

Hacettepe Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Fizik Mühendisliği Bölümü
Fiz-117 Fizik Laboratuvarı

Şubat 2018

İÇİNDEKİLER

1. Ölçme.....	1
2. Hız ve İvme.....	9
3. İki Boyutlu Uzayda Çarpışma.....	14
4. Mercekler.....	21
5. Duran Dalgalar.....	27
6. Ohm Yasası.....	35
7. Wheatstone Köprüsü.....	40
8. Manyetik Alan.....	45

ÖLÇME

Amaçlar

1. Uzunluk, kütle, hacim ve yoğunluk birimlerini öğrenmek.
2. Milimetrik cetvel, verniyeli kompas ve mikrometre ile uzunluk ölçmeyi öğrenmek.
3. Bir metalin yoğunluğunu ölçmek.
4. Hata hesabı yapmayı öğrenmek.

Araçlar

Milimetrik cetvel

Verniyeli kompas (0,1 mm veya 0,05 mm duyarlılık)

Mikrometre (0,01 mm duyarlılık)

Ölçekli kap (100 ml, 25 ml)

Elektronik terazi (10 mg duyarlılık)

Aynı metalden yapılmış 5 adet silindir

GİRİŞ

Fizik deneysel bir bilimdir. Fizikte deneyler genellikle bir niceliğin ölçümünü içerir ve ölçüm sonuçları çoğunlukla sayısal olarak ifade edilir. **Ölçme** bir fiziksel niceliği referans alınan bir **standart** büyüklükle karşılaştırma işlemi olarak tanımlanabilir. Bir fiziksel nicelik büyüklüğü (bir sayı) ve birimi ile ifade edilir.

Uluslararası sistemde (SI) uzunluk, kütle ve hacim birimleri, pratikte çok kullanılan bir hacim birimi ve çevirme bağıntıları Tablo-1’de verilmiştir. Bu birimler fizikte çok sık kullanılır.

Tablo-1. Uzunluk, kütle ve hacim birimleri ve çevirme bağıntıları.

Nicelik	Birim adı	Sembol	Çevirme bağıntıları
Uzunluk	metre	m	1 m = 100 cm = 1000 mm
	santimetre	cm	1 cm = 0,01 m = 10 mm
	milimetre	mm	1 mm = 0,1 cm = 0,001 m
Kütle	kilogram	kg	1 kg = 1000 g
	gram	g	1 g = 0,001 kg
Hacim	metreküp	m ³	1 m ³ = 1x10 ⁶ cm ³
	santimetreküp	cm ³	1 cm ³ = 1x10 ⁻⁶ m ³
	litre	l	1 l = 1000 ml
	mililitre	ml	1 ml = 1 cm ³ = 0,001 l

Bu deneyde kullanılan uzunluk ölçme aletleri ve bunlarla nasıl ölçüm yapıldığı aşağıda kısaca anlatılmıştır.

Milimetrik cetvel

Milimetrik cetvel uzunluk ölçmek için kullanılan en basit ölçektir. Milimetrik cetvel santimetre (cm) ve onun onda biri olan milimetre (mm) olarak bölmelendirilmiştir (Şekil-1). Milimetrik cetvelde sadece bir ölçek olduğundan, insan gözü en küçük aralığın yarısını kestirebilir. Yani, milimetrik cetvelle 0,5 mm duyarlılıkla ölçüm yapılabilir.

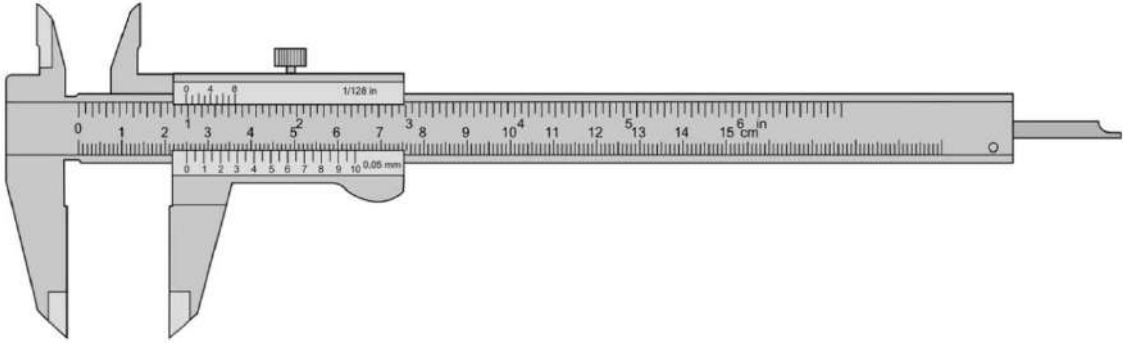
Örnek olarak, bir çubuğun boyunu milimetrik cetvelle ölçelim. Bunun için çubuğun bir ucu cetvelin referans çizgisi olan sıfır (0)'a çakıştırılır. Çubuğun diğer ucu milimetrik cetvel üzerinde 47 mm ile 48 mm arasında bir yerde olsun. Çubuğun diğer ucu 47 mm'ye daha yakınsa, çubuğun boyu 47 mm olarak ölçülür. Ancak, çubuğun diğer ucu 47 mm ve 48 mm arasında ortaya yakınsa, çubuğun boyu 47,5 mm (veya 4,75 cm) olarak yazılabilir. Bu sayıdaki son basamak kesin olmasa da anlamlıdır ve yazılmalıdır.



Şekil-1. Milimetrik cetvel.

Verniyeli kompas

Verniyeli kompas uzunluk ölçmek için kullanılan ve milimetrik cetvelden (en az 10 kere) daha duyarlı olan bir ölçme aletidir (Şekil-2). Verniyeli kompasda iki tane ölçek vardır. Bu ölçeklerden biri (**ana ölçek**) bir milimetrik cetveldir ve kompasın gövdesi üzerinde bulunur. **Verniye** adı verilen ikinci ölçek ise kompasın hareketli çenesi üzerindedir. Verniye (ana ölçeğin en küçük aralığı olan) milimetrenin kesirlerini gösterir. Verniye ölçeğinde 10 bölme varsa her bölmenin uzunluğu (ve kompasın duyarlılığı) 0,1mm'dir; verniye ölçeğinde 20 bölme varsa her bölmenin uzunluğu (ve kompasın duyarlılığı) 0,05 mm'dir.



Şekil-2. Duyarlılığı 0,05 mm olan verniyeli kompas.

Bu deneyde duyarlılığı 0,1 mm veya 0,05 mm olan verniyeli kompasla ölçme yapılacaktır. Şekil-2'de duyarlılığı 0,05 mm olan bir verniyeli kompasın fotoğrafı verilmiştir. Yukarıda tarif edilen milimetrik cetvel ve verniye kompasın alt tarafındadır. Kompasın üst tarafında bulunan cetvel ve verniye ise (İngiliz sisteminde uzunluk birimi olan) **inch** ve onun kesirleri cinsinden bölmelendirilmiştir. Bu kısım deneyde kullanılmayacaktır.

