaparak elde edilir. Doğrudan ölçüme örnek olarak bir cetvelle belli bir uzunluğun ölçülmesi verilebilir. Dolaylı ya da hesaplanan ölçümler, doğrudan ölçümler ile elde edilen büyüklüklerin matematiksel işlemler kullanarak istenen fiziksel değişkenlerin büyüklüklerinin belirlenmesidir. Genel anlamda, dolaylı ölçümler, değerleri doğrudan bir ölçüm cihazı kullanılarak tespit edilemeyen fiziksel değişkenlerin ölçümleridir. Örneğin, yarıçapı, r , doğrudan ölçüm ile önceden belirlenmiş bir kürenin hacminin $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ formülü ile bulunması dolaylı ölçümdür.

3. Hatalar

Hiçbir fiziksel nicelik mükemmel bir kesinlik ile ölçülemez; ölçüm içerisinde her zaman hatalar vardır. Fiziksel bir sistem üzerine yapılan bağımsız ölçümler tekrarlandığında, tüm ölçülen değerlerin genellikle tam olarak aynı olmayacağı gözlenen bir gerçektir. Genel olarak, belirli bir deney içinde gözlenen hata türleri, gözlemci, deney ekipmanı veya deneyin tasarımına bağlı olabilir. Ölçüm öncesinde ve ölçüm yapılırken, hataların tahmini ve tespit edilmesi önemlidir. Deneydeki hatalar, hata kaynaklarına ve deneyde oluşacak olası en büyük hata tahmininin yapılmasına dayanarak deneyin doğruluğu üzerine makul bir değerlendirme yapılarak açıklanabilir. Daha sonra, elde edilen ölçüm sonucu, ölçekten gözlenen değere “ $\pm$ ” simgesi kullanılarak olası en yüksek hatanın eklenmesi ile yazılır. Örnek olarak, “ x ” değerini ölçümün gerçek değeri ve “ Δx ” değerini ölçekten yapılan okumadaki en yüksek hata olarak düşünelim, bu durumda ölçüm sonucu “ $x \pm \Delta x$ ” olarak yazılır.

3.1. Hata Çeşitleri

Ölçüm sırasında yapılan hatalar, sistematik hatalar ve rastgele hatalar olmak üzere ikiye ayrılır.

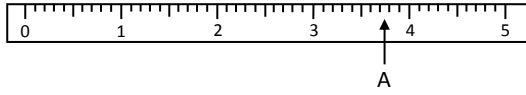
3.1.1 Sistematik Hatalar

Sistematik hataları, ölçüm cihazlarının kusurlarından kaynaklanmaktadır. Sistematik hatalar, sabit değerli hatalardır ve ölçüm sonucuna bu sabit hata değerleri eklenir ya da çıkarılır. Örneğin, bir voltmetre sıfırlama ayarı yapılmadan kullanıldığında 0.1 volt gösteriyorsa, aynı voltmetre ile yapılacak tüm ölçümlerde bu 0.1 volt fazlalık dikkate alınmalıdır. Eğer 0.1 volt değeri tüm ölçüm sonuçlarından çıkarılırsa, doğru ölçüm değeri elde edilir. Bir deney yürütülürken, sistematik hataların olası tüm kaynaklarının düşünülmesi ve bu hata kaynaklarının ölçüm cihazlarının kurulumu ve kalibrasyonu sırasında ortadan kaldırılması için gerekli önlemlerin alınması önemlidir.

3.1.2. Rastgele Hatalar

Bu hatalar, deneysel çalışmalarda, bilinmeyen ve öngörülemeyen değişimlerden kaynaklanmaktadır. Rastgele hatalar, genellikle çok küçüktür ve pozitif veya negatif etki olma şansları eşittir. Bu rastgele hatalar, mekanizmalarının çeşitliliği nedeniyle ortaya çıkarlar ve deney sonuçlarına etkileri tamamen (sistematik hatalar örneğinde verilen örnekte olduğu gibi) kaldırılamayabilir. Bu hatalar, rastgele oldukları için istatistiksel analiz gerektirmektedir. Rastgele hataları belirlemenin en iyi yolu, yapılan ölçümü aynı şartlarda birden fazla tekrarlamaktır. Bununla birlikte, her zaman ölçümlerin aynı şartlarda tekrar edilmesi mümkün olmadığı için, ölçüm cihazının hatasının bu cihaz kullanılarak alınacak en küçük ölçüm değerine eşit olduğu kabul edilerek rastgele hata ölçüm sonucuna eklenebilir.

Konum Ölçümlerinde Rastgele Hatalar

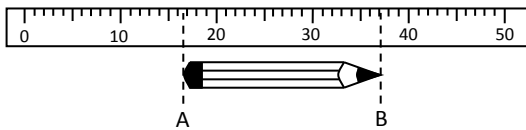


Şekil-1: Bir cetvel kullanarak "A" noktasının konumunun ölçülmesi.

Cetvel kullanarak bir ölçüm yaptığımızı varsayalım. Cetvel kullanımındaki hata cetvel ölçeği üzerindeki en küçük aralık değerine eşittir. Buna örnek olarak, **Şekil-1**'de bir "A" noktasının cetvel üzerindeki konumunun ölçümü gösterilmiştir. Kullanılan cetvel, "mm" uzunluğundaki bölümlere ayrılmış ölçeğe sahiptir ve ölçüm sonucu 3.7 cm olarak bulunmuştur. Fakat, bu okuma aslında 3.7 and 3.8 cm arasında herhangi bir değer olabilir. Kullanılan cetveli ile yapılan her konum ölçümünde standart olan ölçülebilecek en küçük değer 1 mm olması nedeniyle bu ölçüm sonucu $3.7 \pm 0.1 \text{ cm}$ olarak yazılmalıdır. Böylece, milimetre aralıklara bölünmüş bir cetvelin santimetre aralıklara sahip bir cetvelden daha güvenilir sonuçlar vereceğini söyleyebiliriz.

Uzunluk Ölçümlerinde Rastgele Hatalar

Bu rastgele hatalar, bir boyutta iki nokta arasındaki mesafenin ölçümündeki hatalardır.



Şekil-2: Cetvel kullanarak bir kalemin boyunun ölçülmesi.

Bu ölçüme örnek olarak, Şekil-2'de gösterildiği gibi bir kalemin cetvelle uzunluğunu ölçtüğümüzü düşünelim. Aslında, konum ölçümüne benzer şekilde, kalemin uzunluğunun ölçülmesi, kalemin A ve B olarak isimlendirilen iki uç noktasının arasındaki mesafenin belirlenmesidir.

Bu nedenle, bu iki noktanın aynı referans noktasına göre konumları ölçülmelidir. Daha öncede belirtildiği gibi, her konum ölçümü 1 mm hata ile yapılmaktadır. Bu durumda, iki konum ölçümünden toplam 2 mm ölçüm hatası gelmektedir. **Şekil-2**'de görüleceği üzere, A noktasının cetvelin 0 noktasına göre konumu 17 cm ve B noktasının konumu 37 cm olarak ölçülmüştür. Bunun üzerine, ölçüm sonucu;

$$L \pm \Delta L = (37 - 17) \pm 0.2 \text{ cm} = 20 \pm 0.2 \text{ cm}.$$

olarak yazılır. Bu gibi rastgele hataların etkisi, deneysel yöntemlerin iyileştirilmesi ve ölçümün birçok kez tekrarlanması ve ortalamasının alınması ile azaltılabilir.

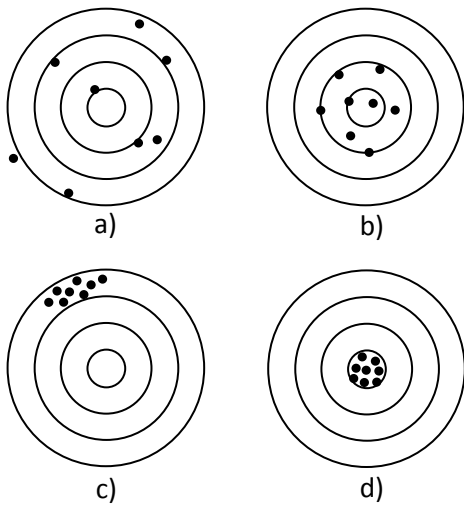
- ☒ Ölçüm cihazlarının ölçekleri (skalaları) tam bir kesinlikte değildir.
- ☒ Ölçek üzerinden kesin doğrulukta bir okuma yapmak mümkün değildir.
- ☒ Herhangi bir niceliğin kesin ölçümü imkansızdır.
- ☒ Hiçbir deney kesin doğru sonucu vermez.

3.2. Doğruluk ve Kesinlik

Deneysel hatalar ölçüm ile doğru değerin, veya ölçülen iki değerin arasındaki farktır. Bu hataların etkisi altında, ölçülen değerlerin güvenilirlikleri bu deneysel sonuçların **doğruluğu** ve **kesinliği** ile analiz edilir. Doğruluk ve kesinlik, ölçümlerden veri alırken dikkate alınması gereken iki önemli faktördür. Bir deneyin doğruluğu, deneysel sonucun *gerçek (veya kabul edilen)* değere ne kadar yakın olduğunun ölçüsüdür. Ölçüm doğruluğu sonucun uygunluğu ile ilgilidir. Sistemik hataların kaynağı ölçümün ne kadar doğru olduğunu belirler. Bir deneyin kesinliği, sonucunun ne kadar tekrarlanabilir olduğunun bir ölçüsüdür. Yani, ölçüm kesinliği, rastgele hataların neden olduğu deneysel sonuçtaki belirsizliğin büyüklüğünün bir ölçüsüdür. Bu sonucun tekrarlanabilir olmasının bir ölçüsüdür ve böylece, bu genellikle rastgele hataların kaynakları ile sınırlıdır.

Doğruluk ve kesinlik bir ölçümün gerçek değere ne kadar yakın olduğunu göstermektedir. Doğruluk ölçümün bilinen veya kabul edilen değere ne kadar yakın olduğunu yansıtırken kesinlik, sonuç kabul edilen değerden uzakta olsa bile, ölçümün ne kadar tekrarlanabilir olduğunu gösterir.

Bu tanımları netleştirmek için, **Şekil-3**'de verilen, bir merminin atılması ve bir hedefe çarpması durumunu örnek olarak düşünelim.



Şekil-3: Doğruluk ve kesinlik arasındaki fark.

Şekil-3'de; (a) kısmı merminin hedefe isabetinde ne kesinlik ne de doğruluk olmadığını gösteren bir örnektir. Merminin atılmasındaki amacın hedefi tam ortasından vurmak olduğu düşünüldüğünde, atışların en içteki çemberin merkezi içinde değildirler ve hatta aralarındaki farklar çok büyüktür. (b) kısmı ise isabetlerin doğru olduğu fakat kesinlik içermediği bir örneği göstermektedir. (a) kısmındaki sonuçlar ile karşılaştırıldığında, mermiler hedefin merkezine yakın olsalar da birbirlerine yakın değildirler. Bu durumun tersi olarak (c) kısmında verilen örnekte isabetlerde kesinlik vardır fakat isabetler düşük doğruluktadır. Şekli-3'de (c) kısmında görüldüğü gibi, mermiler atış sonuçlarının aynı olduğu anlamına gelecek bir grup içerisinde; mermilerin isabet ettiği noktalar arasındaki fark da azdır.

Bununla birlikte, bu mermiler hedefin merkezinin yakınında değildirler. Son olarak, (d) kısmı hem doğru hem de kesinlik olan bir sonucu örneklemektedir. Bu, her denemenin doğru (kabul edilen) sonuçta olduğunu, yani mermilerin hedefin ortasına yakın yerlere isabet ettiğini ve hatta benzer sonuçlar verdiğini, yani mermiler arasındaki farkın küçük olduğunu belirtmektedir.

Bir deneyin doğruluğu, genellikle sistematik ve rastgele hatalara bağlıdır. Deneyde kesinlik ise genel anlamda rastgele hatalara bağlıdır.

4. Anlamlı Sayılar

Belli bir nicelik ölçüldüğü zaman, ölçülen değerler yalnızca deneysel belirsizlik sınırları içerisinde bilinmektedir. Ölçümdeki anlamlı sayı basamakları belirsiz hakkında bir şeyler ifade etmek için kullanılabilir. Anlamlı sayıların basamak sayısı ölçümü ifade etmek için kullanılan sayısal değerlerin basamak sayısı ile ilişkilidir.

Bir ölçümün anlaşılır ve açık olma derecesi sonucunun kaydedilmesi veya yazılması yolu ile ima edilir. Kalibre edilmiş bir ölçek üzerinden deneysel bir ölçüm değeri okunurken, sadece belirli bir basamak sayısı elde edilebilir ya da okunabilir. Anlamlı sayılar akla en uygun güvenilir olarak bilinen sayılardır; bu sayılar aslında ölçüm cihazlarından elde edilebilecek sıfırları ve tahminleri de içeren gerçek sonuçlardır. Ondalık noktasının nerede bulunduğu anlamlı rakamların sayısını etkilemez; eğer sıfır ondalık noktasının solunda ondalık basamağı göstermek için kullanılırsa, anlamlı değildir, fakat eğer cihaz üzerinden okunan ya da tahmin edilen bir değeri temsil ediyorsa, anlamlıdır.

Ölçüm sonucu olarak sadece en son basamak için tahmin yaparak, ölçek üzerinden okunan sayıyı yazın. Kesinlikle ekstra rakamlar yazmayın. Tahmin edilerek okuması yapılan en son basamak ile beraber yazılan bu sayıyı anlamlı sayı denir.

Bir ölçümde anlamlı sayılar aşağıda verilen gibi belirlenmektedir:

- ☒ En soldaki sıfırdan farklı olan sayı en anlamlı olandır.
- ☒ Eğer ondalık nokta yoksa, en sağdaki sıfırdan farklı sayı en az anlamlı olandır.
- ☒ Eğer ondalık nokta varsa, en sağdaki sayı, sıfır olsa bile, en az anlamlı olandır.
- ☒ En az ve en çok anlamlı sayılar arasındaki sayılar anlamlı olarak kabul edilmektedir.

Kullanılan sıfırların anlamlı olup olmadığına dikkat edin!

Örneğin, aşağıda listelenen sayıların tamamı dört anlamlı sayı içermektedir. Her bir sayı için açıklamalar da verilmiştir.

- ✓ 6739: Tüm sıfırdan farklı rakamlar anlamlıdır.
- ✓ 456900: Ondalık bölüm olmaması nedeniyle sayı sonunda bulunan son iki sıfır anlamlı değildir.
- ✓ 0.008589: Solda yazılan sıfır kesinlikle anlamlı değildir.
- ✓ 0.01000: Soldaki sıfırlar anlamlı değildir, fakat ondalık kısımda olmaları nedeniyle sağdaki üç sıfır anlamlıdır.
- ✓ 10.60: Ondalık nokta olduğu için, tüm dört rakam anlamlıdır.
- ✓ 1.057: Yine, ondalık kullanım nedeniyle dört rakam da anlamlıdır.

4.1. Bilimsel Gösterim

Fizik çok büyük ve çok küçük sayılarla ilgilenmektedir. Bilimsel gösterim, geleneksel yazım yerine bu sayıların daha uygun bir şekilde ifade edilme yöntemidir. Bilimsel gösterim ayrıca anlamlı rakamların sayısının açık bir biçimde ifade edilmesini sağlar. Bu gösterimde üs ifadesi bir sayının 1 ile 10 arasındaki bir sayı olarak yazılması için ondalık noktanın ne kadar hareket ettirildiğini gösteren bir yazım şeklidir.

Bir ölçüm sonucunu iki parça halinde yazın; ilk kısım ondalık noktası önündeki sıfırdan farklı rakam da dahil tüm anlamlı rakamları içermelidir, ve ikinci kısım 10 katsayısından oluşmalıdır.

Bu gösterimin kullanımı ile ilgili örnekler aşağıda verilmiştir.

- ✓ $255 \text{ mm} = 2.55 \times 10^2 \text{ mm}$
- ✓ $11.1 \text{ cm} = 1.11 \times 10^1 \text{ cm}$
- ✓ $0.0125 \text{ km} = 1.25 \times 10^{-2} \text{ km}$
- ✓ $360 \text{ g} = 3.60 \times 10^2 \text{ g}$

4.2. Anlamlı Sayılarla Hesaplamalar

Anlamlı sayılar ile yapılan işlemlerde genellikle sonuç olarak ekstra rakamlar ortaya çıkmaktadır. Bu hesaplamaların ölçülen değerler ile tutarlı olması önemlidir. En az anlamlı olarak yazılmış sayı, ölçümlerde doğruluk derecesini ayarlamak için kullanılır. Bu, hesaplama sonucunda sadece bir tahmini rakam olması gerektiği anlamına gelmektedir.

4.2.1. Sayıların Yuvarlanması

Hesaplamalarda kullanılmadan önce ölçümlerin sonucu istenen anlamlı sayı basamağına yuvarlanabilir. Sayıların yuvarlamasında izlenen kurallar şunlardır:

- ☒ Eğer son rakam 5'ten küçük (0, 1, 2, 3 veya 4) ise, diğer rakamlar değiştirilmeden bu basamak kaldırılabilir.
- ☒ Eğer son rakam 5'e eşit veya 5'ten büyük (5, 6, 7, 8 or 9) ise, bu rakam kaldırılabilir ve sayısal değer 1 artırılır.

Örnek olarak,

- ✓ 2.431, en yakın yüzde birler basamağına 2.43 olarak yuvarlanabilir.
- ✓ 2.431 en yakın onda birler basamağına 2.4 olarak yuvarlanabilir.
- ✓ 2.431 en yakın tam sayı değerine 2 olarak yuvarlanabilir.
- ✓ 6.587 en yakın yüzde birler basamağına 6.59 olarak yuvarlanabilir.
- ✓ 6.587 en yakın onda birler basamağına 6.6 olarak yuvarlanabilir.
- ✓ 6.587 en yakın tam sayı değerine 7 olarak yuvarlanabilir.