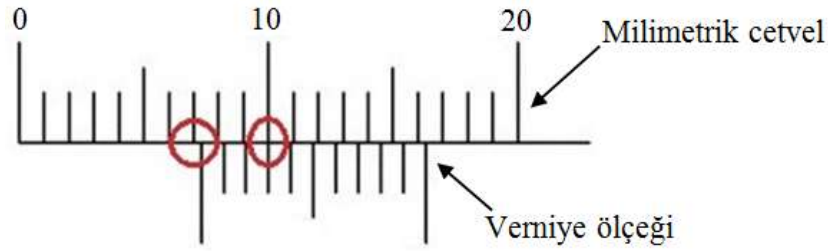
Verniyeli kompasla uzunluk ölçmek için kompasın cetveli sağ el avucuna alınır ve kompas yatay tutulur. Hareketli çenenin üst tarafındaki sabitleme vidası sol elle gevşetilir. Kompası tutan sağ elin baş parmağı ile hareketli çenenin tırtıllı çıkıntısına bastırarak, bu çene milimetrik cetvel üzerinde sağa/sola kaydırılır. Uzunluğu ölçülecek cisim sol elle kompasın çeneleri arasına yerleştirilir ve sıkıştırılır. Bu işlemi yaparken, cismin çenelerin üst kısmında bulunan çentikler arasındaki boşluğa girmemesine dikkat edilmelidir.

Kompasın çeneleri arasında herhangi bir şey yokken çeneler tamamen kapatıldığında, milimetrik cetvelin (ana ölçek) sıfırı ile verniyenin ilk çizgisi (verniye ölçeğinin sıfırı) çakışır. Deneye başlamadan önce bu durumun kontrol edilmesi şarttır. Gerekirse, kompasın çeneleri temizlenir.

Bir örnek olmak üzere, duyarlılığı 0,1 mm olan verniyeli kompasla bir metal silindirin boyunu ölçelim. Silindir yukarıda açıklandığı gibi verniyeli kompasın çeneleri arasına sıkıştırılır. Ölçülen uzunluk, ilk verniye çizgisinin ana ölçek üzerinde gösterdiği yer ile belirlenir. Şekil-3'te verilen örnekte verniyenin ilk çizgisi ana ölçek üzerinde 7 mm ile 8 mm arasında olan bir uzunluğu göstermektedir. Ölçülen uzunluğun 7 mm'den ne kadar büyük olduğunu belirlemek için, verniye çizgilerinden hangisinin ana ölçekteki milimetre çizgilerinden biriyle en iyi çakıştığı (karşılık geldiği) saptanır. "En iyi çakışan" bu verniye çizgisi ile verniye ölçeğinin sıfırı arasında kalan verniye bölmeleri sayılır. Bu bölmelerin sayısı ile verniye ölçeğinin en küçük aralığı (bu örnekte 0,1 mm) çarpılır ve çıkan sayı 7 mm ile toplanır. Şekil-3'te dördüncü verniye çizgisi ana ölçeğin milimetre çizgilerinden biri ile çakışmıştır. Bu çizgi ile verniyenin sıfır çizgisi arasında üç verniye bölmesi vardır. Böylece, aranan kesirsel uzunluk (3 verniye bölmesi) x (0,1 mm) = 0,3 mm bulunur. Sonuç olarak, silindirin boyu 7,0 mm + 0,3 mm = 7,3 mm olarak ölçülür.

Duyarlılığı 0,05 mm olan verniyeli kompasla uzunluk ölçme işlemi benzer şekilde yapılır ve ölçülen uzunluk nispeten daha kolay okunur. Çünkü verniye ölçeği üzerinde milimetrenin tam kesirleri (1, 2, 3, ..., 10 olarak) yazılıdır (Şekil-2).

Verniyeli kompasın üst tarafında **dış çeneler** vardır. Ayrıca, kompasın çeneleri açılınca, milimetrik cetvelin diğer ucundan bir çubuk çıkar. Bu çubuğa **kılıç** denir. Örneğin, bir katı cisme delinen deliğin iç çapını ve derinliğini ölçmek için, sırasıyla, dış çeneler ve kılıç kullanılır.



Şekil-3. Duyarlılığı 0,1 mm olan verniyeli kompasla uzunluk ölçmek (şematik çizim).

Bu örnekte çeneler arasına sıkıştırılan cismin uzunluğu 7,3 mm'dir.

Mikrometre

Küçük cisimlerin ebatlarını ölçmek için verniyeli kompastan daha duyarlı bir alet olan **mikrometre** kullanılır. Bu deneyde, 0-25 mm aralığındaki uzunlukları 0,01 mm duyarlılıkla ölçen bir mikrometre (Şekil-4) kullanılacaktır. 25 mm'den büyük olan uzunlukları aynı duyarlılıkla ölçen mikrometre de vardır.

Deneyde kullanılan mikrometrenin **sıfır ayarı** önceden yapılmıştır. Buna rağmen, mikrometre ile ölçme yapmadan önce, mikrometrenin çeneleri arasında bir cisim yokken, çeneleri tamamen kapatılarak mikrometrenin sıfır ayarı kontrol edilmelidir. Sıfır ayarı iyi olan bir mikrometrede, çeneler tamamen kapalıyken, ana ölçeğin sıfırı ile dairesel ölçeğin sıfırı çakışmış olmalıdır. Aksi halde, mikrometrenin sıfır ayarının yeniden yapılması gerekir.

Uyarı-1: Mikrometrenin çeneleri çok sıkı kapatılırsa, mikrometrenin ayarı bozulabilir. Bu nedenle, mikrometrenin çenelerini kapatmak (veya çeneler arasına bir cisim sıkıştırmak) için daima mikrometrenin sağ ucundaki küçük tırtıllı sap kullanılır. Bu küçük tırtıllı sap ileriye doğru döndürülünce, hareketli çene ilerler ve çeneler tamamen kapanınca, tırtıllı sap "tır-tır" sesi çıkararak boşa dönmeye (kaymaya) başlar.

Mikrometrenin çenelerini açmak için büyük çaplı tırtıllı sap (tambur) sağ elle size doğru döndürülür.



Şekil-4. Tipik bir mikrometre (0-25 mm aralığındaki uzunlukları 0,01 mm duyarlıkla ölçer).

Mikrometrede üç tane ölçek vardır (Şekil-4 ve Şekil-5). Mikrometrenin sabit silindirik gövdesi üzerinde bir yatay **referans çizgisi** vardır. Bu referans çizgisinin üst tarafındaki milimetrik cetvele **ana ölçek** denir. Bu ana ölçek milimetre olarak bölmelendirilmiştir ve üzerinde (her 5 mm’de) 0, 5, 10, 15, 20 ve 25 sayıları yazılıdır. Referans çizgisinin alt tarafında bulunan **ikinci ölçek** de milimetre olarak bölmelendirilmiştir; ancak, ikinci ölçekteki çizgiler ana ölçekteki bölmelerin tam ortasını gösterir. Bu ikinci ölçek sayesinde, ana ölçekteki her milimetrenin tam yarısı belirlenir. **Üçüncü ölçek** ise mikrometrenin dönen parçası (tambur) üzerinde bulunan ve 50 bölmeye ayrılmış olan **dairesel ölçektir**. Böylece, ana ölçekteki her milimetrenin yarısı 50 bölmeye ayrılmış olur. Tambur döndürülünce, dairesel ölçek ve hareketli çene birlikte (ve aynı miktarda) yerdeğiştirirler. Hareketli çenenin 1,00 mm ilerlemesi için dairesel ölçeğin iki tam dönü (tur) yapması gerekmektedir. Yani, dairesel ölçek üzerindeki her bölmenin uzunluğu 0,01 mm’dir.

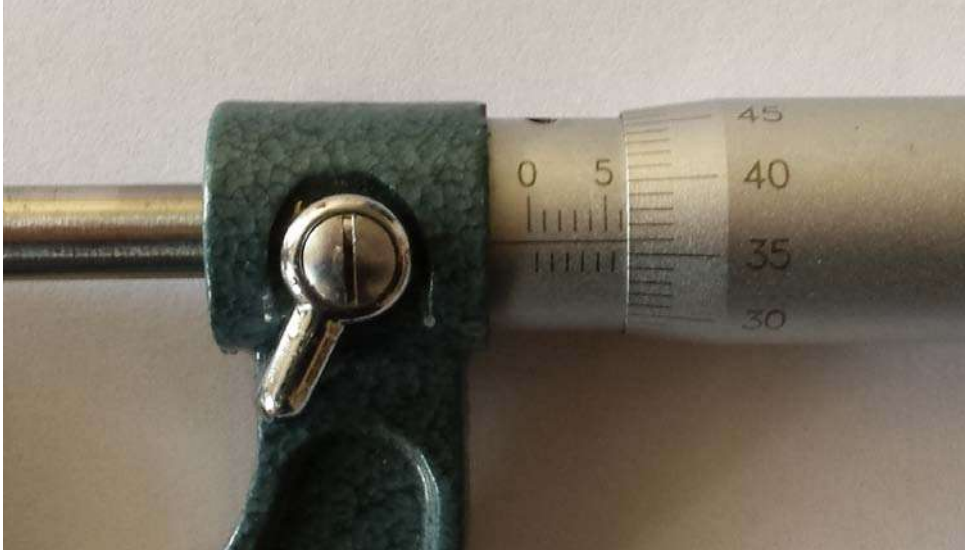
Mikrometre ile uzunluk ölçmeyi bir örnek üzerinde açıklayalım. Bir metal silindirin çapını (veya boyunu) mikrometreyle ölçmek için, mikrometre U-şeklindeki kısmından sol elle tutulur ve sağ elle tambur döndürülerek çeneler yeteri kadar açılır. Metal silindir mikrometrenin çeneleri arasına yerleştirilir ve küçük tırtıllı sap boşa dönmeye başlayıncaya kadar sıkıştırılır. Sonra, mikrometrenin **sabitleme mandalı** sola çevrilerek hareketli çene sabitlenir.

Silindirin ölçülen çapı (veya boyu) şu şekilde belirlenir. İlk önce, dönen ölçeğin ön ucunun ana ölçek üzerinde kaç tam milimetre gösterdiğine bakılır. [Şekil-5(a)’da verilen örnekte ana ölçekten 6 mm okunur, ancak ölçülen uzunluk 6 mm’den biraz büyüktür]. Sonra, ikinci ölçeğe bakılır ve ana ölçekteki 6 mm’den sonraki ilk yarım milimetre çizgisinin görülüp görülmediği tespit edilir. [Şekil-5(a)’da 6 mm’den sonraki ilk yarım milimetre çizgisi görülmemektedir, çünkü dönen ölçeğin altındadır]. Son olarak, dönen ölçek üzerinde hangi sayının yatay referans çizgisinin tam üzerinde olduğu belirlenir. [Şekil-5(a)’da dönen ölçekten okunan sayı 36’dır]. Böylece, silindirin çapı (veya boyu) $[6,0 \text{ mm} + 0,0 \text{ mm} + 0,36 \text{ mm} = 6,36 \text{ mm}]$ olarak ölçülür. Buradaki ilk sayı (6,0 mm) ana ölçekten, ikinci sayı (0,0 mm) ikinci ölçekten ve üçüncü sayı (0,36 mm) dönen ölçekten okunmuştur.

Şekil-5(b)’de verilen örnekte ana ölçekten 12,0 mm, ikinci ölçekten 0,5 mm ve dönen ölçekten 0,32 mm okunmaktadır. Böylece ölçülen uzunluk $12,0 \text{ mm} + 0,5 \text{ mm} + 0,32 \text{ mm} = 12,82 \text{ mm}$ ’dir.

Uyarı-2: Eğer dikkat edilmezse, duyarlılığı 0,01 mm olan mikrometreyle ölçüm yaparken yarım milimetre (0,5 mm) hata yapmak olasıdır.

Mikrometreyle uzunluk ölçerken, diyelim ki, yatay referans çizgisi dönen ölçek üzerindeki ardışık iki çizginin yaklaşık ortasına geldi. Bu durumda, ölçülen uzunluk virgülden sonraki üçüncü haneye 5 yazılarak (örneğin 12,825 mm olarak) verilemez. Çünkü, insan gözü çok duyarlı olmasına rağmen 0,005 mm'lik uzunluk farkını ayırtedemez.



Sekil-5(a). Mikrometre ile uzunluk ölçmek. Bu örnekte çeneler arasına sıkıştırılan cismin uzunluğu 6,36 mm'dir.



Sekil-5(b). Mikrometre ile uzunluk ölçmek. Bu örnekte çeneler arasına sıkıştırılan cismin uzunluğu 12,82 mm'dir.

DENEY

Bu deneyde aynı metalden yapılmış, ancak ebatları (çap ve boyları) ve kütleleri farklı olan beş metal silindir kullanılacaktır. Bu silindirler A, B, C, D ve E olarak işaretlenmiştir.

1. Her silindirin kütlesini (m) elektronik teraziyle ölçünüz ve sonuçları Tablo-2'ye yazınız.

- Her silindirin boyunu (L) ve çapını (D) sırasıyla milimetrik cetvel, verniyeli kompas ve mikrometre ile ölçünüz. lüm sonuçlarını (deneysel veriler) doğru sayıdaki anlamlı basamakla Tablo-2'ye yazınız.
- Bir katı cismin hacmini doğrudan ölçmek için **lekli kap** kullanılır. 100 ml'lik ölçekli kabı yaklaşık yarısına kadar musluk suyu ile doldurunuz ve su seviyesini kaydediniz. Metal silindirleri büyükten küçüğe doğru sıralayınız ve en büyük silindiri, su sıratmamaya zen göstererek, ölçekli kabın içine koyunuz (metal silindirin suya yavaşça kayarak girmesi için ölçekli kabı biraz eğik tutunuz). Metal silindirin hacmi yerdeğiştirdiği suyun hacmine eşit olduğundan, yeni su seviyesinden önceki su seviyesini çıkararak silindirin hacmini elde ediniz. Diğer silindirleri sırasıyla ölçekli kap içine koyarak, her silindirin hacmini aynı yöntemle ölçünüz. Verileri Tablo-2'ye yazınız. Küçük silindirlerin hacmini ölçmek için 25 ml'lik ölçekli kabı kullanınız.