4.2.2. Çarpma ve Bölme

Sayısal sonuçların çarpma veya bölme işlemlerinde, işlem sonucu işlem içerisinde kullanılan en az anlamlı sayıya yuvarlanmalıdır. Örnek olarak;

$$\begin{array}{r}
 3.519 \\
 \times 2.3 \text{ (en az anlamlı)} \\
 \hline
 10557 \\
 + 7038 \\
 \hline
 8.0937 \text{ } (\approx 8.1)
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{r}
 3.5 \text{ (yuvarlanmış)} \\
 \times 2.3 \\
 \hline
 105 \\
 + 70 \\
 \hline
 8.05 \text{ } (\approx 8.1)
 \end{array}$$

Yukarıdaki örnekte görüleceği gibi, işlem içerisinde kullanılan en az anlamlı sayı 2 basamaklı olduğu için işlem sonucu 2 anlamlı rakam içerecek şekilde yuvarlanmıştır. Aynı sonuç, çarpma işlemi öncesinde tüm sayıların en az anlamlı olanın sayının basamak sayısına yuvarlanması ile de elde edilebilir.

$$\frac{102.35}{15.72} \Rightarrow \begin{array}{r|l}
 10235 & 1572 \\
 \hline
 -9432 & 6.5108 \text{ } (\approx 6.511) \\
 \hline
 8030 & \\
 -7860 & \\
 \hline
 1700 & \\
 -1572 & \\
 \hline
 12800 & \\
 -12576 & \\
 \hline
 224 &
 \end{array}$$

Bu örnekte, iki ölçüm değerinin birbirine bölümü gösterilmiştir. Çarpma işleminde olduğu gibi, elde edilen sonuç, işlem içerisindeki en az anlamlı sayının basamak sayısına eşit olacak şekilde yazılmalıdır. Bu nedenle, bölme işleminin sonucu, 4 rakamlı bir anlamlı sayı olarak ifade edilmiştir.

Çarpma veya bölme işlemlerinde, işlem sonucundaki çok basamaklı sayının ifadesinde işlemde kullanılan en az anlamlı sayıdaki rakam sayısı kadar rakamı gösterin.

4.2.3. Toplama ve Çıkarma

Sayısal değerlerin toplanmasında veya çıkarılmasında, sonuç, işlem içerisindeki en az doğru olan ölçümün ondalık basamağından fazla ondalık basamak içeremez. Bu, sonucun ondalık noktadan sonraki basamak sayısının işlemde kullanılan her bir sayının ondalık basamağından az ya da ondalık basamağına eşit olacak şekilde yazılması anlamına gelmektedir.

Örneğin;

$$\begin{array}{r}
 0.073 \\
 13.7 \\
 + 156 \\
 \hline
 169.773 \text{ } (\approx 170)
 \end{array}$$

Yukarıda verilen işlem sonunda elde edilen sonuç, toplama işleminden önce tüm sayıların en az doğru olan sayıya yuvarlanması ile de bulunabilir.

Sayısal ölçüm sonuçları toplanırken veya çıkarılırken, işlem içerisindeki şüpheli ilk rakamdan sonrasını (soldan sağa doğru) sonuca taşımayın.

5. Hesaplanan Sonuçlarda Hatalar

Gerçek ölçümlerde, elde edilen fiziksel nicelik ölçümün hataları ile birlikte yazılmalıdır. Ölçüm sonuçları hesaplamalarda kullanılsa bile, her ölçümdeki ölçüm hatalarından gelen belirsizlikler ölçüm sonucuna kadar taşınmalıdır.

Hataların hesaplamalarda kullanımı üzerinde çalışmak için, $x \pm \Delta x$ ve $y \pm \Delta y$ gibi iki ölçüm sonucu olduğunu varsayalım.

5.1. Toplama ve Çıkarma

Bu hesaplamalarda elde edilen sonuç R , içerisindeki olası en yüksek hata ΔR , işlem yapılan ölçüm sonuçlarından gelen hataların toplamıdır.

Toplama için:

$$R \pm \Delta R = (x \pm \Delta x) + (y \pm \Delta y) = (x + y) \pm (\Delta x + \Delta y)$$

Çıkarma için:

$$R \pm \Delta R = (x \pm \Delta x) - (y \pm \Delta y) = (x - y) \pm (\Delta x + \Delta y)$$

Denklemleri kullanılır.

Ölçülen niceliklerin toplanması veya çıkarılması sırasında, sonucun olası en yüksek hatası hesaplamada kullanılan niceliklerin hatalarının toplamına eşittir.

5.2. Çarpma ve Bölme

İki ölçüm değeri üzerine yapılan çarpma ve bölme işlemleri, daha önce anlatılan toplama ve çıkarma işlemine göre biraz daha karmaşıktır. Bu işlemler aşağıdaki gibi gerçekleştirilir.

Çarpma için:

$$R \pm \Delta R = (x \pm \Delta x) \cdot (y \pm \Delta y) = x \cdot y \pm x \cdot y \left(\frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y} \right)$$

denklemleri kullanılır. Bu denklemde, birinci terim gerçek ölçümlerin çarpımıdır ve ikinci terim ise bu sonuca karşılık gelen hatadır.

Bölme için:

$$R \pm \Delta R = \frac{(x \pm \Delta x)}{(y \pm \Delta y)} = \frac{x}{y} \pm \frac{x}{y} \left(\frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y} \right)$$

denklemleri kullanılır. Bu durumda ise, birinci terim gerçek ölçümlerin birbirine bölümüdür ve ikinci terim bu sonuca karşılık gelen hatadır.

6. Ölçmede Hataların İfadesi (İstatistiksel Bakış)

6.1. Ortalama Değer

Hata türlerinin anlatıldığı kısımda belirtildiği gibi, rastgele hatalar ölçümlerin birkaç kez tekrarlanması ile en aza indirilebilir. Yapılan tüm deneylerde, benzer sonuçlar elde edilmesi beklenmektedir. Bu ölçüm seti için, gerçek sonuç en büyük olasılıkla ortalama değer ile elde edilir. n adet ölçümden oluşan bir set için, ortalama değer aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

6.2. Ortalama Değerin Sapması

Rastgele hatalar nedeniyle bir seri ölçümün sonuçlarının ortalaması alındığında, her ölçüm sonucu ile ortalama değer arasında bir fark oluşacaktır.

Herhangi bir ölçüm sonucu, x_i , için bu sapma, d_i ;

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

olarak yazılır. Sonuçların ortalama değerleri kullanıldığında, en iyi tahmin edilen hata, ortalama değerin sapması (A.D.) olarak tanımlanır;

$$A.D. = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n}{n}$$

6.3. Standart Sapma

Ölçümlerin kesinlik değerleri, ölçümlerden elde edilen sonuçların ortalama değerinden standart sapma olarak adlandırılan bir niceliğin hesaplanması ile belirlenebilir. Standart sapma, her bir ölçüm sonucunun ortalama değerden farkının kare ortalamasını temsil eder. Bu değer;

$$\sigma = \sqrt{\frac{d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + \dots + d_n^2}{n}}$$

şeklinde tanımlanır.

6.4. Mutlak, Fraksiyonlu ve Yüzdelik Hatalar

Ölçülen nicelikteki hata, mutlak hata, fraksiyonlu (göreceli) hata veya yüzdelik hata olarak ifade edilebilir. Mutlak hata, gerçek ve deneysel değer arasındaki büyüklük farkı olarak tanımlanır ve ölçülen nicelikte aynı birime sahiptir. Örneğin, ölçeği milimetre olarak bölümlendirilmiş bir cetvel kullanılarak yapılan mesafe ölçümünün sonucu $25.5 \pm 0.2 \text{ cm}$ gibi yazılabilir. Bu deneysel veride mutlak hata $\pm 0.2 \text{ cm}$ 'dir. Fraksiyonlu hata ise mutlak değerin gerçek değere oranıdır ve herhangi bir birimi yoktur. Fraksiyonlu hata;

$$\text{Fraksiyonlu Hata} = \frac{\text{Mutlak Hata}}{\text{Gerçek Değer}}$$

şeklinde ifade edilebilir.

Bir ölçümün hatası yaygın olarak fraksiyonlu hatanın 100 ile çarpılması sonucu elde edilen yüzdelik hata olarak verilir.

$$\text{Yüzdelik Hata} = \text{Fraksiyonlu Hata} \times 100\%$$

Hata kısmının ondalık basamak sayısı ile ölçümde elde edilen gerçek değerin ondalık kısmı aynı olmalıdır.

Örneğin,

- 25 ± 1 (doğru)
- 13.25 ± 0.05 (doğru)
- 25.2 ± 0.12 (yanlış)
- 12.5 ± 0.5 (doğru)

7. Grafikler

Grafik, çeşitli nicelikler, parametreler ya da ölçülebilir değişkenler arasındaki ilişkiyi açık bir şekilde gösterebilmenin bir yoludur. Basitçe, grafik, bir niceliğin kendisine bağlı (ama yine de ölçüm içinde değişen) bir diğer nicelikte nasıl değiştiğini tanımlayan sayısal ilişkinin görsel halidir. Genellikle temel fizik deneylerinde, birbiri ile ilişkili iki değişken fiziksel nicelik arasındaki ilişkiyi temsil etmek için iki-boyutlu grafik gösterimi yeterlidir. Bu tip grafiklerde, yatay eksen (*x-ekseni veya apsisi*) bağımsız değişken için kullanılır ve dikey eksen (*y-ekseni veya ordinat*) ise bağımlı değişken için kullanılır. Buna örnek olarak, bir serbest düşme deneyinde, ölçümün serbest düşme yapan bir topun hareketine başladığı yerin yerden yüksekliğini h belirlemek için yapıldığını düşünelim. Bu durumda, zamana bağlı ölçümler yapıldığı için, sonuçta bulunan nicelik (bağımlı değişken) h bağımsız değişken zaman t üzerinden incelenecektir. Ayrıca, tüm grafik çizimi işlemlerinde, en önemli noktalardan biri de, ölçümden elde edilen veri noktalarının konumlarını orijin olarak isimlendirilen referans noktasına göre tanımlamaktır. Bu, iki-boyutlu grafik üzerindeki herhangi bir veri noktasının **x** ve **y** eksenlerindeki kordinatının (0,0) orijin noktasına göre (**x,y**) olarak sembolize edilmesidir.

Grafik kullanımının amacının tek bir resim içinde bir çok bilgiyi özetlemek olması nedeniyle, çizilen bir grafik kendi kendini açıklayıcı olmalıdır. Deneysel çalışmalarda beklenen grafiklerde izlenmesi gerekenler aşağıdaki listelenmiştir:

- Grafiğin **başlığını** yazın,
- **x** ve **y** eksen **etiketlerini** açıkça gösterin,
- Eksenler üzerinde **birimleri** belirtin,
- Eksenleri uygun şekilde **ölçeklendirin**,
- **Veri noktalarını** açıkça tanımlayın,
- **Hata** çubuklarını gösterin,
- **En iyi** ve **en kötü** çizgileri çizin,
- **Eğimin denklemini** ve **y-ekseni ile kesişim noktasını** gösterin.

Grafiğin Başlığı

Her grafiğin bir başlığı olmalıdır. Başlık grafiği çizilen değişkenler ile ilgili seçilmelidir. Grafiğe bakan bir kişi, grafik başlığından neyin çizildiğini kolayca anlamalıdır. Grafiklerde başlık genellikle, örneğin, “Zamana (t) karşı Konum (x)” veya “Akıma (I) karşı Gerilim (V)” olarak yazılmaktadır.

Eksen İsimleri ve Birimleri

x ve **y** eksenleri deneysel verilere göre isimlendirilmelidir (etiketlenmelidir). Eksenler üzerindeki bu etiketler ilgili değişkenin birimini de içermelidir. Buna örnek olarak bağımsız değişken için kullanılan **x**-ekseni için “Zaman (saniye)” ve bağımlı değişken için kullanılan **y**-ekseni için “Konum (metre)” etiketlemeleri yapılabilir.

Eksenin Ölçeklendirilmesi

İlk olarak, deneyde alınan veri sayılarına, grafiğin nasıl bir büyüklükte olacağını belirlemek için dikkat edilmelidir.

Ölçeklendirme, veri noktalarının grafik kağıdı üzerine mümkün olduğunca geniş olarak dağıtılmasına uygun olacak şekilde seçilmelidir. Bağımsız değişken **x**-ekseni, bağımlı

değişken ise **y**-ekseni üzerinde yer almalıdır. Kullanılacak veri değerleri eksen ölçeklendirilmesi sırasında ayrı ayrı değerlendirilmelidir. Bu nedenle, ölçeklendirme her eksen için farklı olabilir ve sıfır noktasından başlamaları da gerekmez. Her eksen kendi içinde eşit parçaya bölünmüş olmalıdır. Eksenlerin başlangıç ve bitiş noktaları, hata kısmının en küçük gerçek değerden çıkarılması ve en büyük değere eklenmesi ile belirlenmelidir. Bu yöntem, her bir değişken için uygulanmalıdır ve bu yüzden eksenlerin orijinden başlama noktaları değişebilir.

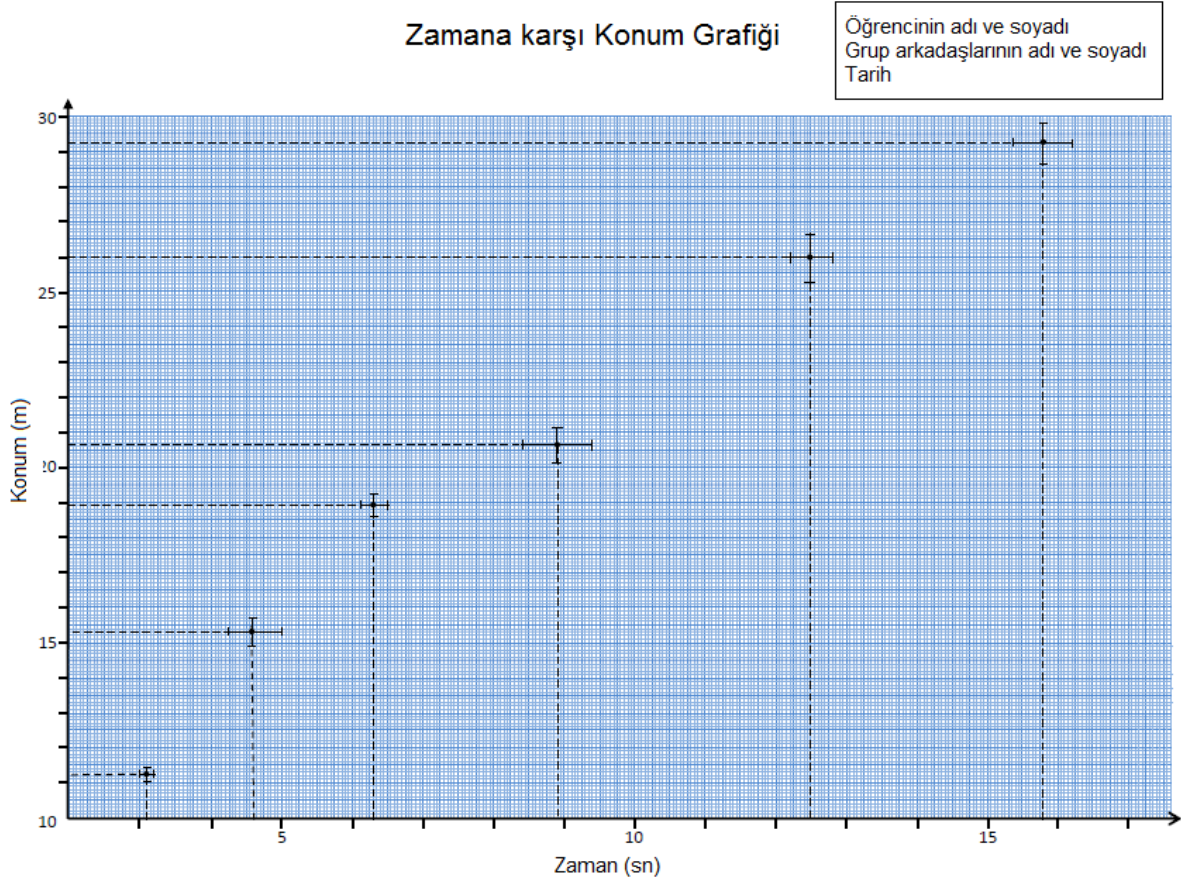
Veri Noktalarının Belirlenmesi

Veri tablosundaki her satır bir veri noktasını gösterir. Eğer bağımsız ve onlara karşılık bağımlı değişken için 5 veri değeri varsa, o zaman bu beş veri noktası da grafik üzerinde tespit edilmelidir.

Hata Çubukları

Hata çubukları, her veri noktasındaki belirsizliği temsil etmektedir. Grafikte, veri noktaları üzerine hata çubuklarını çizerken, her eksenindeki ölçeklendirme göz önünde bulundurulmalıdır ve hata çubuklarının hesaplamaları ölçeklendirme için yapılan hesaplamalara benzer yapılmalıdır.

Bu basamağa kadar, çizilen grafik aşağıda verilen **Şekil-4**'deki gibi olmalıdır.



Şekil-4: Konum-zaman grafiği.

7.1. Doğrusal Bağlılıkların Grafik Analizi

Arasında doğrusal bağıntı olan iki değişken x ve y ;

$$y = mx + b$$

gibi bir cebirsel denkleme sahiptir. Bu denklemden, m ve b sabit sayılardır. Çizilecek x 'e karşı y grafiği eğimi m olan bir doğru verecektir ve genellikle doğrunun eğiminden bulunacak bu m değeri ölçümlerde fiziksel bir niceliğe karşılık gelmektedir. x ve y eksenleri kullanılarak grafiği çizildiğinde bir doğru davranışına sahip bir veri noktası setinde, (x_1, y_1) ve (x_2, y_2) olarak iki veri noktasını elimize alalım.