Veriler

Silindirlerin yapıldığı metal:

Tablo-2.

Silindir	Kütlev m (g)	Cetvel		Verniyeli kompas		Mikrometre		lekli kap Hacim V (ml)
		Boy L (mm)	ap D (mm)	Boy L (mm)	ap D (mm)	Boy L (mm)	ap D (mm)	
A								
B								
C								
D								
E								

Verilerin özölmenmesi

Boy (yüksekliliği) L ve apı D olan bir dik silindirin hacmi (V), silindirin taban alanı ile yüksekliğinin çarpımına eşitir:

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

Burada $\pi = 3,14$. Milimetrik cetvel, verniyeli kompas ve mikrometre ile lülen L ve D değerlerini sırasıyla Eş. (1)'de yerine koyarak her silindirin hacmini hesaplayınız. Elde edilen V değerlerini (cm^3 olarak) doğru sayıdaki anlamlı basamakla Tablo-3'ye yazınız. Her silindir için hesaplanan (yani, dolaylı olarak ölçülen) hacim değerlerini ölçekli kapla doğrudan ölçülen değerlerle karşılaştırınız.

Kütlesi hacmine düzgün (homojen) dağılmış bir katı cismin yoğunluğu (ρ), cismin kütlesinin hacmine oranıdır:

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

Uluslararası birim sisteminde yoğunluk birimi kg/m^3 dır ($1 \text{ kg/m}^3 = 0,001 \text{ g/cm}^3$). Eşitlik (1) ve (2) birleştirilerek, yoğunluk için

$$\rho = \frac{4m}{\pi D^2 L} \quad (3)$$

bağıntısı elde edilir.

Tablo-2 ve Tablo-3'deki kütle ve hacim değerlerini Eş. (2)'de yerine koyarak, her silindirin yoğunluğunu, her ölçüm aleti (milimetrik cetvel, verniyeli kompas, mikrometre, ölçekli kap)

için ayrı ayrı hesaplayınız. Elde edilen yoğunluk değerlerini doğru sayıdaki anlamlı basamakla Tablo-3'e yazınız.

Tablo-3.

	Cetvel		Verniyeli kompas		Mikrometre		Ölçekli kap
Silindir	V (cm ³)	ρ (g/cm ³)	V (cm ³)	ρ (g/cm ³)	V (cm ³)	ρ (g/cm ³)	ρ (g/cm ³)
A							
B							
C							
D							
E							
Ortalama yoğunluk							

Deneyde kullanılan silindirlerin yapıldığı metalin yoğunluğu için ölçülen **en iyi** değeri vermek amacıyla aşağıdaki iki yöntemi kullanınız.

1. yöntem: Beş silindir için her ölçüm aletiyle yapılan ölçümlerden elde edilen yoğunluk değerlerinin aritmetik ortalamasını (ρ_{ort}) hesaplayınız ve sonuçları Tablo-3'e yazınız.

2. yöntem: Milimetrik grafik kağıdına, yatay ekseninde hacim (V) ve dikey ekseninde kütle (m) olacak şekilde bir grafik [yani, $m = f(V)$ grafiğini] çiziniz. Bu grafiği her ölçüm aleti için ayrı ayrı çiziniz. Eşitlik (2)'ye göre $m = f(V)$ grafiği orijinden geçen bir doğrudur. Deney noktalarına en iyi uyan doğruyu çiziniz. Bu doğrunun eğimi silindirlerin yapıldığı metalin yoğunluğuna (ρ) eşittir. Eğim hesaplamak için seçilen iki nokta: deney aralığı içinde, en iyi doğru üzerinde ve birbirinden yeterince uzakta olmalıdır, ancak deney noktalarıyla çakışmamalıdır.

Her ölçüm aleti için, bu iki yöntemle elde edilen ortalama yoğunluk değerlerini karşılaştırınız ve tartışınız.

Bu deneyde ölçülen ortalama yoğunluk değerini, aynı metal için literatürde verilen değerle karşılaştırınız.

Hata hesabı

Bu deneyde silindirlerin yapıldığı metalin yoğunluğu dolaylı olarak ölçüldü. Bunun için her silindirin kütlesi teraziyle, boyu ve çapı ise çeşitli uzunluk ölçüm aletleri (milimetrik cetvel, verniyeli kompas, mikrometre) kullanılarak ölçüldü. Her bireysel ölçüm kaçınılmaz olarak bir miktar belirsizlik (hata) içerir ve bu hatalar sonuca (burada, metalin yoğunluğu) yansır.

Yoğunluğu elde etmek için yapılan bireysel ölçümler birbirinden bağımsız ise (yani, silindirin bir niceliği ölçülürken diğer nicelikleri değişmiyorsa) ve ölçümlerde sistematik hata yoksa, yoğunluktaki belirsizliği (hatayı) hesaplamak için aşağıdaki algoritma kullanılabilir.

1. adım: Eşitlik (3)'ün her iki tarafının doğal logaritması alınır:

$$\ln \rho = \ln 4 + \ln m - \ln \pi - 2 \ln D - \ln L \quad (4)$$

2. adım: Eşitlik (4)'ün her iki tarafının diferansiyeli hesaplanır. Bir sabitin diferansiyel sıfır olduğundan,

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{\Delta m}{m} - 2 \frac{\Delta D}{D} - \frac{\Delta L}{L} \quad (5)$$

3. adım: Eşitlik (5)'in her iki tarafının karesi alınır ve çapraz terimler ihmal edilir. Elde edilen eşitliğin her iki tarafının karekökü alınır. Sonuç olarak, yoğunluktaki hata ($\Delta \rho$) için aşağıdaki bağıntı elde edilir:

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + 4\left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2} \quad (6)$$

Silindirin hacmi ölçekli kapla doğrudan ölçüldüğünde, yoğunluktaki hatayı hesaplamak için, Eş. (2)'den hareketle,

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V}{V}\right)^2} \quad (7)$$

bağıntısı bulunur. Eşitlik (6) ve (7)'de Δm , ΔD , ΔL ve ΔV sırasıyla silindirin kütlesini, çapını, boyunu ve hacmini doğrudan ölçerken oluşan hatalar veya belirsizliklerdir. Bu deneyde, ilk yaklaşım olarak, Δm , ΔD , ΔL ve ΔV nicelikleri için kütle, uzunluk ve hacim ölçmek için kullanılan ölçüm aletlerinin en küçük aralıkları alınabilir:

$\Delta m = 0,01$ g (10 mg duyarlıklı elektronik terazi için)

$\Delta D = \Delta L = 1$ mm (milimetrik cetvel için)

$\Delta D = \Delta L = 0,1$ mm (0,1 mm duyarlıklı verniyeli kompas için)

$\Delta D = \Delta L = 0,05$ mm (0,05 mm duyarlıklı verniyeli kompas için)

$\Delta D = \Delta L = 0,01$ mm (0,01 mm duyarlıklı mikrometre için)

$\Delta V = 1$ ml = 1 cm³ (100 ml'lik ölçekli kap için)

$\Delta V = 0,5$ ml = $0,5$ cm³ (25 ml'lik ölçekli kap için).