Bu iki veri noktası arasındaki x ve y eksenleri üzerindeki değişimler, $\Delta x = x_2 - x_1$ ve $\Delta y = y_2 - y_1$, olacaktır. Buradan yola çıkarak, grafikte elde edilen doğrunun eğimi (m),

$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

şeklinde ifade edilebilir.

Eğim hesaplamalarında, sadece doğru üzerindeki bir veri noktası seçilemez. Doğru üzerindeki rastgele olarak seçilecek herhangi iki veri noktası eğimi hesaplamak için yeterli olacaktır. Ölçülen değerlerin deney hatasına sahip olması nedeniyle, veri noktaları üzerinden **en iyi** eğim **m** değerini bulmak için grafikte veri noktalarını kullanarak çizilebilecek **en iyi düz çizginin** bulunması gerekmektedir.

En iyi düz çizgi, veri noktalarını en iyi temsil edecek şekilde çizilen doğrudur. Bu doğru, tüm veri noktalarından geçebileceği gibi, bazılarının üzerinden ya da hiçbirinden geçmeyebilir. En önemli nokta, çizilen doğrunun her iki tarafında da eşit sayıda veri noktasının bulunmasıdır.

Çizilecek en iyi düz çizgi, mümkün olduğu kadar çok hata çubuğu içinden geçmelidir.

Eğim m içerisindeki hatanın hesaplanması için, ver noktaları üzerinden geçecek **en kötü** çizginin de çizilmesi gerekmektedir. Bu doğru, en iyi çizgiden mümkün olan en yüksek sapmayı verecek şekilde belirlenmelidir. Çizilecek bu doğru, ilk ve son veri noktasının hata çubuklarının içinden geçmelidir ve kesinlikle en iyi çizgiyi kesmelidir.

En iyi doğru ile en kötü doğru birbirine paralel olmamalıdır.

Yukarıda verilen bir doğrunun denklemindeki “ b ” sabitine *kesişim* denir ve bu değer çizilen doğrunun y -eksenini kestiği noktayı verir. Basit bir şekilde, $x = 0$ olduğu zaman, $y = b$ ’dir. Aslında doğrusal bağıntıların grafik analizinde amaç grafik üzerinden eğimin $m \pm \Delta m$ ve kesişimin $b \pm \Delta b$ olarak belirlenmesidir. Burada, Δm ve Δb , sırasıyla eğim m ve kesişim “ b ” içerisindeki olası en yüksek hatadır.

Bu hatalar grafikte *olası en kötü düz çizgi* çizilerek kolayca belirlenebilir. Olası en kötü çizginin analizi *olası en kötü eğim m'* ve *olası en kötü kesişim b'* değerlerini elde etmek içinde aynı şekilde yapılır ve daha sonra olası hatalar Δm ve Δb :

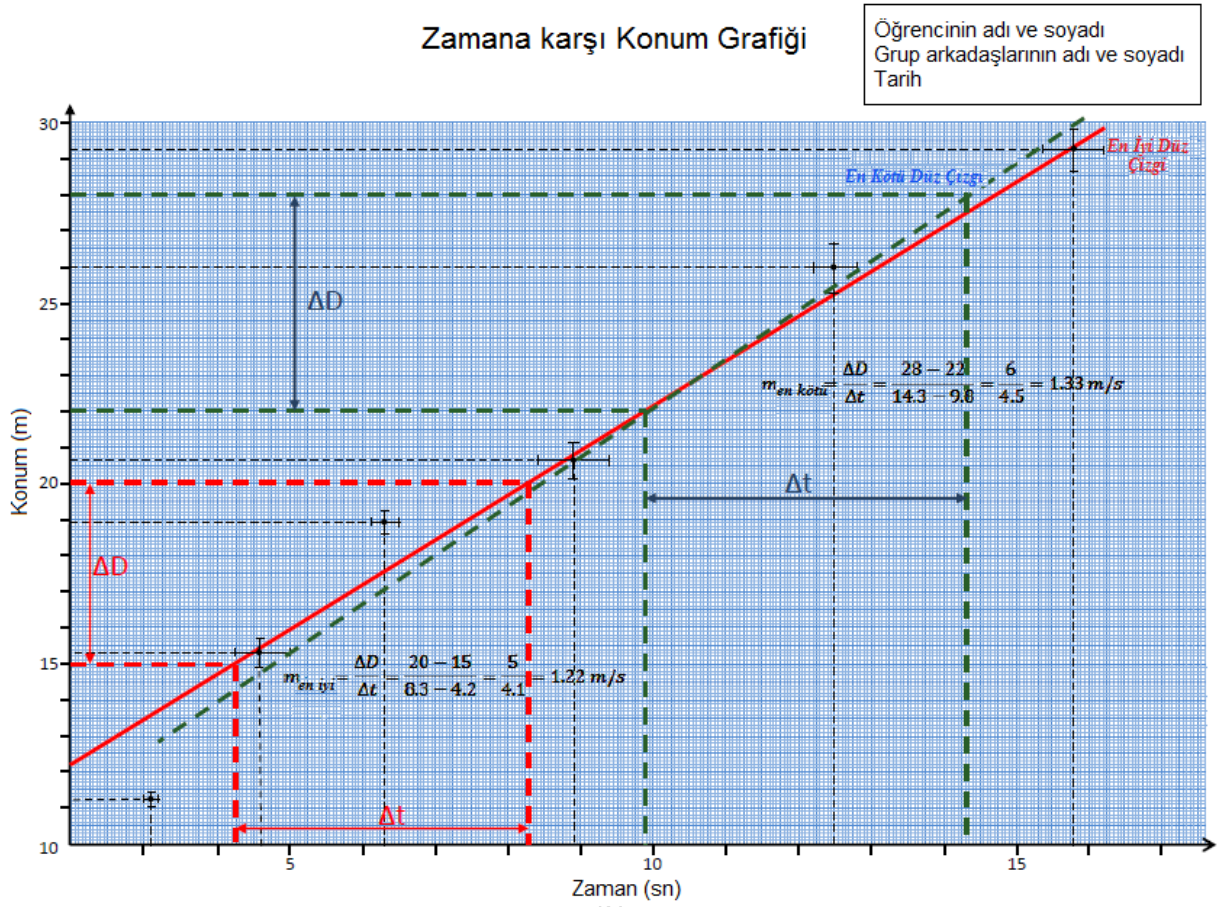
$$\Delta m = |m - m'|$$

ve

$$\Delta b = |b - b'|$$

gibi bulunur.

En iyi ve **en kötü** düz çizgilerin çizilmesinden sonra, grafikteki bu en iyi ve en kötü doğruların eğimlerinin hesaplanma adımları aşağıda **Şekil-5**’de verilen örnek grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil-5: Grafik üzerinden eğim hesaplamaları.

7.2. Doğrusal Olmayan Grafikler

$$y = k/x$$

Doğada, doğrusal bağıntıların analizinde belirtildiği gibi, deneylerde kurulan en basit ilişki doğrudan bağıntıdır. Fakat, diğer ilişkiler günlük yaşamda sıklıkla gerçekleşir.

7.2.1. Ters Orantı Grafiği

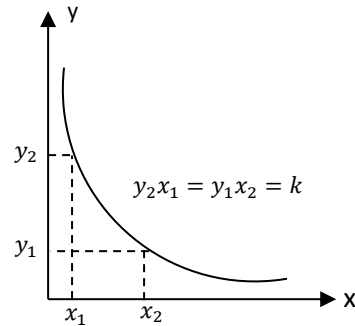
Bu grafik, x ile y 'nin ters orantılı olduğunu göstermektedir.

Bu ters orantı:

$$yx = k$$

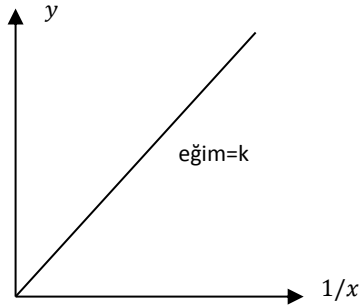
veya;

şeklinde yazılabilir. Burada k bir sabittir. Böyle bir ilişki, y değerlerine karşılık x değerleri grafiği çizildiğinde, Şekil-6'da gösterildiği gibi hiperbolik bir ilişki verir.



Şekil-6: x değişkenine göre y grafiği.

Bununla beraber, eğer x -koordinatındaki bağımsız değişken $1/x$ olarak seçilirse ve daha sonra $1/x$ 'e karşı y grafiği çizildiğinde, doğru orantı elde edilebilir (**Şekil-7**).



Şekil-7: $1/x$ değişkenine göre y grafiği.

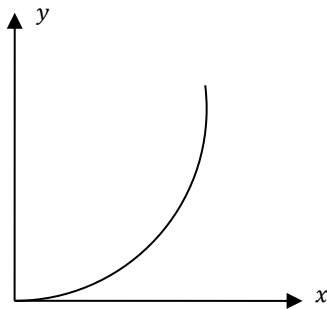
Böylece, deneysel veriler doğrusal bağıntıların grafik analizinde verilen şekilde incelenebilir.

7.2.2. Kare Kanunu Grafiği

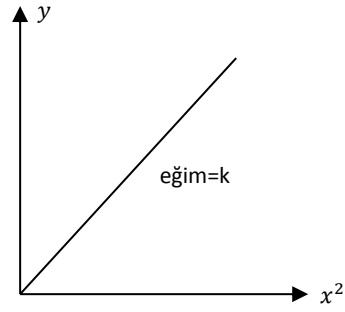
Herhangi iki değişken olan x ve y arasındaki kare bağıntı:

$$y = kx^2$$

olarak yazılabilir. Bu ilişkide, k yine bir oran sabitidir. Verilen bu ilişkide, y verileri x değişkenleri arasında doğrusal olmayan bir oran vardır. x 'e karşı y grafiği (**Şekil-8**) üzerinde çalışmak yerine, x^2 değişkenine karşı y grafiğini kullanmak daha uygun olur. Bu grafiksel gösterim **Şekil-9**'da gösterildiği gibi eğimi k olan bir doğru verir ve bu doğru orijin noktasından geçecektir.



Şekil-8: x değişkenine göre y grafiği.



Şekil-9: x^2 değişkenine göre y grafiği.

7.2.3. Ters Kare Kanunu Grafiği

Ters kare kanunu,

$$y = k/x^2$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu denklemde, k yine bir oran sabitidir. Verilen bu ilişkide, y değişkeni x ile doğrusal olmayan şekilde, $1/x^2$ ile ise doğrusal olarak bağlıdır. Bu yüzden, eğer x -ekseni $1/x^2$ olarak seçilirse, çizilecek grafik eğimi k olan bir doğru verecektir.

7.2.4. Üstel İlişki

Eğer x ve y 'nin grafiği,

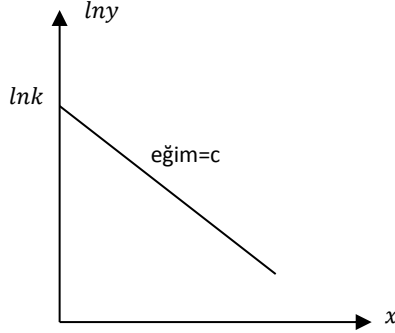
$$y = ke^{cx}$$

gibi bir denkleme sahipse (burada, c ve k sabittir; e ise doğal logaritma tabanıdır ve 2.718'e eşittir), bu denklemin her iki tarafının logaritması alınarak

$$\ln y = \ln k + cx$$

gibi doğrusal bağıntı veren bir denklem elde edilebilir.

Burada, $\ln y$ değerleri x 'in bir fonksiyonu olarak çizildiğinde, elde edilen doğrusal grafikten bulunacak c değeri eğim ve $\ln k$ değeri kesişim olacaktır (**Şekil-10**).



Şekil-10: x değişkenine göre $\ln y$ grafiği.

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.

2.718 tabanına göre doğal logaritma kullanmak yerine, 10 tabanına göre logaritma da doğrusal bir ilişki bulmak için kullanılabilir. Bu durumda, ilgili denklem,

$$\log y = \log k + cx$$

olarak yazılabilir. Eğer, x 'e karşı $\log y$ grafiği çizilirse, eğim c , ve kesişim noktası $\log k$ olacaktır.

7.2.5. Katsayı Kanunları

Genel denklem içinde iki değişken olarak x ve y

$$y = kx^c$$

gibi ilişkilidir. Burada, yine k ve c sabittir. Her iki tarafın logaritması alındığında, 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.

8. Deney Düzeneği



Şekil-11: Ölçüm aletleri için alüminyum koruma çantası.

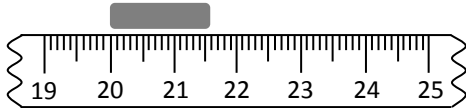


Şekil-12: Deney düzeneği.

8.1. Cetvel

Cetvel, uzunluk ölçümleri ve düz çizgi çizmek için kullanılan en yaygın ölçüm aletlerinden biridir. Deneysel gereksinimlere bağlı olarak, farklı boyut ve şekillerde çok sayıda cetvel vardır.

Bir cismin uzunluğunun ölçülmesi sırasında, ölçüm cetvel ölçeğindeki sıfır noktasından alınmayabilir, sıfır noktasından farklı bir başlangıç noktası da seçilebilir. Cetvel üzerinden okuma yapmak, Nesninin uç noktalarından biri ile cetvel ölçeği üzerinde okuma yapılan noktanın hizalanmasıdır ve buna rağmen tam olarak doğru bir hizalama yapmak imkansızdır. Cisim üzerindeki iki nokta arasındaki belirgin mesafe ve aslında bu noktaların cetvel üzerinde okunan değerleri, gözlem sırasında gözün pozisyonuna da bağlıdır. Cetvel üzerinde bölmelerin olduğunu unutmayınız ve bu bölmeler arasında *en küçük* mesafe bir milimetredir. Yani, cetvel üzerindeki milimetrik işaretler arasında okuma yaparken en iyi *tahmini* yapmak gerekir. Dik bir görüş çizgisinin sağından ya da solundan bakıldığında, cetvele yakın bir noktanın konumu farklı görünebilir, bu durum *paralaks* olarak isimlendirilmektedir. Buna örnek olarak, bir cismin cetvel yakınındaki pozisyonunu gösteren bir çizim verilmiştir.



Şekil-13: Bir cismin uzunluğunun ölçülmesi.

Şekil-13’de gösterildiği gibi cetvelin pozisyonunu kullanarak, nesnenin iki kenar noktasını tahmin edilebilir. Ölçümleri yaparken, cetvel üzerindeki milimetre çizgilerinin kalınlığına ve gözlemlerinizdeki paralaks etkisini göz önünde bulundurun. Bu nedenle, cetvel üzerindeki bir milimetrelilik en küçük bölme için hata tahmini sınırı bu bölme aralığına (1 mm) eşittir. Buna göre, cismin iki uç noktasının cetvelde karşılık gelen pozisyonları 20.0 ve 21.6 cm olarak yazılabilir.

Ölçümlerin sonuçlarının anlamlı sayı olarak ve ölçü birimine uygun şekilde yazılmasına dikkat edin. Bu iki uç nokta arasındaki bir fark olarak, cismin uzunluğu;

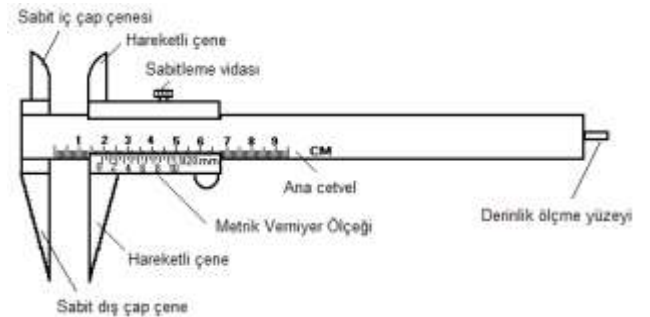
$$d = 1.6 \pm 0.1 \text{ cm or } d = 16 \pm 1 \text{ mm}$$

olarak kaydedilebilir. Burada, $\pm 1 \text{ mm}$ (veya $\pm 0.1 \text{ cm}$) yazılmasının önemi, bu deneyin birden fazla tekrar edilmesi durumunda okunan değer 15.0 mm, 16.0 mm veya 17.0 mm’den biri olabileceğini söylemesidir. Yapılan bir çok tekrar ölçümü için, okuması en sık yapılan değer 16.0 mm olacaktır.

8.2. Kumpas

(Vernier) kumpas, en küçük bölmenin kesir kısmını doğru olarak belirlemek için laboratuvarlarda ve sanayide yaygın kullanılan bir araçtır. Bir cetvelin aksine, vernier kumpas en küçük bölmenin kesir kısmının sadece tahminle değil, doğru olarak tespit edilmesini sağlar. Bu, daha hassas okumalar yapmak için aletlerin kullanılmasındaki standart bir yöntemdir. Bu ölçüm aleti, bir cismin uzunluğunu, üzerinde bulunan deliğin iç/dış çapını ve deliğin derinliğini belirlemede kullanılabilir.

Varniyerli kumpasın, şematik gösterimi Şekil-14’te verilmiştir. Bu şekilde görüldüğü gibi, bir vernier kumpasın temel parçaları, ana cetvel, vernier ölçeği ve sabit ve hareketli çenelerdir (Şekil-14).



Şekil-14: Vernier kumpas.