Deneyde kullanılan ve hacmi, ölçülen hacim aralığının yaklaşık ortasında olan, bir silindir için deneysel verileri ve ortalama yoğunlukları Eş. (6) ve/veya Eş. (7) yerine koyarak, her ölçüm aleti için yoğunluktaki hatayı ($\Delta \rho$) hesaplayınız.

Metalin yoğunluğu için deneyde elde edilen sonuçları $\rho_{\text{ort}} \pm \Delta \rho$ formatında Tablo-4'e yazınız ve tartışınız.

Tablo-4.

	Cetvel	Verniyeli kompas	Mikrometre	Ölçekli kap
Yoğunluk (g/cm ³)	\pm	\pm	\pm	\pm

Kaynaklar

1. D. Halliday, R. Resnick and J. Walker, Fundamentals of Physics (4th edition), John Wiley & Sons Inc., 2004, s. 2-9, s. 444-445.
2. Hugh D. Young ve Roger A. Freedman, Sears ve Zemansky'nin Üniversite Fiziği, Cilt I (çeviri), Pearson Education, 2009, s. 4-10, s. 122, s. 456-457.
3. R. Sungur, Temel Fizik Deneyleri Laboratuvar Kitabı, Hacettepe Üniversitesi Yayınları, 2009, s. 7-14.

HIZ VE İVME

Amaçlar

1. Sürtünmesiz eğik (ve yatay) düzlemde hareket eden bir cismin hızını ve ivmesini ölçmek.
2. Yer çekimi ivmesini ölçmek.

Araçlar

Dört kanallı zaman ölçer
Optik algıçlar (4 adet)
Ray, ray arabası
Makara, ağırlıklar, ip

GİRİŞ

Sabit hızlı hareket

Sabit bir hızla (v) x -ekseni boyunca hareket eden bir noktasal cismin t süresinde aldığı yol (yerdeğiştirme)

$$x = vt \quad (1)$$

bağıntısıyla verilir. Bu bağıntıya göre, cismin yerdeğiştirmesi zamanla doğrusal olarak artar ve yerdeğiştirme-zaman grafiği (yani, $x = f(t)$ grafiği) bir doğrudur (Şekil-1). Bu doğrunun eğimi cismin hızına eşittir:

$$v = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (2)$$

Burada Δx cismin Δt süresinde yaptığı yerdeğiştirmedir.

Sabit ivmeli hareket

Eğer cismin hızı zamanla değişirse cisim ivmeli hareket yapar. Hızın zamanla değişimine **ivme** denir. Eğer cisim sabit bir çizgisel ivmeyle (a) x -ekseni boyunca hareket ediyorsa, cismin t anındaki hızı

$$v = v_0 + at \quad (3)$$

eşitliği ile verilir. Burada v_0 cismin $t=0$ anındaki hızıdır (ilk hız, başlangıç hızı). Bu durumda, cismin hareketin başlangıcından t anına kadar yaptığı yerdeğiştirme

$$x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad (4)$$

olur. Eşitlik (4)'e göre, sabit ivmeli hareketin yerdeğiştirme-zaman grafiği bir parabolüdür (Şekil-2). Hareketin herhangi iki anında (t_2 ve t_1) cismin hızları (v_2 ve v_1) ve bu hızların ölçüldüğü noktalar arasındaki yerdeğiştirme (x) biliniyorsa, çizgisel ivmenin büyüklüğü

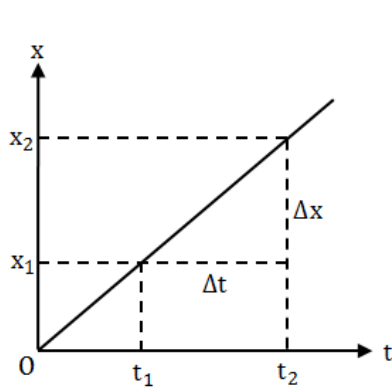
$$a = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2x} \quad (5)$$

bağıntısından bulunur. Bu bağıntıya **zamansız hız formülü** denir.

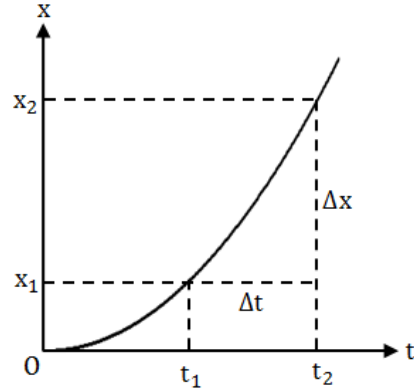
Yerçekimi ivmesi

Yeryüzü yakınında belirli bir yükseklikten serbest bırakılan bir cisim sabit çizgisel ivmeyle yere doğru düşer. Bu ivmeye **yerçekimi ivmesi** denir ve büyüklüğü yaklaşık olarak $g = 9,80 \text{ m/s}^2 = 980 \text{ cm/s}^2$ dir. Yerçekimi ivmesi çok büyük olduğundan, serbest düşme hareketinin gözlenmesi ve dolayısıyla g 'nin doğrudan ölçülmesi oldukça zordur. Bu nedenle, sabit ivmeli hareketi gözlemek ve gereken ölçümleri kolaylaştırmak için, bazı özel mekanik düzeneklerin

kurulması gerekmektedir. Bu deneyde, yerçekimi ivmesini ölçmek için iki farklı deneysel düzenek kullanılacaktır.



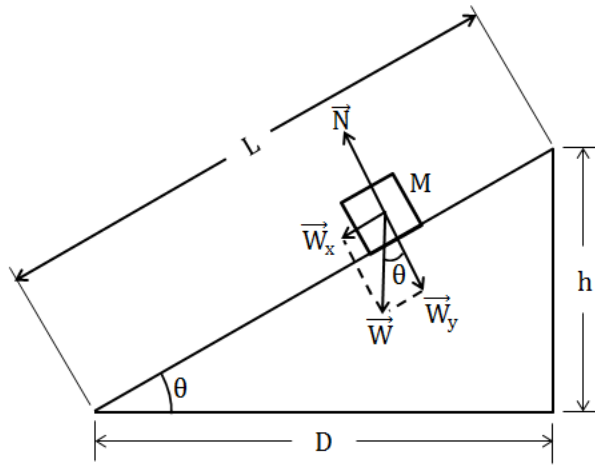
Şekil-1. Sabit hızla hareket eden bir cismin yerdeğiştirme-zaman grafiği.



Şekil-2. Sabit ivmeyle hareket eden bir cismin yerdeğiştirme-zaman grafiği.

1. Eğik düzlem

Kütlesi M olan bir cismin eğik düzlem üzerindeki hareketini inceleyelim (Şekil-3). Hava direnci ve cisimle eğik düzlemin yüzeyi arasındaki sürtünme ihmal edilirse (sürtünmesiz eğik düzlem), cisme sadece $\vec{W} = M\vec{g}$ yerçekimi kuvveti (ağırlık) ve eğik düzleme dik olan normal kuvvet (\vec{N}) etki eder. \vec{W} kuvvetinin eğik düzleme paralel bileşeni cismin hareketini sağlar. Ağırlık kuvvetinin eğik düzleme dik bileşeni ise \vec{N} kuvveti tarafından dengelenir.