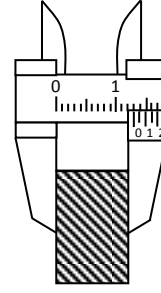
Vernier kumpaslar, metrik veya emperyal birimlerde ölçeklendirilmiştir. Ayrıca, en küçük okuma için saatli kumpas veya elektronik kumpas gibi başka okuma türlerine sahip çeşitli kumpaslar vardır. Kumpaslar, 100 mm'den 3000 mm ölçüm aralıkları ile çeşitli boyutlarda mevcuttur. Genellikle, 300 mm veya daha az bir ölçüm aralığına sahip kumpaslar küçük kumpas, daha büyük aralıklara sahip olanları ise büyük kumpas olarak sınıflandırılır. Bir vernier kumpas için tipik ölçüm çözünürlüğü 0.05 mm'dir. Bu ölçüm belirsizliği, kumpasın türüne bağlı olarak değişir; saatli kumpaslarda 0.02 mm ve elektronik kumpaslarda 0.01 mm'dir.

Kumpas Kullanımı

Vernier kumpas, gövedeye sabit olacak şekilde yerleştirilmiş ana cetvel ve hareketli çene üzerine yerleştirilmiş yardımcı cetvelden oluşmaktadır (Şekil-14). Hareketli çene, sabit cetvelin uzunluğu boyunca serbestçe kayacak şekilde yerleştirilmiştir. Ana cetvel üzerinde ölçeklendirme, en küçük bölme aralığı milimetre olan santimetrelilik aralıklar ile yapılmıştır. Hareketli yardımcı ölçekte, kumpas ana cetvel üzerindeki 9mm'lik kısım 10 eşit parçaya bölünmüştür. Bu nedenle, bu yardımcı cetvelin uzunluğu 9mm'dir. Vernier kumpas tamamen kapatıldığında ve düzgün olarak sıfırlandığında, ana cetvelde ilk işaret (sıfır) yardımcı cetveldeki ilk işaretle aynı hizada olmalıdır. Böylece, yardımcı cetvel üzerindeki son işaret ana cetvel üzerindeki 9 mm bölmesine denk olmalıdır.

Dış Kısımın Ölçümü

Bu tip ölçümler, kumpasların en temel kullanımıdır. Bu ölçümde, ilk olarak, ölçümü yapılacak cismi kapsayacak şekilde hareketli çene sabit çeneye göre yeterli mesafede açılmalıdır ve daha sonra hareketli çene sabit olana doğru cisimle temas edinceye kadar kaydırılmalıdır. Yani, **uzunluk** ölçümü yapmak için, cismi sabit ve hareketli çene arasına yerleştirin ve cisme hafifçe değecek ölçüde kapatın (Şekil-15).

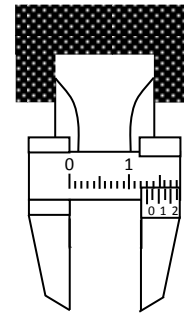


Şekil-15: Bir cismin uzunluğunun ölçülmesi.

Bununla beraber, ölçüm sonuçlarında yanlışlara neden olacak bazı ölçüm hataları olabilir. En etkili hata kaynağı, cismin özelliği (yumuşak veya sert olması) veya çeneler arasında cismi tutmak için uygulanan kuvvet gibi cismin çeneler ile temas etmesi durumunda ortaya çıkar. Bunlara ek olarak, eğer kumpas düz değilse (yani, cismin yüzeylerine tam olarak temas etmiyorsa) veya çeneler veya temas yüzeylerinde kirlilik varsa, ölçümler doğru olmayabilir.

İç Kısımın Ölçümü

Bir cismin iç çapını belirlemek için Şekil-16'da gösterildiği gibi kumpasın üstündeki küçük çeneler kullanılmaktadır. Bu ölçümde, ilk olarak, çeneler kapatılmalı ve ölçüm yapılacak yüzey içine yerleştirilmelidir. Daha sonra, sabit iç çap çenesini cismin iç yüzeylerinden birinde sabit tutarak, hareketli çene cismin içindeki diğer uç nokta ile temas edinceye kadar kaydırılmalıdır. Bu durumda sabitleme vidası sıkılarak doğru bir ölçüm yapılabilir (Şekil-16).

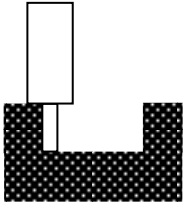


Şekil -16: Bir cismin iç çapının ölçülmesi.

Bu tip ölçümlerde, iç çap ölçümü alınırken cisimleri doğru şekilde kumpas ile hizalamak en yaygın problemdir.

Derinlik Ölçümü

Derinlik ölçümlerinde, derinlik ölçme yüzeyi kullanılmaktadır. Hareketli çene kaydırılırken, kumpasın bu parçası diğer uçtan dışarı uzanır. Bu ölçüm sırasında, ilk önce, **Şekil-17'**de gösterildiği gibi kumpasın bir ucu deliğin üst noktasına yerleştirilmelidir. Daha sonra, hareketli çeneyi kullanarak, kumpas derinlik ölçme yüzeyinin ucu deliğin alt noktası ile temas edinceye kadar hareketli çenenin deliğe doğru kaydırılması ile açılmalıdır. Bu durumda sabitleme vidası sıkıldıktan sonra ölçüm sonucu kumpas ölçekleri üzerinden okunabilir.



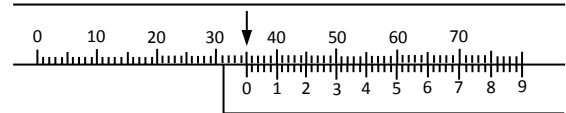
Şekil -17: Bir cismin derinliğinin ölçülmesi.

Kumpas ile bir deliğin derinliğinin ölçülmesi, diğer ölçümlere göre daha zordur. Kumpasın derinlik ölçme yüzeyi deliğin en alt noktası ile temas edinceye kadar hareket ettirileceği için, bazı durumlarda, bu temas noktasını tespit etmek ve aynı zamanda bu nokta ile doğru şekilde temas etmek zordur.

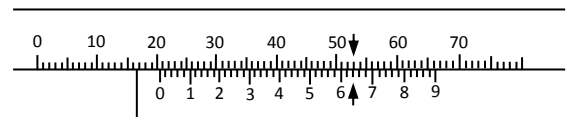
Kumpasta Değer Okuma

Kumpas üzerinde, ana (veya sabit) cetvel ölçeği ve vernier (hareketli) cetvel ölçeği olmak üzere iki ölçek vardır. Tipik metrik kumpaslarda, ana cetvel ölçeğinde sayılar santimetre cinsindendir ve bu yüzden bölmeler arası en küçük aralık bir milimetredir. Ayrıca, vernier cetvel ölçeği 0 dan 10'a 10 noktaya ayrılmıştır. Vernier ölçeğini okurken, bu hareketli ölçeğin 0'dan başladığını unutmayın. Ölçüm yapıldıktan sonra, ilk olarak, vernier cetvelindeki 0 noktasının ana cetveldeki pozisyonu okunur. Bu, cismin ölçülen kısmının uzunluğunun kaba bir tahminidir.

Daha sonra, bu 0 noktasının ana cetvel ölçeğindeki çizgilerin biriyle aynı hizada olup olmadığı gözlemlenmelidir. Eğer vernier cetvelindeki bu nokta ana cetveldeki bir çizgi ile aynı pozisyonda ise, ana cetvel üzerinden yapılan bu okuma ölçüm aracından kaynaklı belirsizlikle beraber ölçüm sonucu olarak kabul edilebilir. Diğer bir yandan, eğer aynı pozisyonda değilse, doğru okuma sonucu elde etmek için, vernier ölçeğindeki çizgi ile ana cetvel ölçeğindeki çizginin aynı hizada bulunduğu durum bulunmalıdır. Bu gözlenen nokta, vernier ölçeğinin yüz bölme içerdiği düşünülerek değerlendirilmelidir. Bu durumda, vernier ölçeğinde bu noktanın pozisyonu onlar basamağı olarak okunur. Bu da ana cetvel ölçeğinde okunan değer yüzde birler basamağını verir. Yine de, elde edilen bu sonuç, okuma aletinin belirsizliği ile birlikte yazılmalıdır. Tam sayı ve tam sayı olmayan okumalar üzerine aşağıda verilen örnekler, metrik vernier kumpas kullanılarak okumanın nasıl yapılacağını açıklamaktadır. Aşağıdaki **Şekil-18'**de vernier ölçeğindeki sıfır bölme çizgisinin ana cetvel ölçeğindeki bir bölüm çizgisi ile mükemmel hizalanmış durumunu göstermektedir. Bu durumda, vernier ölçeğindeki sıfır noktası ile ana cetvel ölçeğindeki 35 mm noktası hizalıdır. Bu nedenle, kumpas üzerindeki doğru okuma 35.00 mm'dir.



Şekil -18: Ana cetvel ölçeği üzerinde tam sayı değer okuması.



Şekil-19: Ana cetvel ölçeği üzerinde tam sayı olmayan değer okuması.

Şekil-19'da ise vernier ölçeğindeki sıfır noktasının ana cetvel ölçeğindeki bir bölüm çizgisi ile hizaya gelmediği bir durum gösterilmiştir.

Bu durumda, doğru okuma yapmak için izlenecek basamaklar aşağıdaki gibidir.

1. Ana cetvel ölçek boyunca tekrar gözlem yapın ve veniyer ölçek üzerindeki sıfır noktası ile en yakın hizalanmış iki bölme çizgisinden küçüğünü belirleyin. Yukarıda şekilde verilen örnekte, verniyer üzerindeki sıfır noktası ana cetveldeki 20 ile 21 sayılarına karşılık gelen bölme çizgilerinin arasında hizalıdır. Bu nedenle, ana cetvel ölçeğinden yapılacak doğru okuma değeri 20 mm'dir.
2. Şimdi vernier ya da hareketli cetvel ölçeği üzerinde gözlem yapın ve hangi bölme çizgisinin ana cetvel ölçeği üzerindeki bir bölme çizgisi ile hizalandığını belirleyin. Şekilde, bu değer vernier ölçeği üzerinde 54'tür ve bu ölçeğin çözünürlüğünün 0.01 olduğunu unutmayın.
3. Sonuç olarak, yukarıda verilen ölçümde okunan doğru değer $20 \text{ mm} + 54 \times 0.01 \text{ mm} = 20.54 \text{ mm}$ 'dir.

Kumpas üzerinden yapılan okumada, gözlemden kaynaklı bir belirsizlik yoktur. Fakat, kumpas kullanımından doğan aletsel belirsizlik $\pm 0.01 \text{ mm}$ 'dir.

Herhangi bir boyutta birkaç ölçüm alınması ve bu ölçüm sonuçlarının ortalamasının kaydedilmesi ölçümlerde ekstra bir güven verecektir ve bu, ölçüm içindeki belirsizlikleri tahmin etmek için gereklidir.

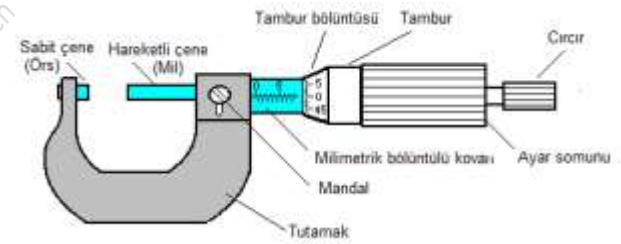
Hata Kaynakları

Kumpas ölçüm doğruluğunu etkileyen bir dizi faktör vardır. Kullanıcı bu hataların hem nedenlerinin hem de sonuçlarının farkında olmalıdır. Kumpas yapımındaki bir hata olarak, kumpas çenelerinin doğrusalıklarının kullanım öncesinde kontrol edilmesi önemlidir. Bu iç ve dış çap ölçüm yüzeyleri tamamen düz ve birbirlerine paralel olmalıdır. Ayrıca, vernier ölçek çözünürlüğü, kumpas üzerinden doğru okuma yapılmasını etkileyen diğer bir hata kaynağıdır. Ölçümlerin çoğunda, ana cetvel ve vernier cetvel ölçekleri aynı düzlemde olmadığı için, cetvel kullanımında olduğu gibi gözlemlenen hizalama pozisyonu paralaks hatasına bağlı olarak değişebilir.

Kumpasların çoğu ölçüm sırasında ölçülen cisim üzerine sabit bir kuvvet uygulanmasını sağlayamaz. Bu nedenle, bir ölçümün yapıldığı her zaman, özellikle farklı kullanıcılarla yapıldığında, ölçüm kuvveti değişecektir. Bunlara ek olarak, ölçüm yapmadan önce, çene yüzeyleri ve derinlik ölçme yüzeyi ve hatta cismin ölçülen yüzeyleri ölçüm hatalarını ortadan kaldırmak için temizlenmelidir.

8.3. Mikrometre

Kumpasa benzer olarak mikrometre çok küçük cisimlerin ve/veya mesafelerin hassa ölçümü için kullanılan bir ölçüm aletidir. Bu cihaz, bir eksen boyunca bir hareketli çenenin hassas ve doğrusal olarak yer değiştirmesini sağlamak için kademeli bir dişli mekanizmasına dayanmaktadır. Mesafe ölçümü, hareketli çene ile aynı eksen üzerindeki sabit bir ölçüm yüzeyine (sabit çene) doğru hareketli çenenin yer değiştirmesi temel alınarak yapılır. **Şekil-20'**de mikrometrenin temel parçaları gösterilmiştir.



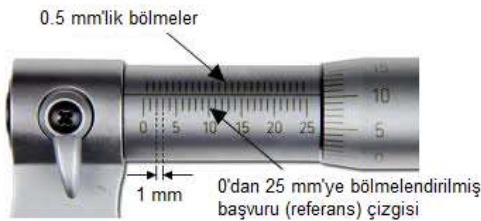
Şekil -20: Mikrometrenin parçaları.

Kumpas gibi, mikrometreler de genellikle iç ve dış çap ölçümlerinde ve aynı zamanda bir deliğin derinliğini doğru bir şekilde ölçmek için kullanılırlar. Mikrometre kullanımında, hareketli çene ve tambur okuma çizgileri detaylı ve güvenilir sonuçlar elde etmeyi sağlayan parçalardır. Standart bir mikrometre, 0.5 mm'lik vida adımı ile birlikte çevresinde elli eşit bölmeye ayrılmış bir tambura sahiptir. Farklı boyut aralıklarında üretilen birçok mikrometre vardır. Genelde, 0-25 mm boyut aralığına sahip küçük mikrometreler mevcuttur ve diğerleri 25 mm'lik boyut artışı ile geliştirilir. Mikrometrede boyut aralığı seçimi kullanıcının ihtiyaçlarına bağlıdır.

Hassas bir ölçüm almak için, mikrometre kullanımında en etkili durum, ölçülen cisim üzerine hareketli çene ile kuvvet uygulanmasıdır. Uygulanan kuvvet, hareketli çene yüzeyinde deformasyona ve cismin ölçüm yüzeyini etkilemese de mikrometre ile cisim arasında yaylanmaya neden olabileceği için ölçüm sonuçlarını değiştirir. Bu nedenle, ölçümlerdeki değişimi en aza indirmek ve aynı zamanda aletten kaynaklanacak hataları engellemek için cisme sabit ve eşit bir kuvvet uygulanmalıdır. Bu ayarı kolaylaştırmak için mikrometrelerde cırcır genellikle kullanılmaktadır. Bu mekanizma, birbirlerine karşı konumlandırılmış ve bir yay kuvveti ile dış yüzeyleri birbirine bastırılmış iki cırcır makarası içermektedir. Cırcır çarkı saat yönünde çevrildiğinde, iki cırcır makarası da ölçüm kuvveti belli bir sınıra ulaşıncaya kadar birlikte dönerler. Uygulanan kuvvet bu sınırı aştığında, çark içerisindeki cırcır makarası yavaş ve tıklarak dönmeye başlar. Çark saat yönünün tersine döndürüldüğünde, makara dişleri birbirlerine bağlı kalacağı ve tamburun dönmesine izin vereceği için cırcır makaraları arasında herhangi bir yavaşlama olmaz.

Mikrometrede Değer Okuma

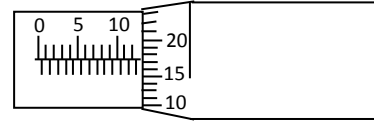
Mikrometre ile bir ölçüm yapmak için uygulanacak genel prosedür ilk olarak sabit çenenin ölçüm yapılacak cisim yüzeyi ile temas etmesidir. Daha sonra, hareketli çene cisme değinceye kadar tambur veya cırcır döndürerek sabit ve hareketli çeneyi cisme yaklaştırır. Cismi sabit ve hareketli çene arasında tutmak için bir kuvvet uygulamak için cırcır bir tıklama sesi duyuncaya kadar çevrilmelidir (Şekil-21).



Şekil-21: Mikrometrenin milimetrik bölüntülü kovanı üzerinden değer okunması.

Mikrometre üzerindeki ölçekten ölçüm sonucunun okuması yapılırken, öncelikle milimetrik bölüntülü kovan üzerindeki ana bölmelerden karşılık gelen sayı okunmalıdır. Daha sonra, buna ilave olarak yarım mm'lik ölçüm değeri, bu ölçeğin altındaki yarısından gözlenebilir. Bu iki okumadan sonra, okuma işlemini tamamlamak için tambur bölüntüsü üzerindeki değer de okunmalıdır. Bu son basamakta, milimetrik bölüntülü kovan üzerindeki başburu (referans) çizgisi ile çalışan tambur bölüntüsü üzerindeki değer milimetrik bölüntülü kovan ölçümüne eklenmelidir. 0.01 mm hassasiyetli mikrometrelerde, aletsel belirsizlik $\pm 0.01 \text{ mm}$ 'dir.

Bir mikrometre okuması örneği Şekil-22'de verilmiştir.



Şekil -22: Mikrometre okunması.

1. Milimetrik bölüntülü kovan üzerinden yapılan okuma değeri 12 mm'dir.
2. Bu ölçeğin altındaki yarısından yapılan ek yarım mm'lik ölçüm sonucu 0.5 mm'lik bir eklemeyi gerektirmektedir. Böylece, milimetrik bölüntülü kovan üzerinden yapılan okumanın sonucu 12.5 mm'dir.
3. Tambur bölüntüsü üzerindeki çizgi başvuru (referans) çizgisi ile 16'ncı tam bölmede (bu bölme aralıkları mm'nin yüzde biri kadardır) çakışmaktadır. Bu nedenle, yukarıda verilen örnekte doğru okuma değeri $12.5 \text{ mm} + 16 \times 0.01 \text{ mm} = 12.66 \text{ mm}$ 'dir.
4. Sonuç olarak, bu okuma değerine alet belirsizliği de eklenerek $12.66 \pm 0.01 \text{ mm}$ yazılmalıdır.

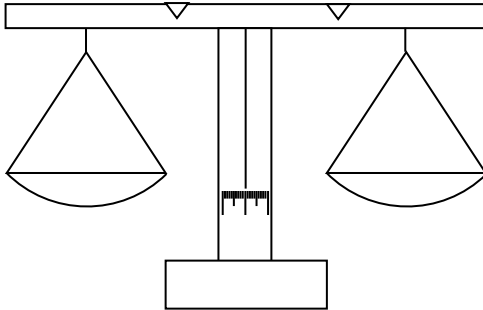
Herhangi bir boyutta birkaç ölçüm alınması ve bu ölçüm sonuçlarının ortalamasının kaydedilmesi ölçümlerde ekstra bir güven verecektir ve bu, ölçüm içindeki belirsizlikleri tahmin etmek için gereklidir.

Hata Kaynakları

Öncelikle, kullanıcılar, ölçüm cihazı olan mikrometredeki olası hata kaynaklarının farkında olmalıdır. Kullanım öncesinde kalibrasyon ve mekanik aksam kontrol edilmelidir. Ayrıca, ölçülen cismin yüzey özellikleri de nihai sonucu etkilemektedir. Bu, sabit ve hareketli çene ile cismin yüzeyindeki temas noktalarında değişimler olmasındandır. Sonuçtaki doğruluk, tambur bölüntüsü üzerinden yapılan okuma ile elde edilir. Okuma bir şekilde tahmine dayalı olduğundan, en küçük aralıklara sahip ölçek, elde edilen sonuç üzerindeki belirsizliği belirlemektedir.

8.4. Eşit Kollu Terazî

Eşit kollu terazi, kütle ölçümü için en yaygın kullanılan alettir. Aslında, bilinen standart bir kütle ile bilinmeyen bir kütlenin dengelenmesi olarak çalışmaktadır. Tipik bir eşit kollu terazi, **Şekil-23**'te gösterilmiştir.



Şekil -23: Eşit Kollu Terazî.

Eşit kollu terazi, terazi kolu olarak isimlendirilen düzgün bir çubuğun iki ucuna asılmış iki kefedenden oluşmaktadır. Terazî kolu, ayrıca merkezinden bıçak ağzı şeklindeki bir desteğe oturtulmuştur. Bu terazi kolunun dayanak noktasına destek noktası denir. Bir kefeye konan cismin kütlesini dengelemek için diğer kefeye yerleştirilen kütlelerin toplamı o cismin kütlesini verir.

Çoğu eşit kollu terazilerde, terazi kolu üzerinde serbestçe hareket edebilen ve kalibre edilmiş en küçük kütleden daha yüksek bir hassasiyet sağlayan biniciler mevcuttur. Bu ölçüm aletlerinde, ölçüm sonucundaki doğruluk, binici duyarlılığına bağlıdır. Bu nedenle, bu *ölçüm cihazının belirsizliğini* belirleyen bir durumdur. Bir ölçüm yapmadan önce, eşit kollu terazinin dengesi, terazi koluna bağlı ibrenin destek kolu üzerindeki ölçekte sıfır noktasında olup olmadığı gözlenerek kontrol edilmelidir. Bu nedenle, kefelerdeki tüm kütleleri kaldırın ve terazi dengeye gelinceye kadar bekleyin, ve sonra ölçek üzerinden sıfır okuma durumunu kontrol edin. Kesin doğru tespitler için yeterince mükemmel herhangi bir denge kurmak fiziksel olarak imkansızdır. Eşit kollu terazide doğruluk, kefeleri üzerindeki toz ve nemden kolayca etkilenebilir. Ölçüm sırasında dikkatli gözlem yapılması sonuçların doğruluğu için gereklidir.

8.5. Dijital Terazî

Dijital terazi, bir cismin kütlesinin belirlenmesinde en uygun ve en hızlı yoldur. Dijital terazi açıldığında okuma değerinin gram biriminde olduğuna dikkat edin. Daha sonra, cismi terazi tablasına yerleştirin, ve böylece kütle ekranda gösterilecektir. Dijital okumaya sahip olduğundan, *okuma belirsizliği* yoktur, fakat üretici firmaya göre bu deneyde kullanılacak dijital terazinin *aletsel* belirsizliği ± 0.01 gramdır.

8.6. Dereceli Silindir

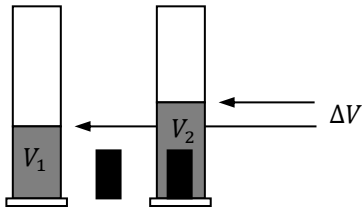
Dereceli silindirler doğru şekilde hacim ölçmek için kullanılır. Hacmi ölçülen cismin kütlesi biliniyorsa, yoğunluk hesaplamalarında da kullanılır. Dereceli silindirler genellikle plastik yada borosilikat camdan yapılır. Yaygın kullanılan boyutlar, 10, 25, 50, 100, 250, 500, 1000 ml'dir.

Suyun Yerdeğiştirmesi Yöntemi ile Hacim Belirlenmesi

Katı bir cismin hacmi, su yerdeğiştirmesi yöntemi ile ölçülebilir. Bu yöntemde, cisim, yoğunluğu cisimden az olan bir sıvı içerisine yerleştirilir. Sıvı içerisine cisimin eklenmesi, bu iki hacmin toplanabilir olması nedeniyle sıvının seviyesini artırır. Bu deneyde, katı cismin sıvı ile herhangi bir reaksiyona girmediği veya sıvı içinde çözülmediği varsayılmaktadır. Sıvının ilk hacmi V_1 'dir. Katı cisim ve sıvının oluşturduğu toplam hacim ise V_2 'dir. V_2 'nin V_1 'den büyük olması gerektiğine dikkat edin. Bu, sıvının hacmi ile katı cismin hacminin toplanabilir olmasındandır. Cismin hacmi (**şekil-24**):

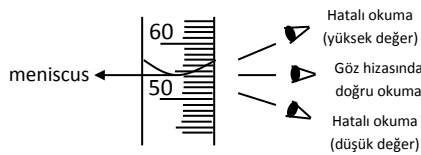
$$V_{katı} = \Delta V = V_2 - V_1$$

ifadesi ile bulunur.



şekil-24: Dereceli silindir ile hacim belirlenmesi.

Ölçümleri belirlemek bazen zor olabilir. Bazı önemli önemli teknikler şunlardır. Sıvıların yüzeylerinde eğri şeklindeki seviyeler ölçülürken, hacim menisküsün altından ölçülmelidir. Menisküs, kabın yüzeyi ile sıvı arasındaki çekim (yapışma) nedeniyle sıvı yüzeyinde oluşan bir eğridir. **şekil-25**'teki eğrinin alt kısmı ölçüldüğünde, sonuç $54 \pm 1 \text{ ml}$ olarak bulunur.



şekil-25: Menisküs okuması. Göz hizasında tutarak menisküsün al kısmını okuyun.

Deneyde kullanılacak dereceli silindirin ölçęi en fazla 250 ml'lik ölçümlere uygundur. Silindirin ölçęi, 10 ml'lik artışla 50 ve 250 ml arasında değişmektedir. Katı bir cismin hacmi 50 ml'den azsa, başlangıç sıvı hacmi olarak en az 50 ml seçilmelidir.

Dereceli silindiri, cismin içinde tamamen batabileceği bir seviyeye kadar sıvı ile doldurmayı unutmayın. Ayrıca, toplam (sıvı+cisim) hacim için dereceli silindirin en yüksek sınırına dikkat edin.

Genel olarak, dereceli silindirlere belirsizlik ölçek üzerinde 1 aralık olarak alınır. Fakat, bu deneyde kullanılacak dereceli silindirin en küçük bölme aralığı 10 ml'dir ve bu, ölçüm hatası olarak kullanmak için çok büyük bir değerdir. Bu nedenle, bu ölçüm aletinin belirsizliği olarak en küçük aralığın yarısının kullanılması önerilmektedir.

8.7. Sferometre

Sferometre, küresel yüzeylerin eğrilik yarıçapının belirlenmesinde hassas ölçüm için kullanılan bir araçtır. Bu alet, bir ayna ya da merceğin kavisli yüzeyinin yüksekliğini ölçer. Temelde, yapısı ve çalışma prensipleri mikrometredeki vidalamaya dayanmaktadır. Manuel versiyonlarında, mikrometredeki milimetrik bölüntülü kovanla aynı fonksiyona sahip düz bir cetvel bulunmaktadır. Tambura (dönen vernier ölçek ile birlikte) benzer olarak, dairesel ölçek doğru ölçümler almak için eşit parçalara veya bölmelere ayrılmıştır. Bu araç, üç tane ölçüm noktası ile eşit kenar bir üçgen oluşturan bir tripoda sahiptir ve bu üçgenin ortasına bir vida yerleştirilmiştir.

Böylece, mikrometre benzeri bir ölçüm yapılmaktadır.

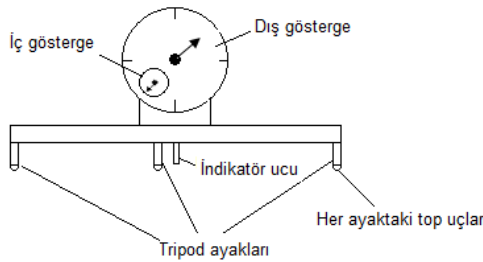


Şekil-26: Sferometrenin manuel versiyonu.

Saat göstergesi, düz cetvel ve dairesel ölçek yerine yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kısım, sferometre için özel tasarlanmış bir indikatör türüdür. Tripodun her ayağı cismin ölçülecek yüzeyine dokunmalıdır ve indikatörün ölçüm ucu ile tripodun üç ayağı ile tanımlanan düzlem arasındaki mesafe saat göstergesi ile okunur. Saat göstergenin ölçüm hassasiyeti 0.01 mm'den daha iyidir. Ölçümü tamamlamak için, tripod ayakları arasındaki mesafeler ölçülmelidir ve böylece ortalama değer eğrilik yarıçapı hesaplamalarında kullanılabilir.

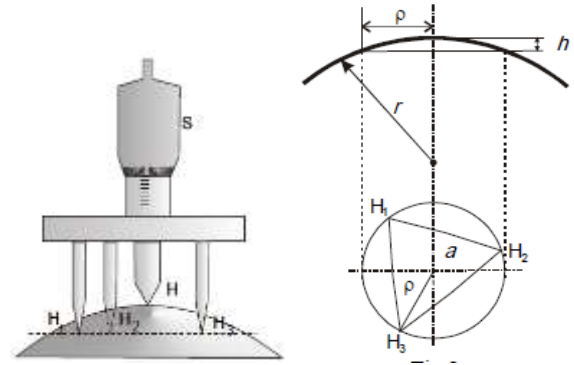


Şekil-27: Saatli sferometre.



Şekil-28: Saatli sferometrenin şematik gösterimi.

Top ve halka tipi olmak üzere iki çeşit sferometre vardır. Top tipi sferometre, yukarıda anlatılan sferometredir. Ölçüm doğruluğu sferometre ayaklarının keskin uçlara sahip olmasını gerektirir; fakat top şeklindeki uçlara sahip ayaklar, bu topların yarıçapı nedeniyle belli bir ölçüm hatasına neden olur. Top sferometrelerle birlikte yaygın kullanılan bir sferometre türü de halka sferometrelerdir. Bu sferometre türünde, tripod ayakları yerine, r yarıçaplı bir halka yer almaktadır.



Şekil-29: Sferometre kullanarak eğrilik yarıçapının ölçülmesi

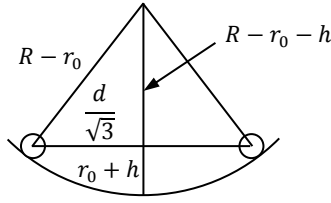
Sferometre kullanarak bir eğrilik yarıçapının R belirlenmesi için (örneğin bir **küresel aynanın** eğrilik yarıçapı), saat göstergesi ile ölçülen eğrilik yüksekliği h ve tripod ayakları arasındaki mesafe (basitçe cetvel ile ölçülebilir) bilinmelidir. İlk olarak, tripod ayakları arasındaki mesafelerin aynı olmasının beklenmesine rağmen, her bir ayak arasındaki mesafe ölçülmelidir ve daha doğru bir ölçüm sonucu elde etmek için hesaplamalarda bu değerlerin ortalaması kullanılmalıdır (**Şekil-29**).

Tripod ayakları arasındaki ortalama mesafe, d,

$$d = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3}$$

olarak bulunabilir.

Burada, d_i ($i=1,2,3$) üç bacak için ölçülen her bir mesafeyi göstermektedir.



Şekil-30: Tripod ayaklarının sferometre merkesinden uzaklığı.

Tripod ayakları eşkenar bir üçgen oluşturduğu için, bu ayaklar ile sferometre merkezi arasındaki mesafe, b ,

$$b = \frac{d}{\sqrt{3}}$$

gibi hesaplanabilir. R ve b arasındaki ilişki aşağıdaki denklemde verilmiştir.

$$R^2 = (R - h)^2 + b^2$$

$$R^2 = R^2 - 2Rh + h^2 + b^2$$

Yukarıdaki denklemden, R değeri,

$$R = \frac{b^2}{2h} + \frac{h}{2}$$

olarak hesaplanır. Fakat, top uçların keskin uçlara tercihen kullanılması nedeniyle, bu topların yarıçapı da, r_0 , eğrilik yarıçapı hesaplamalarında dikkate alınmalıdır.

$$R = \frac{b^2}{2h} + \frac{h}{2} \pm r_0$$

Bu denklemde, r_0 kullanımındaki pozitif ve negatif işaretler yüzeyin **dışbükey** ve **içbükey** olması ile ilgilidir. Top uçların yarıçapı da eklenerek elde edilen bu ilişki, ayaklar arasında ölçülen d mesafesi cinsinden aşağıdaki gibi tekrar yazılabilir:

$$R = \frac{d^2}{6h} + \frac{h}{2} \pm r_0$$

Örneğin, eğrilik yarıçapı (ya da eğrilik yarıçapları) bilinen bir merceğin odak noktası Lensmaker denklemi ile hesaplanabilir.

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

Bu denklemde, merceğin içinde bulunduğu ortam hava olarak kabul edilmektedir, $n_{hava} = 1$. Ayrıca, f merceğin odak uzaklığı, n merceğin kırılma indisi, R_1 merceğin ön (giriş) yüzeyinin eğrilik yarıçapı ve R_2 ise merceğin arka yüzeyinin eğrilik yarıçapıdır. Aşağıdaki işaret kullanımları genellikle mercekler için kabul edilmektedir. Bir çift içbükey mercek için $R_1 < 0$, $R_2 < 0$, ve $f < 0$ olarak kullanılır. Bir çift dışbükey mercek için $R_1 > 0$, $R_2 < 0$ and $f > 0$ olarak kullanılır. Merceğin bir yüzeyi düz ise, bu yüzeye karşılık gelen eğrilik yarıçapı $R = \infty$ 'dir.

Hata Kaynakları

Her ölçümden önce, sferometre göstergesinin sıfır noktası ayarlaması kontrol edilmelidir. Sıfır noktasını ayarlamak için sferometre düz bir referans yüzeye yerleştirilir ve saat göstergesinin etrafındaki tırtıklı dış halka, gösterge üzerindeki büyük ibre sıfır noktasına gelinceye kadar döndürülür. Okuma sırasında, sferometre üzerine dik bir kuvvet uygulamaktan kaçınılmalıdır.

Sferometre içindeki büyük ibrenin bir tam dönüşü 1 mm'ye karşılık gelir (1 bölme aralığı 0.01 mm'dir). Bu ibrenin tam tur dönüşlerinin sayısı ise küçük ibrenin olduğu göstergede verilir. Sferometre kullanılarak ölçülebilecek en yüksek indikatör yer değiştirmesi 10 mm'dir. Bu nedenle, ölçek üzerinde bir üst sınır vardır ve bölme aralıkları ölçümün hata kısmını belirlemektedir.

9. Deney Prosedürleri

Deneyin ilk kısmında, farklı şekillerdeki cisimlerin hacimlerini ve ağırlıklarını ölçerek, yoğunluklarını hesaplamaya çalışacağız. Hacim ölçümleri, cetvel, kumpas, mikrometre ve dereceli silindir yardımıyla gerçekleştirilecektir. Eşit kollu terazi ve dijital terazi, bu cisimlerin ağırlığını belirlemek için kullanılacaktır. Daha kesin bir sonuç elde edebilmek için, ortalama boyutları (hacimleri hesaplamak için kullanılacak) ve her cismin ağırlığını belirlemek için üç tane ölçüm alınacaktır. Tekrarlamaların sayısı, grup üyelerinin sayısı ile belirlenmelidir. Her bir grup üyesi tek bir ölçüm almalıdır çünkü başka bir ölçüm önceki ölçümünün etkisi altında alınacaktır. Daha sonra, ölçümlerin sonuçları hata payları dikkate alınarak birbirleriyle karşılaştırılacaktır. Sonuç olarak, her birinin tüm hacim ve ağırlık ölçümlerinin ortalaması alınacak ve bu değerler ortak yoğunluklarını bulmak için kullanılacaktır. Bu hesaplamada, kütle ve hacim arasındaki ilişki hata payları dikkate alınarak çizilecektir. Bu grafiği analiz ederek, cisimlerin yoğunlukları hesaplanacaktır.