Şekil-3. Sürtünmesiz eğik düzlem üzerinde hareket eden M kütleli cisme etki eden kuvvetler.

Ağırlık kuvvetinin eğik düzleme paralel bileşenin büyüklüğü

$$W_x = W \sin \theta = Mg \sin \theta. \quad (6)$$

Burada θ açısı eğik düzlemin yatayla yaptığı açıdır. Bu açiya **eğim açısı** denir. Newton'un ikinci yasası ($\vec{F} = M\vec{a}$) kullanılarak, eğik düzlem boyunca aşağıya doğru (\vec{W}_x kuvveti yönünde) kayan cismin ivmesinin büyüklüğü

$$a = g \sin \theta \quad (7)$$

olarak bulunur. Eğim açısı küçültülerek cismin ivmesi istenildiği kadar küçültülebilir. Eşitlik (7) sadece sürtünmesiz eğik düzlem için geçerlidir.

2. Makaralı yatay düzlem

Bu sistemde M kütleli cisim yatay düzlem üzerindedir ve (uzamayan, kütlesi ihmal edilen ve sürtünmesiz makara üzerinden geçen) bir iple başka bir m kütleli cisme bağlıdır (Şekil-4). Dolayısıyla, bu iki cismin çizgisel ivmelerinin büyüklükleri eşittir. Yatay düzlem sürtünmesiz ise ve hava direnci ihmal edilirse, M kütleli cisim hareket denklemi, Newton'un ikinci yasası gereğince,

$$T = Ma \quad (8)$$

olur. Burada \vec{T} ipteki gerilme kuvvetidir.

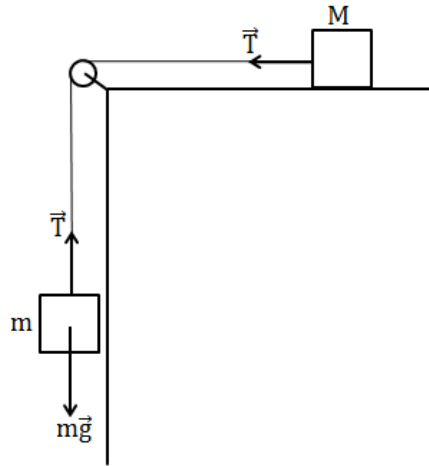
Kütlesi m olan cisme etki eden kuvvetler: yerçekimi kuvveti ($m\vec{g}$) ve ipteki gerilme kuvveti (\vec{T})'dir. Bu iki kuvvet zıt yönde olduklarından, Newton'un ikinci yasası gereğince, bu cismin hareket denklemi

$$mg - T = ma \quad (9)$$

olarak yazılır. Eşitlik (8) ve (9)'dan M ve m kütleli cisimlerin ortak ivmesinin büyüklüğü

$$a = \frac{m}{M+m} g \quad (10)$$

olarak bulunur. Cisimlerin ortak ivmesi deneysel olarak ölçülür ve Eş. (10)'dan yerçekimi ivmesinin büyüklüğü elde edilir.



Şekil-4. Sürtünmesiz yatay düzlemde makaralı düzenek.

DENEY

Bu deneyde tüm ölçümler sürtünmesiz kabul edilen bir eğik (veya yatay) düzlem üzerinde yapılacaktır. Sürtünmesiz düzlem özel olarak tasarlanmış bir **ray**dır, M kütleli cisim ise bu ray üzerinde serbestçe hareket edebilen dört tekerlekli küçük bir **araba**dır. Ray arabanın sadece bir doğrultuda (x-ekseni boyunca) hareket etmesini sağlar.

Ray üzerinde, zaman ölçümünde kullanılan, **optik algıçlar** ve **hareket başlatma anahtarı** bulunmaktadır. Bu deney sisteminde **zaman sayacı**, hareket başlatma anahtarı ve optik algıçlar yardımıyla, iki farklı modda ölçüm yapılabilmektedir:

1. mod: Arabanın her optik algıçtan geçiş süresi ölçülür.
2. mod: Araba başlangıç anahtarından ayrıldıktan sonra her optik algıca varıncaya kadar geçen süre ölçülür.

Bu deneyde M kütleli cismin (araba) hızının zamanla değişimi ölçülecektir. Bu nedenle, zaman sayacının 1. modu seçilir ve arabanın her optik algıçtan geçiş süresi (t) ölçülür. Bu süre ve arabanın uzunluğu (l) arabanın anlık hızının hesaplanmasında kullanılır.

Eğer cismin ivmesi yeterince küçükse ve yerdeğiştirmesi çok kısa bir zaman aralığında ölçülürse, bu kısa zaman aralığında cismin sabit hızla hareket ettiği varsayılır. Bu durumda, cismin anlık hızını hesaplamak için Eş. (2) kullanılır.

Kesim 1: Sürtünmesiz eğik düzlemde sabit ivmeli hareket

Aşağıdaki işlemleri sırasıyla yapınız.

- Arabanın boyunu (l) milimetrik cetvelle, kütlelerini (M) teraziyle ölçünüz.
- Rayı, ayaklarındaki **ayar vidaları** yardımıyla, deney masasına (yatay düzlem) paralel hale getiriniz.
- Rayın ayaklarından birinin altına kalınlığı (h) bilinen bir takoz koyarak, eğik düzlemi oluşturunuz (Şekil-3). Eğim açısını $\tan\theta = h/D$ (veya $\sin\theta = h/L$) bağıntısından hesaplayınız ve sonucu (θ_1 olarak) Tablo-1'e yazınız.
- Optik algıçları ray üzerinde belirli konumlara yerleştiriniz ve her birinin başlatma anahtarına olan uzaklığını (x) ölçünüz. Verileri Tablo-1'e yazınız.
- Zaman sayacında 1. modu seçiniz.
- Arabayı (M kütleli cisim) başlatma anahtarına yerleştiriniz ve başlatma anahtarına basınız. Araba ilk hızsız olarak serbest kalır (Eş. (5)'de $v_1 = 0$ olur). Zaman sayacı arabanın her optik algıçtan geçiş süresini (t) ölçer. Bu süreleri Tablo-1'e kaydediniz ve arabanın her optik algıçtan geçerken anlık hızını ($v_2 = l/t$) hesaplayınız. Elde edilen bu hız değerlerini de Tablo-1'e yazınız ve hızın karesini (v_2^2) hesaplayınız.
- Milimetrik grafik kağıdına, yatay ekseninde uzaklık (x) ve düşey ekseninde hızın karesi (v_2^2) olacak şekilde bir grafik [yani, $v_2^2 = f(x)$ grafiğini] çiziniz. Eşitlik (5)'e göre, bu grafik eğimi $2a$ olan bir doğrudur.
- Deney verilerine en iyi uyan doğruyu çiziniz ve bu doğrunun eğiminden arabanın ivmesini (a) bulunuz.
- Eşitlik (7)'den yerçekimi ivmesini (g) hesaplayınız.

Yukarıdaki deney ve işlemleri üç farklı eğim açısı (θ_1 , θ_2 ve θ_3) için tekrarlayınız. Elde edilen deneysel verileri ve sonuçları Tablo-1'e yazınız.

Farklı eğim açıları için ölçülen g değerlerini kullanarak, yerçekimi ivmesi için bir ortalama değer bulunuz.

Arabanın boyu $l = \dots$ cm Arabanın kütlesi $M = \dots$ g

Tablo-1.

Algıç No	$\theta_1 = \dots$ (derece)			$\theta_2 = \dots$ (derece)			$\theta_3 = \dots$ (derece)		
	x (cm)	t (s)	v_2 (cm/s)	x (cm)	t (s)	v_2 (cm/s)	x (cm)	t (s)	v_2 (cm/s)
1									
2									
3									
4									

Kesim-2. Sürtünmesiz yatay düzlemde (makaralı sistem) sabit ivmeli hareket

Aşağıdaki işlemleri sırasıyla yapınız.

- Rayı, ayaklarındaki ayar vidaları yardımıyla, deney masasına (yatay düzlem) paralel hale getiriniz.
- Şekil-4'deki deney düzeneğini kurunuz. Bu deney düzeneğinde ray **sürtünmesiz yatay düzlem**dir. Seçilen m kütlelerini Tablo-2'ye m_1 olarak yazınız.
- Optik algıçları ray üzerinde belirli konumlara yerleştiriniz ve her birinin başlatma anahtarına olan uzaklığını (x) ölçünüz. Verileri Tablo-2'ye yazınız.
- Zaman sayacında 1. modu seçiniz.
- Arabayı (M kütleli cisim) başlatma anahtarına yerleştiriniz ve başlatma anahtarına basınız. Araba ilk hızı olarak serbest kalır (Eş. (5)'de $v_1 = 0$ olur). Zaman sayacı arabanın her optik algıçtan geçiş süresini (t) ölçer. Bu süreleri Tablo-2'ye kaydediniz ve arabanın her optik algıçtan geçerken anlık hızını ($v_2 = l/t$) hesaplayınız. Elde edilen bu hız değerlerini de Tablo-2'ye yazınız ve hızın karesini (v_2^2) hesaplayınız.
- Milimetrik grafik kağıdına, yatay ekseninde uzaklık (x) ve düşey ekseninde hızın karesi (v_2^2) olacak şekilde bir grafik [yani, $v_2^2 = f(x)$ grafiğini] çiziniz. Eşitlik (5)'e göre, bu grafik eğimi $2a$ olan bir doğrudur.
- Deney verilerine en iyi uyan doğruyu çiziniz ve bu doğrunun eğiminden ortak ivmeyi (a) bulunuz.
- Eşitlik (10)'dan yerçekimi ivmesini (g) hesaplayınız.

Yukarıdaki deney ve işlemleri üç farklı m kütleleri (m_1 , m_2 ve m_3) için yapınız. Elde edilen deneysel verileri ve sonuçları Tablo-2'ye yazınız.

Farklı m kütleleri için ölçülen g değerlerini kullanarak, yerçekimi ivmesi için bir ortalama değer bulunuz. Sonucu tartışınız.

Bu deneydeki başlıca hata kaynaklarını kısaca açıklayınız.

Tablo-2.

Algıç No	$m_1 = \dots g$			$m_2 = \dots g$			$m_3 = \dots g$		
	x (cm)	t (s)	v_2 (cm/s)	x (cm)	t (s)	v_2 (cm/s)	x (cm)	t (s)	v_2 (cm/s)
1									
2									
3									
4									

Kaynaklar

1. D. Halliday, R. Resnick and J. Walker, Fundamentals of Physics (4th edition), John Wiley & Sons Inc., 2004, s. 16-31, s. 105-115.
2. Hugh D. Young ve Roger A. Freedman, Sears ve Zemansky'nin Üniversite Fiziği, Cilt I (çeviri), Pearson Education, 2009, s. 36-56, s. 140-144.

İKİ BOYUTLU UZAYDA ESNEK ÇARPIŞMA

Amaçlar

İki bilyanın esnek çarpışmasında momentum korunumu ilkesini ve kinetik enerjinin korunumu ilkesini incelenmek.

Araçlar

Eşit kütleli iki çelik bilya
Bir cam bilya
Milimetrik cetvel
Gönye

Çarpışma düzeneği
Tabaka kağıt
Karbon kağıdı
Açıölçer

GİRİŞ

Kütlesi m olan bir parçacık (cisim) \vec{v} hızıyla hareket ediyorsa, bu parçacığın

$$\vec{p} = m\vec{v} \quad (1)$$

olarak tanımlanan bir çizgisel momentumu (\vec{p}) vardır. Momentum vektörel bir niceliktir, yönü hızın yönü ile aynıdır. Uluslararası birim sisteminde (SI) momentumun birimi kg.m/s 'dir.

Bir cisme etkiyen net kuvvet \vec{F} ise, Newton'un ikinci yasası

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad (2)$$

olarak yazılabilir. Yani, cisme etki eden net kuvvet o cismin çizgisel momentumunun zamanla değişime eşittir. Cisim üzerine etkiyen net kuvvet sıfır ($\vec{F} = 0$) ise $\frac{d\vec{p}}{dt} = 0$ olur ve cismin çizgisel momentumu değişmez (momentum korunur).

Kütleleri sabit olan iki cismin çarpışması

İki cismin birbirine kısa süreli kuvvetler uygulayarak kısa bir süre içinde temasta olmalarına **çarpışma** denir. Çarpışma anında iki cismin birbirlerine uyguladığı kuvvetler iç kuvvetlerdir. Newton'un üçüncü yasası gereğince bu iç kuvvetlerin vektörel toplamı sıfırdır.

Eğer iki cisimden (örneğin, iki küçük bilya) oluşan bir sisteme net dış kuvvet etki etmezse ($\vec{F} = 0$), bu iki cismin çarpışmasında toplam momentum korunur. Kütleleri m_1 ve m_2 olan cisimlerin çarpışmadan önceki hızları \vec{v}_1 ve \vec{v}_2 , çarpışmadan sonraki hızları \vec{u}_1 ve \vec{u}_2 olsun. Bu sistem için toplam momentumun korunumu

$$\vec{p}_{\text{önce}} = \vec{p}_{\text{sonra}} \quad (3)$$

veya

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 \quad (4)$$

vektörel eşitliği ile ifade edilir.