9.1. Yoğunluk

Yoğunluk, d , malzemelerin yapısal bir özelliğidir. Gerçekte, cisimlerin miktarından bağımsızdır, böylece, şekli ve boyutu önemli olmaksızın cismin yoğunluğu aynı kalır. Bir cismin kütlesi hacmine düzenli (homojen olarak) ya da düzensiz (homojen olmadan) olarak dağılıbilir. Eğer bir kütle cisim boyunca düzenli olarak dağıldıysa, cismin yoğunluğu, d , toplam kütlenin m , toplam hacme bölünmesiyle bulunur ve:

$$d = \frac{m}{V}$$

şeklinde gösterilir.

9.2. Dış Boyutların Belirlenmesi (Uzunluk, Hacim)



Şekil-31: Farklı şekilde geometric cisimler seti.

Bu deneyde, cisimlerin boyutları ölçülecektir. Böylece, bu ölçümleri kullanarak cismin hacminin nasıl hesaplanacağını göreceğiz.

Dikdörtgen bir cismin hacmi şu şekilde ifade edilir:

$$V = W \times L \times h$$

$$V[cm^3] = Alan[cm^2] \times Yükseklik[cm]$$

Burada W , L ve h , sırasıyla en, boy ve yüksekliktir.

SI birim olarak kullanılan kg/m^3 ve CGS birimi olarak kullanılan g/cm^3 , yoğunluk için kullanılan birimlerdir. Ancak, g/cm^3 bir cismin yoğunluğunu tanımlarken daha yaygın kullanılır. Genel olarak, çok küçük miktarlarla ya da uzaklıklarla uğraşan bilim adamları, uzaklığı santimetre ve ağırlığı gram cinsinden ölçmeyi tercih eder. Ayrıca, santimetre küp, cm^3 , mililitre ya da cc birimine çevrilebildiği için, bu durum, yoğunluğu tanımlarken CGS sisteminin kullanımını etkileyebilir.

SI birim sistemi, metre-kilogram-saniye (MKS) birim setlerini temel almaktadır. Ancak, bu birimlerin denkleri, CGS sisteminde santimetre-gram-saniye'dir.

Genel olarak, MKS sistemi, CGS sistemine göre daha çok tercih edilir. Bazı CGS birimleri genel olarak kullanılmakla birlikte, MKS sistemindeki SI birim denklikleri uluslararası standartlar olarak kabul edilmektedir.

Bir küre için, hacim eşitliği şu şekildedir:

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3$$

$$V[cm^3] = \left(\frac{4}{3} \pi\right) \times \text{yarıçap}[cm^3]$$

Burada, r , kürenin yarıçapıdır.

Silindir için, hacim şu şekilde tanımlanır:

$$V = \pi r^2 L$$

$$V[cm^3] = \text{taban alanı}[cm^2] \times \text{uzunluk}[cm]$$

Burada, r , kürenin yarıçapı ve L , uzunluğudur.

Bir koni, daire bir tabandan ve bir tepe noktasından oluşur. Koniler, bazı durumlarda piramitlere benzerler. İkisinin de bir tabanı ve bir tepe noktası vardır. Koni hacminin formülü şu şekildedir:

$$V = \frac{1}{3} \pi r^2 h$$

$$V[cm^3] = \left(\frac{1}{3}\right) \times \text{taban alanı}[cm^2] \times \text{yükseklik}[cm]$$

Burada, r , taban yarıçapı ve h , tabandan tepe noktasına kadar olan yüksekliktir.

Cismin hacminin cetvel yardımı ile ölçülmesi

Bu deneyde kullanılan cetvelin iki farklı ölçeği vardır. Biri, 0'dan 5 cm'ye kadar 0.5 mm'lik bölmelere sahiptir. Diğeri 0'dan 15 cm'ye kadar 1 mm'lik bölmelere sahiptir. Eğer cismin boyutu 5 cm'den kısaysa, diğerinden daha hassas olan ilk ölçeğin kullanılması tavsiye edilmektedir. Eğer, 5 cm'den uzunsa, 1 mm'lik bölmelere ayrılmış cetvelin kullanılması tavsiye edilmektedir. Cismin boyutlarını ölçerken, paralaksı göz önünde bulundurarak en iyi okumayı yapmaya çalışın. Daha sonra, her cisim için yapılan ölçüm sonuçlarını Labaratuvar Raporundaki ilgili tabloya kaydediniz.



Şekil-32: Cetvel.

Dairesel cisimler için, ilk önce çapını ölçün, daha sonra yarıçapa çevirin.

Cismin farklı bölgelerinde ölçüm almak için dikkatli olun.

Cetvel cisme paralel olarak tutulduğu için, küp ve dikdörtgen cisimlerde ölçümler, diğer cisimlerden daha kolaydır. Silindirin yüksekliği de basitçe ölçülebilir ancak taban dairesinin çapı merkezinden ölçülmelidir. Cetvel, silindirdeki delikler için, çapını ve yüksekliğini (silindirdeki deliklerin derinliğini) ölçmek için uygun değildir. Bu ölçümler için, deliklerin içine kolayca yerleştirilebilen başka bir cisimden faydalanabilirsiniz. Bu cismin uzunluğu, deliğin yüksekliğine eşittir. Koni için, yüksekliğini cetvel ile ölçebileceğimiz başka bir düz cisim de kullanabilirsiniz. Bu düz cisim, tepe noktasına ve yere paralel olarak yerleştirilmelidir. Koninin yüksekliği, taban ile tepe noktasına yerleştirilen cisim arasındaki mesafeye eşittir. Küre için de, silindir gibi çapını ölçerken dikkatli olunuz.

Cismin hacminin kumpas yardımı ile ölçülmesi



Şekil-33: Kumpas.

1. Sabitleme vidasını gevşetin ve vernier ölçeğin düzgün çalıştığını kontrol etmek için sürgüyü hareket ettirin.
2. Dış ve iç çap çenelerinin, hareketli çenelerin ve derinlik ölçme yüzeyinin temiz olup olmadığını kontrol ediniz. Eğer değilse, tüm parçalarını temizleyiniz.
3. Cismen, ölçüm sırasında çenelerde temas edecek olan noktalarını (ya da yüzeyini) temizleyiniz.
4. Ölçümden önce, vernier kumpasın, çeneler tamamen kapalıyken sıfır okuyup okumadığını kontrol edin. Eğer çeneler kapalıyken, kumpas sıfır okumuyorsa, sıfır hatası vardır. Böylece, kumpasın çenelerini sıfır okuma elde edene kadar ayarlayınız. Eğer bu mümkün değilse, bu değer tüm ölçümlerden çıkartılmalı ya da ölçümlere eklenmelidir.
5. Dış çap ölçümleri için, çeneleri cismin üzerinde yerleştirecek kadar açınız. (Şekil-15),
6. İç çap ölçümleri için, iç çeneleri kapatın ve ölçülecek cismin içerisine yerleştirin. (Şekil-16),
7. Derinlik ölçümleri için, kumpasın bir ucunu deliğe yerleştirin. (Şekil-17).
8. Hareketli çeneleri, dış ve iç çenelerin ve derinlik ölçme yüzeyinin, cismin yüzeyi ile temas etmesi için yavaşça kaydırın.
9. Sabitleme vidasını, temas pozisyonunun ölçüm sırasında etkilenmemesi için sıkınız.
10. Ana ve vernier ölçeği okuyunuz.
11. Sonuçlarınızı, Laboratuvar Raporundaki ilgili tablolara kaydediniz.

Cismin hacminin mikrometre yardımı ile ölçülmesi



Şekil-34: Mikrometre.

1. Mandalı gevşetin ve vernier ölçeğin düzgün çalıştığını kontrol etmek için hareketli çeneyi hareket ettirin.
2. Sabit ve hareketli çene yüzeylerini ve ölçümü yapılacak olan cismi temizleyiniz.
3. Ölçümden önce, mikrometrenin, sabit ve hareketli çenenin temas halinde olduğu zaman sıfır okuyup okumadığını kontrol edin. Sabit ve hareketli çene tamamen kapalı olduğu zaman, mikrometre sıfır okumuyorsa, sıfır hatası vardır.
4. Hareketli çeneyi, mikrometrenin cismin tüm yüzeyini kaplayacak şekilde döndürünüz.
5. Cismin yüzeyini, mikrometrenin çenelerine değecek şekilde yerleştiriniz.
6. Hareketli çeneyi, cismin diğer yüzeyi sabit çeneye temas edene kadar çevirin.
7. Cırcırı, 3 tık sesi duyana kadar çevirin.
8. Sabit ve hareketli çenenin, cisme tam olarak dokunduğundan emin olunuz.
9. Mandalı sıkınız.
10. Milimetrik ve tambur ölçeğini okuyunuz.
11. Sonuçlarınızı, Laboratuvar Raporundaki ilgili tablolara kaydediniz.

Cismin hacminin dereceli silindir yardımı ile ölçülmesi



Şekil-35: Dereceli silindir.

1. Dereceli silindiri ve ölçümü yapılacak olan cismi temizleyiniz.
2. Cismin kolayca batabileceği ve hacmin kolayca ölçekte okunabileceği yere kadar dereceli silindiri doldurun. Daha sonra, bu değeri ilk hacim olarak kaydedin.
3. Cismi silindire yerleştirin ve sıvı seviyesinin cismin üzerinde kalmasına dikkat edin. Daha sonra, son hacmi ölçün.
4. Sonuçlarınızı, Laboratuvar Raporundaki ilgili tablolara kaydediniz.

Her bir ölçüm sonucunu, doğru anlamlı sayılar ve hatalarını içerecek şekilde kaydediniz.

9.3. Kütlenin Belirlenmesi

Cismin kütlesini, laboratuvar terazisi yardımı ile, ağırlığı bilinmeyen cismi, ağırlığı bilinen kütleler sayesinde dengeleyerek belirleyeceğiz. Kefe üzerindeki ağırlığı bilinmeyen kütle, diğer kefe üzerine yerleştirilen ağırlıkları bilinen kütleler sayesinde dengelenir. Sistemimizde, çubuk üzerindeki binicileri ölçümlerde kullanmayacağız. Biniciler sadece, çubuğu ölçek üzerinde sıfıra ayarlamak için kullanılacaktır. Buna ek olarak, cismin kütlesini belirlemek için alternatif yöntem olarak dijital terazi kullanacağız. Bu bize gram cinsinden dijital bir sonuç verecektir.

Cismin kütlesinin eşit kollu terazi ile ölçülmesi



Şekil-36: Eşit kollu terazi.

1. Cismin kütlesini ölçmeden önce teraziyi sıfırlayınız.
 - 1.1. Tüm binicilerin 0 noktasında olduğuna emin olunuz.
 - 1.2. İbrenin ölçek boyunca serbestçe hareket edip etmediğini kontrol ediniz.
2. Eşit kollu terazinin bir kefesine kütlesi bilinmeyen cismi yerleştiriniz ve denge sağlanana (yüzeyle paralel olana) kadar diğer kefesine kütleler (kütle setinden) eklemeye başlayınız. Eğer kefeler dengedeyseniz, ibre sıfır noktasında olacaktır. Bu uygulamada kütle seti;

Tablo-3: Kütle seti.

Miktar(adet)	Ağırlık
1	500 g
1	200 g
2	100 g
1	50 g
1	20 g
2	10 g
1	5 g
2	2 g
2	1 g
1	500 mg
1	200 mg
1	100 mg
1	50 mg
1	20 mg
1	10 mg

içermektedir ve farklı ürün setlerine göre değişiklik gösterebilir.



Şekil-37: Ağırlık takımı (kütle seti).

3. Sonuçlarınızı Laboratuvar Raporundaki uygun tabloya kaydediniz.

Not: Setin içindeki en küçük kütle 10 mg'dır, böylece, bu alettaki belirsizlik 10 mg'dır.

Cismin kütlesinin dijital terazi ile ölçülmesi



Şekil-38: Dijital terazi.

1. Dijital teraziye, sert ve pürüzsüz yüzeye ve yere paralel olacak şekilde yerleştiriniz.
2. ON/OFF düğmesine basarak teraziye açınız.
3. MODE düğmesini kullanarak uygun ölçüm birimini seçiniz. Gram birimine ek olarak, ons (oz), peni ağırlık (dwt) ve karat (ct) olarak 3 tane daha ölçüm birimi vardır.

$$1 \text{ oz} = 28.350 \text{ g}$$

$$1 \text{ dwt} = 1.555 \text{ g}$$

$$1 \text{ ct} = 0.2 \text{ g}$$

4. Cismin kütlesini ölçmeden önce, teraziye Z/T düğmesine basarak sıfırlayınız.
5. Kütlesi bilinmeyen cismi teraziye yerleştiriniz ve ekrandaki değeri kaydediniz.

Not: Bu deneyde kullanılan terazinin maksimum ölçme kapasitesi 200 g'dır. Ölçümleri alırken, ekrandaki değer sabitlenene kadar bekleyiniz.

6. Sonuçları, Laboratuvar Raporundaki ilgili tablolara kaydediniz.

Cismin yoğunluğunun hesaplanması

Küp, dikdörtgen cisim, silindir ve koni şeklindeki cisimlerde kullanılan malzeme aynıdır. Başka bir deyişle, yoğunlukları birbirine eşittir. Böylece, yoğunluğu belirlemek için;

1. Hacim ve kütle ölçümlerini bitirdikten sonra, her cisim için ortalamalarını alınız.
2. Her bir kütle ve hacim çiftini kullanarak, hacim ve kütle arasındaki ilişkiyi gösteren bir grafik çiziniz.

Not: Bir cisimden elde edilen her bir kütle ve hacim sonuçları bir veri çifti oluşturur.

3. Grafiği, y-ekseni kütle ve x-ekseni hacim olacak şekilde oluşturunuz. Her bir eksene adlarını ve birimlerini yazınız. Veri noktalarını ve hata paylarını çiziniz.

Not: Veri noktalarını kullanarak bir doğru çiziniz. Bu doğrunun denklemi $y = mx + b$ şeklindedir. m doğrunun eğimini ve b y-eksenini kestiği noktayı göstermektedir.

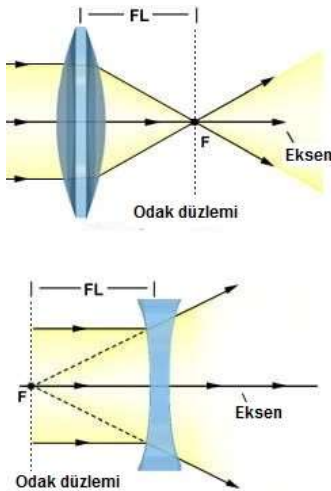
4. En iyi ve en kötü doğruları çiziniz.
5. En iyi doğrunun eğimini; m_b , ve en kötü doğrunun eğimini, m_w bulunuz. Eğimdeki hatayı (belirsizlik) $\Delta m = |m_b - m_w|$ hesaplayınız.
6. Bu eğimlerden, bilinmeyen malzemenin yoğunluğunu $d \pm \Delta d$ bulunuz.

Küre şeklindeki cismin yoğunluğu diğerlerinden farklıdır. Bu cisim için, tekrar kütle ve hacim ölçüm sonuçlarının ortalamasını alınız. Daha sonra, bu sonuçların oranını alarak, cismin yoğunluğunu hesaplayınız.

9.4. Merceklerin Özellikleri

Mercek geçirgen, optik bir alettir. Mercekler, genellikle ince bir parça camdan yapılmışlardır ya da görüntü oluşturabilmek için, ışık ışınlarını kırabilen saydam bir plastikten yapılmışlardır. Genellikle, küresel bir şekilde yapılmaktadır ve her iki yüzeyi de cıvalıdır. Basit bir mercek, tek bir parça malzemeden oluşurken, bileşik bir mercek çeşitli malzemelerden oluşmaktadır. Gelen ışığı yansıtma özelliğine sahip olan aynaya ve odaklamadan gelen ışığı kırabilen özelliğe sahip prizmalara karşı, mercekler, görüntü oluşturmak için, gelen ışığı odaklamak için kullanılır.

Mercekler pek çok farklı şekilde hazırlanabilir. Bir mercek, şekil ve yapıldıkları malzeme yüzünden diğerinden ayrılır. En yaygın kullanılan mercekler, içbükey ve dışbükey merceklerdir. İçbükey merceklerde, gelen ışın tek bir noktada bileşirken, dışbükey merceklerde, gelen ışın tek bir noktadan saçılır. Bu tür mercekler aşağıdaki **Şekil-39**'da gösterilmiştir.



Şekil-39: Paralel gelen ışık ışınlarının (a) yakınsak mercek ve (b) ıraksak mercekte davranışları.

İçbükey merceklerde, yüzeye paralel olarak gönderilen ışınlar kırıldıktan sonra bir noktada kesişirken, dışbükey merceklerde yüzeye paralel olarak gönderilen ışınlar kırıldıktan sonra bir noktada kesişmezler ancak uzantıları bir noktada kesişir. Bu noktaya merceğin odak noktası denir. Ayrıca, merceğin merkezi ile odak noktası arasındaki mesafe, odak uzaklığı olarak tanımlanır. Merceğin merkezinden geçen yatay çizgiye asal eksen denir. Asal eksenin merceği kestiği nokta ise tepe noktası olarak bilinir. Kürenin merkez noktası ise eğrilik merkezi olarak bilinir. Tepe noktası ile merkez arasındaki uzaklığa ise **eğrilik yarıçapı** denir. Mercekler, iki optik yüzeydeki eğriliklere göre sınıflandırılırlar. Eğer iki yüzey de dışbükeyse, bu mercek *çift tümseklili mercek* (*bikonveks*). Eğer merceğin iki yüzeyi de aynı eğrilik yarıçapına sahipse, mercek *eş dışbükeydir*. Eğer iki yüzey de içbükeyse, bu mercek *çift çukurlu mercek* (*bikonkav*). Eğer merceğin bir yüzeyi düz ise diğer yüzeyin eğriliğine bağlı olarak, mercek *bir kenarı düz dışbükey* ya da *bir kenarı düz içbükeydir*. Eğer bir yüzey içbükey ve diğ. yüzey dışbükeyse, bu mercek *içbükey-dışbükey* ya da *meniküs* olarak adlandırılır. Düzeltici mercekler çoğunlukla bu tür merceklerden yapılır.



Şekil-40: (a) bikonveks mercek, (b) bir kenarı düz-dışbükey mercek, (c) içbükey-dışbükey mercek (d) bikonkav mercek, (e) bir kenarı düz-içbükey mercek (f) dışbükey-içbükey mercek.

Bir merceğin belirleyici özelliği, o merceğin odak uzaklığıdır. Aynı şekle ve kırılma indisine sahip mercekler, aynı odak uzaklığına sahiptir. Farklı şekillerdeki merceklerin ya da farklı ortamdaki merceğin, odak uzaklığı belirlenmelidir ve bu tür mercekler özel kullanımlar içindir. Başka bir deyişle, yüzeylerinin eğriliğine bağlı olarak, bir merceğin yakınsak ya da ıraksak olduğunu ve mercek malzemesinin indisini n_1 ve ortamın indisini n_2 belirlemek için, odak uzaklıklarının bilinmesi gerekir.

Bu yüzden, **Lens-maker** denklemi, odak uzaklığının tersini, merceğin fiziksel özellikleri (ve merceğin hangi ortamda bulunduğu) cinsinden verir;

$$\frac{1}{f} = (n_2 - n_1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

Burada, f , merceğin odak uzaklığı, n_1 , merceği çevreleyen ortamın kırılma indisi, n_2 , merceğin yapıldığı malzemenin kırılma indisi, R_1 , merceğin bir yüzeyinin eğrilik yarıçapı ve R_2 , diğer yüzeyin eğrilik yarıçapıdır. Bu denklemde, en önemli nokta, R değerinin işaretidir. Dışbükey mercek *dışa doğru* eğri olduğu için, eğrilik yarıçapının işareti pozitifdir. Diğer taraftan, *içe doğru* eğri yüzeylere sahip içbükey merceklerde, eğrilik yarıçapının işareti negatiftir.

9.5. Eğrilik Yarıçapının Belirlenmesi

Eğrilik yarıçapının sferometre ile ölçülmesi



Şekil-41: Sferometre.

1. Sferometreyi sert ve pürüzsüz bir yüzeye yerleştiriniz; tripodun tüm ayaklarının ve indikatör ucunun yüzey ile temas halinde olduğundan emin olunuz.

2. Bu konumu sıfır okuma olarak ayarlayınız. Eğer indikatör göstergesi sıfır okuma göstermiyorsa, ölçekli tırtıklı dış halkayı, sıfır noktası ve ibre hizalanana kadar çeviriniz.
3. İndikatör ucunu aynanın (veya merceğin) yüzeyine temas edecek şekilde, sferometreyi yerleştiriniz. Bu durumda, eğri yüzey üst tarafta olmalıdır.
4. İndikatör ucunu aynanın merkezine doğru yavaşça kaydırınız ve okuduğunuz en yüksek değeri kaydediniz. İndikatör ucu, ayna yüzeyinin üzerinde kalkarsa, indikatör saat yönünde döner. Başka bir deyişle, referans noktasından itibaren olan yükseklik artarsa, indikatör pozitif bir değer okur. Diğer taraftan, indikatör aynanın yüzeyinden kalktığı zaman, indikatör saat yönünün tersine döner, böylece, okunan değer negatif olur.
5. İndikatör ucunu, aynanın köşesine doğru yavaşça kaydırınız. Okuduğunuz en düşük değeri kaydediniz. Bu ölçümü en az üç köşe noktası için tekrarlayınız.
6. **Eğrilik yüksekliğini** h , en düşük değerlerin ortalamasını, en yüksek değerden çıkararak hesaplayınız.
7. Aynanın (veya merceğin) taban uzunluğunu, cetvel ve kumpas kullanarak ölçünüz.
8. Bu sonuçlara dayanarak, ayna veya merceğin **eğrilik yarıçapını** R hesaplayınız.
9. Sonuçları, Laboratuvar Raporundaki ilgili tablolara kaydediniz.



Şekil-42: Farklı odak uzaklıklarına sahip mercek seti. Deney setinde bu ürün, küresel **ayna** seti ile değişiklik gösterebilir.

10. Laboratuvar Raporu**Ad-Soyad:** _____**Bölüm:** _____**Öğrenci Numarası:** _____**Tarih:** _____

Rentech

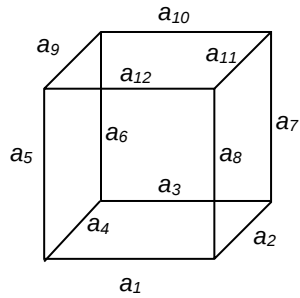
10.1. 1. Cisim Ölçümleri

Veri Tablosu-1: Cetvel ile yapılan 1.cismin boyutlarının ölçülmesi (cm cinsinden).

Veri Sayısı	$a_1 \pm \Delta a_1$	$a_2 \pm \Delta a_2$	$a_3 \pm \Delta a_3$	$a_4 \pm \Delta a_4$	$a_5 \pm \Delta a_5$	$a_6 \pm \Delta a_6$	$a_7 \pm \Delta a_7$	$a_8 \pm \Delta a_8$	$a_9 \pm \Delta a_9$	$a_{10} \pm \Delta a_{10}$	$a_{11} \pm \Delta a_{11}$	$a_{12} \pm \Delta a_{12}$
1												
2												
3												
Ortalama												

Veri Tablosu-2: Kumpas ile yapılan 1.cismin boyutlarının ölçülmesi (mm cinsinden).

Veri Sayısı	$a_1 \pm \Delta a_1$	$a_2 \pm \Delta a_2$	$a_3 \pm \Delta a_3$	$a_4 \pm \Delta a_4$	$a_5 \pm \Delta a_5$	$a_6 \pm \Delta a_6$	$a_7 \pm \Delta a_7$	$a_8 \pm \Delta a_8$	$a_9 \pm \Delta a_9$	$a_{10} \pm \Delta a_{10}$	$a_{11} \pm \Delta a_{11}$	$a_{12} \pm \Delta a_{12}$
1												
2												
3												
Ortalama												



1.cismin küp olduğu düşünülüğünde, ölçüm hatası ile birlikte küpün bir kenar uzunluğunu, a , belirlemek için **Tablo-1**'deki verilerin ortalama değerlerinin tümünün ortalamasını alınız. Daha sonra hata payı ile birlikte 1.cismin hacmini $V \pm \Delta V$ hesaplayınız ve bu hesaplamalarınızı detaylı olarak gösteriniz.

$$a \pm \Delta a = \dots\dots\dots \text{cm}$$

$$V \pm \Delta V = \dots\dots\dots \text{cm}^3$$

1.cismin küp olduğu düşünülüğünde, ölçüm hatası ile birlikte küpün bir kenar uzunluğunu, a , belirlemek için **Tablo-2**'deki verilerin ortalama değerlerinin tümünün ortalamasını alınız. Daha sonra hata payı ile birlikte 1.cismin hacmini $V \pm \Delta V$ hesaplayınız ve bu hesaplamalarınızı detaylı olarak gösteriniz.

$$a \pm \Delta a = \dots\dots\dots \text{cm}$$

$$V \pm \Delta V = \dots\dots\dots \text{cm}^3$$

Veri Tablosu-3: Boyutları ölçülen **1.cismin** hacim hesaplamalarının sonuçları.

	Cetvel ile	Kumpas ile
$V \pm \Delta V \text{ (cm}^3\text{)}$		

Veri Tablosu-4: Dereceli silindir ile yapılan **1.cismin** hacim ölçümü (cm^3 cinsinden).

İlk Hacim (cm^3)	Son Hacim (cm^3)	Yer değiştiren Suyun Hacmi (cm^3)	Cismin hacmi (cm^3)

Veri Tablosu-5: 1.cismin kütle ölçümü.

	Eşit kollu terazi ile (gram cinsinden)	Dijital terazi ile (gram cinsinden)
Veri Sayısı	$m \pm \Delta m$	$m \pm \Delta m$
1		
2		
3		
Ortalama		

Rentech

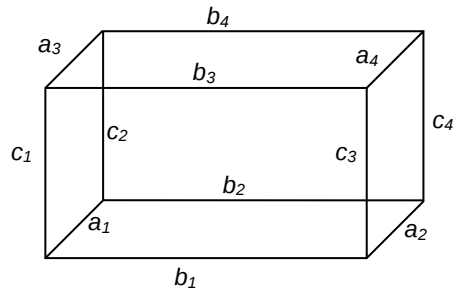
10.2. 2. Cisim Ölçümleri

Veri Tablosu-6: Cetvel ile yapılan 2.cismin boyutlarının ölçülmesi (cm cinsinden).

Veri Sayısı	$a_1 \pm \Delta a_1$	$a_2 \pm \Delta a_2$	$a_3 \pm \Delta a_3$	$a_4 \pm \Delta a_4$	$b_1 \pm \Delta b_1$	$b_2 \pm \Delta b_2$	$b_3 \pm \Delta b_3$	$b_4 \pm \Delta b_4$	$c_1 \pm \Delta c_1$	$c_2 \pm \Delta c_2$	$c_3 \pm \Delta c_3$	$c_4 \pm \Delta c_4$
1												
2												
3												
Ortalama												

Veri Tablosu-7: Kumpas ile yapılan 2.cismin boyutlarının ölçülmesi (mm cinsinden).

Veri Sayısı	$a_1 \pm \Delta a_1$	$a_2 \pm \Delta a_2$	$a_3 \pm \Delta a_3$	$a_4 \pm \Delta a_4$	$b_1 \pm \Delta b_1$	$b_2 \pm \Delta b_2$	$b_3 \pm \Delta b_3$	$b_4 \pm \Delta b_4$	$c_1 \pm \Delta c_1$	$c_2 \pm \Delta c_2$	$c_3 \pm \Delta c_3$	$c_4 \pm \Delta c_4$
1												
2												
3												
Ortalama												



Ölçüm hatası ile birlikte cismin a , b , c boyutlarını belirlemek için **Tablo-6**'daki verilerin ortalama değerlerinin tümünün ortalamasını alınız. Daha sonra hata payı ile birlikte **2.cismin** hacmini $V \pm \Delta V$ hesaplayınız ve bu hesaplamalarınızı detaylı olarak gösteriniz.

$$a \pm \Delta a = \dots\dots\dots \text{ cm}$$

$$b \pm \Delta b = \dots\dots\dots \text{ cm}$$

$$c \pm \Delta c = \dots\dots\dots \text{ cm}$$

$$V \pm \Delta V = \dots\dots\dots \text{ cm}^3$$

Ölçüm hatası ile birlikte cismin a , b , c boyutlarını belirlemek için **Tablo-7**'deki verilerin ortalama değerlerinin tümünün ortalamasını alınız. Daha sonra hata payı ile birlikte **2.cismin** hacmini $V \pm \Delta V$ hesaplayınız ve bu hesaplamalarınızı detaylı olarak gösteriniz.

$$a \pm \Delta a = \dots\dots\dots \text{ cm}$$

$$b \pm \Delta b = \dots\dots\dots \text{ cm}$$

$$c \pm \Delta c = \dots\dots\dots \text{ cm}$$

$$V \pm \Delta V = \dots\dots\dots \text{ cm}^3$$

Veri Tablosu-8: Boyutları ölçülen **2.cismin** hacim hesaplamalarının sonuçları.

	Cetvel ile	Kumpas ile
$V \pm \Delta V \text{ (cm}^3\text{)}$		

Veri Tablosu-9: Dereceli silindir ile yapılan **2.cismin** hacim ölçümü (cm^3 cinsinden).

İlk Hacim (cm^3)	Son Hacim (cm^3)	Yer Değiştiren Suyun Hacmi (cm^3)	Cismin Hacmi (cm^3)

Veri Tablosu-10: **2.cismin** kütle ölçümü.

	Eşit kollu terazi ile (gram cinsinden)	Dijital terazi ile (gram cinsinden)
Veri Sayısı	$m \pm \Delta m$	$m \pm \Delta m$
1		
2		
3		
Ortalama		

10.3. 3. Cisim Ölçümleri

Veri Tablosu-11: Cetvel ile yapılan 3.cismin boyut ölçümleri (cm cinsinden).

Veri Sayısı	$D \pm \Delta D$	$H \pm \Delta H$	$d_1 \pm \Delta d_1$	$h_1 \pm \Delta h_1$	$d_2 \pm \Delta d_2$	$h_2 \pm \Delta h_2$
1						
2						
3						
Ortalama						

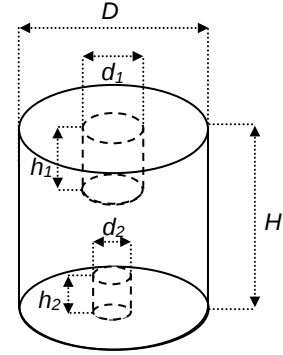
Tablo-11'deki verileri kullanarak, R , H , r_1 , h_1 , r_2 ve h_2 boyutlarını hata payları ile birlikte belirleyiniz. Daha sonra hata payı ile birlikte 3.cismin hacmini $V \pm \Delta V$ hesaplayınız ve bu hesaplamalarınızı detaylı olarak gösteriniz.

$$V \pm \Delta V = \dots \text{cm}^3 \text{ (silindirin deliksiz halinin hacmi)}$$

$$V \pm \Delta V = \dots \text{cm}^3 \text{ (ilk deliğin hacmi)}$$

$$V \pm \Delta V = \dots \text{cm}^3 \text{ (ikinci deliğin hacmi)}$$

$$V \pm \Delta V = \dots \text{cm}^3 \text{ (3. cismin hacmi)}$$



Veri Tablosu-12: Kumpas ile yapılan 3.cismin boyut ölçümleri (cm cinsinden).

Veri Sayısı	$D \pm \Delta D$	$H \pm \Delta H$	$d_1 \pm \Delta d_1$	$h_1 \pm \Delta h_1$	$d_2 \pm \Delta d_2$	$h_2 \pm \Delta h_2$
1						
2						
3						
Ortalama						

Tablo-12'deki verileri kullanarak, R , H , r_1 , h_1 , r_2 ve h_2 boyutlarını hata payları ile birlikte belirleyiniz. Daha sonra hata payı ile birlikte 3.cismin hacmini $V \pm \Delta V$ hesaplayınız ve bu hesaplamalarınızı detaylı olarak gösteriniz.

$$V \pm \Delta V = \dots \text{mm}^3 = \dots \text{cm}^3 \text{ (silindirin deliksiz halinin hacmi)}$$

$$V \pm \Delta V = \dots \text{mm}^3 = \dots \text{cm}^3 \text{ (ilk deliğin hacmi)}$$

$V \pm \Delta V = \dots \text{mm}^3 = \dots \text{cm}^3$ (ikinci deliğin hacmi)

$V \pm \Delta V = \dots \text{mm}^3 = \dots \text{cm}^3$ (3. cismin hacmi)

Veri Tablosu-13: Boyutları ölçülen **3.cismin** hacim hesaplamalarının sonuçları.

	Cetvel ile	Kumpas ile
$V \pm \Delta V (\text{cm}^3)$		

Veri Tablosu-14: Dereceli silindir ile yapılan **3.cismin** hacim ölçümü (cm^3 cinsinden).

İlk Hacim (cm^3)	Son Hacim (cm^3)	Yer Değiştiren Suyun Hacmi (cm^3)	Cismin Hacmi (cm^3)

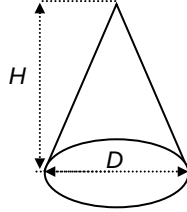
Veri Tablosu-15: **3.cismin** kütle ölçümü.

	Eşit kollu terazi ile (gram cinsinden)	Dijital terazi ile (gram cinsinden)
Veri Sayısı	$m \pm \Delta m$	$m \pm \Delta m$
1		
2		
3		
Ortalama		

10.4. 4. Cisim Ölçümleri

Veri Tablosu-16: Cetvel ile yapılan 4.cismin boyut ölçümleri (cm cinsinden).

Veri Sayısı	$D \pm \Delta D$	$H \pm \Delta H$
1		
2		
3		
Ortalama		



Tablo-16'daki verileri kullanarak, R ve H boyutlarını hata payları ile birlikte belirleyiniz. Daha sonra hata payı ile birlikte 4.cismin hacmini $V \pm \Delta V$ hesaplayınız ve bu hesaplamalarınızı detaylı olarak gösteriniz.

$$V \pm \Delta V = \dots \text{ cm}^3$$

Veri Tablosu-17: Kumpas ile yapılan 4.cismin boyut ölçümleri (mm cinsinden).

Veri Sayısı	$D \pm \Delta D$	$H \pm \Delta H$
1		
2		
3		
Ortalama		

Ölçüm hatası ile birlikte cismin R ve h boyutlarını belirlemek için **Tablo-17**'deki verilerin ortalama değerlerinin tümünün ortalamasını alınız. Daha sonra hata payı ile birlikte 4.cismin hacmini $V \pm \Delta V$ hesaplayınız ve bu hesaplamalarınızı detaylı olarak gösteriniz.

$$V \pm \Delta V = \dots \text{ cm}^3$$

Veri Tablosu-18: Boyutları ölçülen 4.cismin hacim hesaplamalarının sonuçları.

DeneySEL	Cetvel ile	Kumpas ile
$V \pm \Delta V (\text{cm}^3)$		

Veri Tablosu-19: Dereceli silindir ile yapılan **4.cismin** hacim ölçümü (cm^3 cinsinden).

İlk Hacim (cm^3)	Son Hacim (cm^3)	Yer Değiştiren Suyun Hacmi (cm^3)	Cismin Hacmi (cm^3)

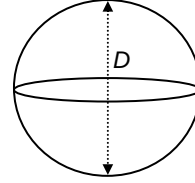
Veri Tablosu-20: **4.cismin** kütle ölçümü.

DeneySEL	Eşit kollu terazi ile (gram cinsinden)	Dijital terazi ile (gram cinsinden)
Veri Sayısı	$m \pm \Delta m$	$m \pm \Delta m$
1		
2		
3		
Ortalama		

10.5. 5. Cisim Ölçümleri

Veri Tablosu-21: Cetvel, kumpas ve mikrometre ile yapılan 5.cismin boyut ölçümleri (mm cinsinden).

	Cetvel ile	Kumpas ile	Mikrometre ile
Veri Sayısı	$D \pm \Delta D$	$D \pm \Delta D$	$D \pm \Delta D$
1			
2			
3			
Ortalama			



Tablo-21'deki verileri kullanarak, her bir ölçüm için, ölçüm hatası ile birlikte cismin R boyutunu belirleyiniz. Daha sonra hata payı ile birlikte 5.cismin hacmini $V \pm \Delta V$ hesaplayınız ve bu hesaplamalarınızı detaylı olarak gösteriniz.

$$V \pm \Delta V = \dots \text{mm}^3 = \dots \text{cm}^3 \text{ (cetvel ile)}$$

$$V \pm \Delta V = \dots \text{mm}^3 = \dots \text{cm}^3 \text{ (kumpas ile)}$$

$$V \pm \Delta V = \dots \text{mm}^3 = \dots \text{cm}^3 \text{ (mikrometre ile)}$$

Veri Tablosu-22: Boyutları ölçülen 5.cismin hacim hesaplamalarının sonuçları.

	Cetvel ile	Kumpas ile	Mikrometre ile
$V \pm \Delta V \text{ (cm}^3\text{)}$			

Veri Tablosu-23: Dereceli silindir ile yapılan 5.cismin hacim ölçümü (cm^3 cinsinden).

İlk Hacim (cm^3)	Son Hacim (cm^3)	Yer Değiştiren Suyun Hacmi (cm^3)	Cismin Hacmi (cm^3)

Veri Tablosu-24: 5.cismin kütle ölçümü.

	Eşit kollu terazi ile (gram cinsinden)	Dijital terazi ile (gram cinsinden)
Veri Sayısı	$m \pm \Delta m$	$m \pm \Delta m$
1		
2		
3		
Ortalama		

Tablo-22 ve **Tablo-24**'deki ölçüm verilerini kullanarak, **5.cismin** yoğunluğunu belirleyiniz. (Hesaplama adımlarını açık bir şekilde gösterin).

Rentech

10.6. Yoğunluk Hesaplamaları

Veri Tablosu-25: 1., 2., 3. ve 4. cisimlerin hacim ölçümleri.

	Hacim (cm ³) Cetvel ile	Hacim (cm ³) Kumpas ile	Hacim (cm ³) Dereceli silindir ile	Hacmin ortalama değeri (cm ³)
Cisim-1				
Cisim-2				
Cisim-3				
Cisim-4				

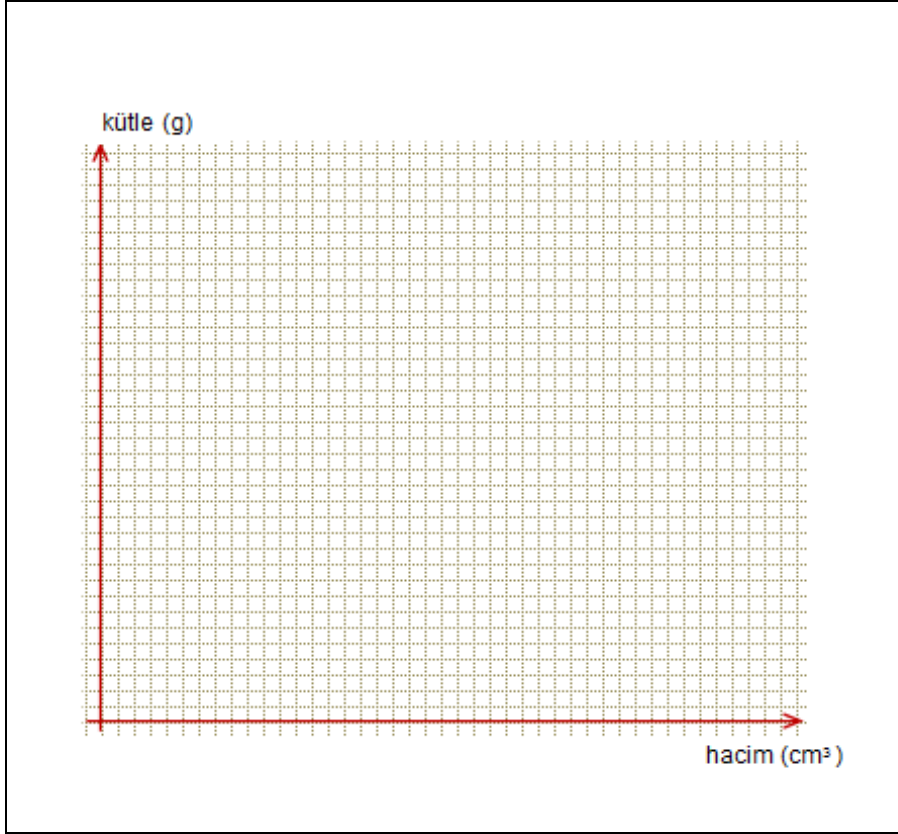
Veri Tablosu-26: 1., 2., 3. ve 4. cisimlerin kütle ölçümleri.

	Kütle (g) Eşit kollu terazi ile	Kütle (g) Dijital terazi ile	Kütlenin ortalama değeri (g)
Cisim-1			
Cisim-2			
Cisim-3			
Cisim-4			

Bu dört cismin aynı malzemeden yapıldığını biliyoruz. Her bir bağımsız ölçümden, ortalama hacim ve kütle veri seti alarak, ortalama **hacme** karşı **kütle** grafiği çiziniz. Kolaylık olsun diye, hacim değerlerini dikey eksene ve kütle değerlerini yatay eksene yerleştiriniz. Veri noktalarını bularak hata paylarını çiziniz. Grafik üzerindeki veri noktalarının dağılımı düzgün bir doğru çizilebileceğini gösterir. **En iyi** ve **en kötü** doğruları çiziniz. En iyi doğrunun eğimini m ve hata payını Δm bulunuz. Bu **eğimin birimi** nedir?. Eğim hangi fiziksel miktarı gösterir?.

$$m_b =$$

$$m_w =$$



Grafik-1: Cismin kütlesinin hacime göre değişimi.

$m \pm \Delta m$ değerini doğru anlamlı sayı ve birimiyle beraber yazınız;

$m \pm \Delta m =$

10.7. 1. Ayna (veya Mercek) Ölçümleri

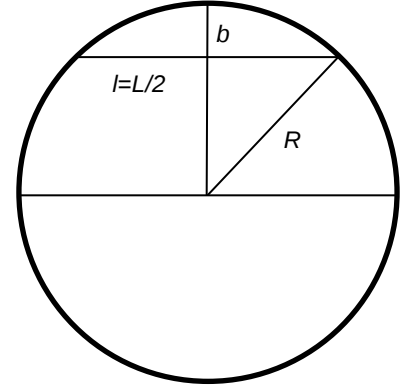
Veri Tablosu-27: 1. ayna için mm cinsinden boyut ölçümleri; kumpas yardımı ile uzunluk ölçümleri (uzunluk, L olarak ve uzunluğun yarısı, l olarak ifade edilir) ve sferometre yardımı ile yükseklik ölçümü.

	Kumpas ile		Sferometre ile			
Veri Sayısı	$L \pm \Delta L$	$l \pm \Delta l$	Bitiş Noktası 1 $h_1 \pm \Delta h_1$	Bitiş Noktası 2 $h_2 \pm \Delta h_2$	Bitiş Noktası 3 $h_3 \pm \Delta h_3$	Maksimum Yükseklik $H \pm \Delta H$
1						
2						
3						
Ortalama						

Tablo-27'deki verileri kullanarak, bitiş noktalarındaki yükseklik ölçümlerinin ortalamasını alınız ve daha sonra, **1.aynanın (veya merceğin)**, eğrilik yüksekliğini $b \pm \Delta b$ hesaplayınız ve hesaplamalarınızı detaylı olarak gösteriniz.

$b \pm \Delta b = \dots\dots\dots$ mm = $\dots\dots\dots$ cm.

b , l R arasındaki ilişkiyi kullanarak, **Ayna-1** için, eğrilik yarıçapını hesaplayınız.



DENEY NOTU: Küresel mercekler yapılarına göre **ince kenarlı** ve **kalin kenarlı** mercekler olmak üzere iki grupta incelenir. Benzer şekilde küresel aynalar, concave-konkav (**çukur**) ve convex-konveks (**tümsek**) olmak üzere iki grupta toplanır; bazen bunlar içbükey ve dışbükey ayna olarak da adlandırılır.

10.8. 2. Ayna (veya Mercek) Ölçümleri

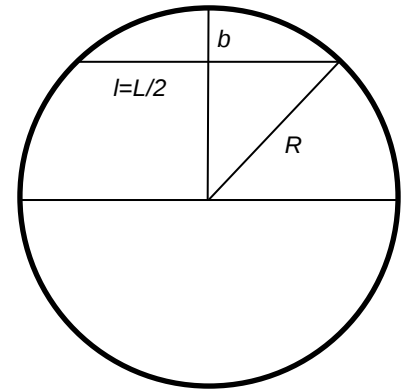
Veri Tablosu-28: 2.ayna için mm cinsinden boyut ölçümleri; kumpas yardımı ile uzunluk ölçümleri (uzunluk, L olarak ve uzunluğun yarısı, l olarak ifade edilir) ve sferometre yardımı ile yükseklik ölçümü.

	Kumpas ile		Sferometre ile			
Veri Sayısı	$L \pm \Delta L$	$l \pm \Delta l$	Bitiş Noktası 1 $h_1 \pm \Delta h_1$	Bitiş Noktası 2 $h_2 \pm \Delta h_2$	Bitiş Noktası 3 $h_3 \pm \Delta h_3$	Maksimum Yükseklik $H \pm \Delta H$
1						
2						
3						
Ortalama						

Tablo-28'deki verileri kullanarak, bitiş noktalarındaki yükseklik ölçümlerinin ortalamasını alınız ve daha sonra, 2.aynanın, eğrilik yüksekliğini $b \pm \Delta b$ hesaplayınız ve hesaplamalarınızı detaylı olarak gösteriniz.

$b \pm \Delta b = \dots\dots\dots$ mm = $\dots\dots\dots$ cm.

b , l ve R arasındaki ilişkiyi kullanarak, Ayna-2 için, eğrilik yarıçapını hesaplayınız.



10.9. 3. Ayna (veya Mercek) Ölçümleri

Veri Tablosu-29: 3.ayna için mm cinsinden boyut ölçümleri; kumpas yardımı ile uzunluk ölçümleri (uzunluk, L olarak ve uzunluğun yarısı, l olarak ifade edilir) ve sferometre yardımı ile yükseklik ölçümü.

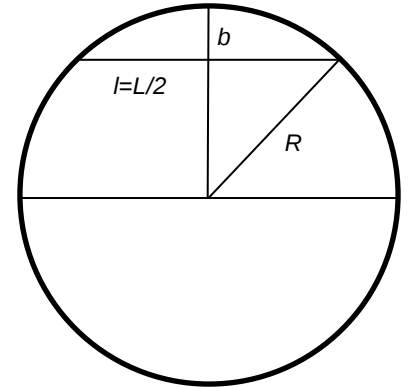
Veri Sayısı	Kumpas ile		Sferometre ile			
	$L \pm \Delta L$	$l \pm \Delta l$	Bitiş Noktası 1 $h_1 \pm \Delta h_1$	Bitiş Noktası 2 $h_2 \pm \Delta h_2$	Bitiş Noktası 3 $h_3 \pm \Delta h_3$	Maksimum Yükseklik $H \pm \Delta H$
1						
2						
3						
Ortalama						

Tablo-29'daki verileri kullanarak, bitiş noktalarındaki yükseklik ölçümlerinin ortalamasını alınız ve daha sonra, 3.aynanın, eğrilik yüksekliğini $b \pm \Delta b$ hesaplayınız ve hesaplamalarınızı detaylı olarak gösteriniz.

$b \pm \Delta b = \dots\dots\dots$ mm = $\dots\dots\dots$ cm.

Rentech

b , l ve R arasındaki ilişkiyi kullanarak, Ayna-3 için, eğrilik yarıçapını hesaplayınız.



10.10. 4. Ayna (veya Mercek) Ölçümleri

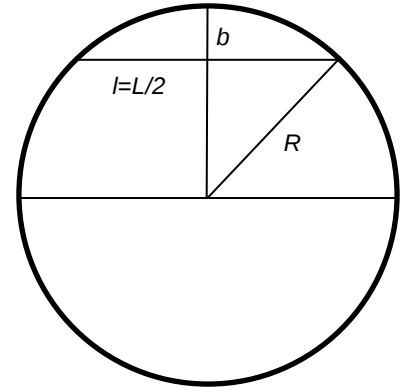
Veri Tablosu-30: 4.ayna için mm cinsinden boyut ölçümleri; kumpas yardımı ile uzunluk ölçümleri (uzunluk, L olarak ve uzunluğun yarısı, l olarak ifade edilir) ve sferometre yardımı ile yükseklik ölçümü.

	Kumpas ile		Sferometre ile			
Veri Sayısı	$L \pm \Delta L$	$l \pm \Delta l$	Bitiş Noktası 1 $h_1 \pm \Delta h_1$	Bitiş Noktası 2 $h_2 \pm \Delta h_2$	Bitiş Noktası 3 $h_3 \pm \Delta h_3$	Maksimum Yükseklik $H \pm \Delta H$
1						
2						
3						
Ortalama						

Tablo-30'daki verileri kullanarak, bitiş noktalarındaki yükseklik ölçümlerinin ortalamasını alınız ve daha sonra, 4.aynanın, eğrilik yüksekliğini $b \pm \Delta b$ hesaplayınız ve hesaplamalarınızı detaylı olarak gösteriniz.

$b \pm \Delta b = \dots\dots\dots$ mm = $\dots\dots\dots$ cm.

b , l ve R arasındaki ilişkiyi kullanarak, Ayna-4 için, eğrilik yarıçapını hesaplayınız.



10.11. 5. Ayna (veya Mercek) Ölçümleri

Veri Tablosu-31: 5.ayna için mm cinsinden boyut ölçümleri; kumpas yardımı ile uzunluk ölçümleri (uzunluk, L olarak ve uzunluğun yarısı, l olarak ifade edilir) ve sferometre yardımı ile yükseklik ölçümü.

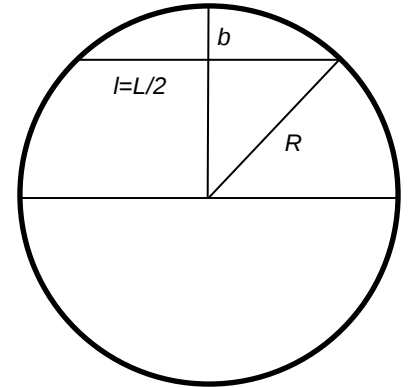
	Kumpas ile		Sferometre ile			
Veri Sayısı	$L \pm \Delta L$	$l \pm \Delta l$	Bitiş Noktası 1 $h_1 \pm \Delta h_1$	Bitiş Noktası 2 $h_2 \pm \Delta h_2$	Bitiş Noktası 3 $h_3 \pm \Delta h_3$	Maksimum Yükseklik $H \pm \Delta H$
1						
2						
3						
Ortalama						

Tablo-31'deki verileri kullanarak, bitiş noktalarındaki yükseklik ölçümlerinin ortalamasını alınız ve daha sonra, 5.aynanın, eğrilik yüksekliğini $b \pm \Delta b$ hesaplayınız ve hesaplamalarınızı detaylı olarak gösteriniz.

$b \pm \Delta b = \dots\dots\dots$ mm = $\dots\dots\dots$ cm.

Rentech

b , l ve R arasındaki ilişkiyi kullanarak, Ayna-5 için, eğrilik yarıçapını hesaplayınız.



10.12. 6. Ayna (veya Mercek) Ölçümleri

Veri Tablosu-32: 6.ayna için mm cinsinden boyut ölçümleri; kumpas yardımı ile uzunluk ölçümleri (uzunluk, L olarak ve uzunluğun yarısı, l olarak ifade edilir) ve sferometre yardımı ile yükseklik ölçümü.

Veri Sayısı	Kaliper ile		Sferometre ile			
	$L \pm \Delta L$	$l \pm \Delta l$	Bitiş Noktası 1 $h_1 \pm \Delta h_1$	Bitiş Noktası 2 $h_2 \pm \Delta h_2$	Bitiş Noktası 3 $h_3 \pm \Delta h_3$	Maksimum Yükseklik $H \pm \Delta H$
1						
2						
3						
Ortalama						

Tablo-32'deki verileri kullanarak, bitiş noktalarındaki yükseklik ölçümlerinin ortalamasını alınız ve daha sonra, 6.aynanın, eğrilik yüksekliğini $b \pm \Delta b$ hesaplayınız ve hesaplamalarınızı detaylı olarak gösteriniz.

$b \pm \Delta b = \dots\dots\dots$ mm = $\dots\dots\dots$ cm.

b , l ve R arasındaki ilişkiyi kullanarak, Ayna-6 için, eğrilik yarıçapını hesaplayınız.