İki cismin çarpışması bir düzlemde (örneğin, xy-düzleminde) gerçekleşsin. Bu durumda, Eş. (4)'deki hız vektörlerini bileşenlerine ayırarak, toplam momentumun korunumu aşağıdaki iki skaler eşitlik olarak yazılabilir:

$$m_1 v_{1x} + m_2 v_{2x} = m_1 u_{1x} + m_2 u_{2x} \quad (5)$$

$$m_1 v_{1y} + m_2 v_{2y} = m_1 u_{1y} + m_2 u_{2y} . \quad (6)$$

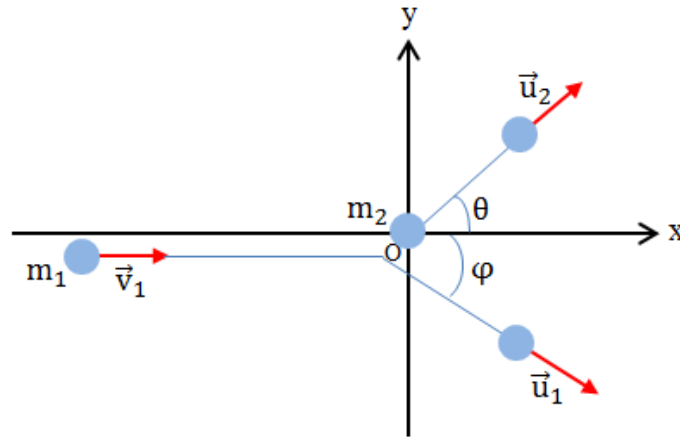
Çarpışan iki cisim çarpışmadan önceki hareket doğrultularını çarpışmadan sonra da koruyorsa buna **merkezi çarpışma** denir. Genellikle, çarpışan cisimler çarpışmadan sonra hareket doğrultularını değiştirirler. Bu tür çarpışmaya **merkezi olmayan çarpışma** denir.

Bu deneyde iki cismin merkezi olmayan çarpışması incelenecektir. Başlangıçta durgun ($\vec{v}_2=0$) olan m_2 kütleli cisim ile ilk hızı \vec{v}_1 olan m_1 kütleli cismin iki boyutta (xy-düzleminde) merkezi olmayan çarpışması Şekil-1'de görülmektedir. Çarpışmadan sonra m_1 kütleli cisim x-ekseniyle φ açısı ve m_2 kütleli cisim aynı eksenle θ açısı yaparak hareket ederler. Çarpışmadan önce her iki cismin momentumlarının y-bileşenleri sıfır olduğundan, Eş. (5) ve Eş. (6), sırasıyla,

$$m_1 v_1 = m_1 u_{1x} + m_2 u_{2x} = m_1 u_1 \cos \varphi + m_2 u_2 \cos \theta \quad (7)$$

$$0 = m_2 u_{2y} - m_1 u_{1y} = m_2 u_2 \sin \theta - m_1 u_1 \sin \varphi \quad (8)$$

olarak yazılır. Eşitlik (8)'in sağ tarafındaki eksi işareti, çarpışmadan sonra m_1 kütleli cismin hızının u_{1y} bileşeninin eksi y-yönünde olduğunu gösterir.



Şekil-1. İki boyutta (xy-düzleminde) merkezi olmayan çarpışma.

Çarpışma olayları iki grupta incelenir: (i) esnek çarpışma ve (ii) esnek olmayan çarpışma. Çarpışan cisimlere net dış kuvvet etki etmezse, tüm çarpışmalarda momentum korunur. Ancak, kinetik enerji sadece esnek çarpışmalarda korunur. Çarpışmadan önceki hızları sırasıyla \vec{v}_1 ve \vec{v}_2 , çarpışmadan sonraki hızları sırasıyla \vec{u}_1 ve \vec{u}_2 olan m_1 ve m_2 kütleli iki cismin esnek çarpışmasında, kinetik enerjinin korunumu

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 u_1^2 + \frac{1}{2} m_2 u_2^2 \quad (9)$$

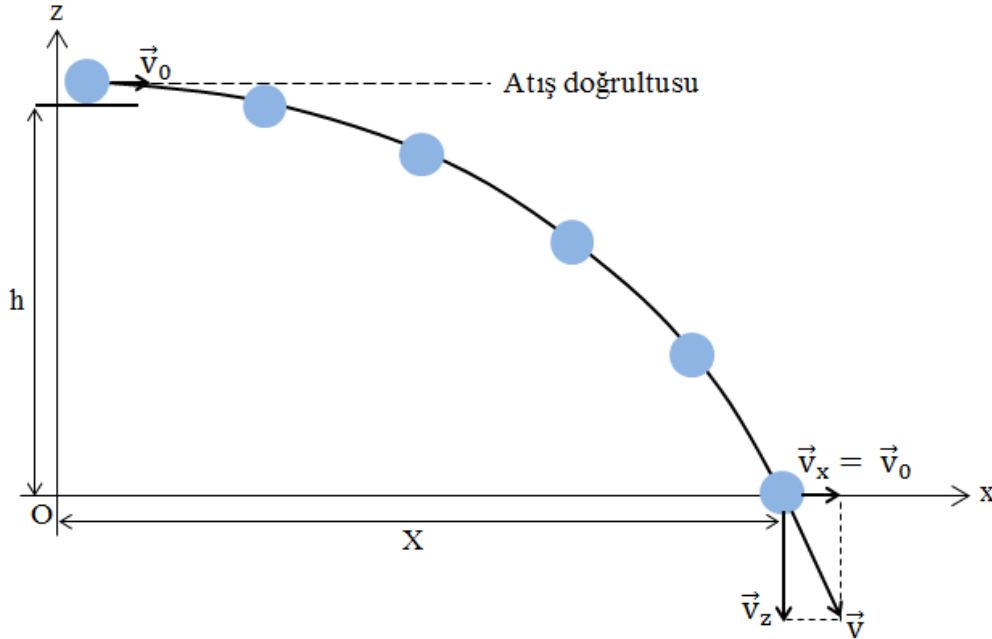
bağıntısıyla ifade edilir. Kinetik enerji skaler bir niceliktir ve SI birimi joule (J)'dür. Şekil-1'de görülen çarpışmada m_2 kütleli cismin ilk hızı sıfır ($\vec{v}_2=0$) olduğundan, kinetik enerjinin korunumu

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \frac{1}{2} m_1 u_1^2 + \frac{1}{2} m_2 u_2^2 \quad (10)$$

olarak yazılır.

Yatay atış hareketi

Bu deneyde, iki bilyanın esnek çarpışması masa yüzeyinden (xy-düzlemi) h kadar yüksekte ve masaya paralel olan bir yatay düzlemde gerçekleşir. Çarpışmadan sonra her iki bilya yatay atış hareketi yaparlar. Bu nedenle yatay atış hareketini (Şekil-2) incelemekte yarar vardır.



Şekil-2. Yatay atış hareketi.

Yerden h kadar yükseklikten \vec{v}_0 hızıyla yatay olarak atılan bir cismin yere çarpıncaya kadar yaptığı harekete yatay atış denir (Şekil-2). Hava sürtünmesi ihmal edilirse, \vec{v}_0 yatay hızıyla atılan bu cisme sadece yer çekimi kuvveti etki eder. Yer çekimi kuvveti \vec{v}_0 hızına dik olduğundan bu hızı değiştirmez. Bu nedenle, cisim yatay doğrultuda (x- eksenı boyunca) sabit hızlı hareket yapar ($v_x = v_0$). Düşey doğrultuda (z-eksenı boyunca) ise, yer çekimi kuvvetinin etkisiyle, cisim sabit ivmeli ($a = g$) hareket yapar. Buna göre, yatay atış hareketinin bileşenleri: yatay eksenı sabit hızlı doğrusal hareket ile düşey eksenı sabit ivmeli serbest düşmedir.

Cismin ilk hızının düşey bileşeni sıfır ($v_{oz} = 0$) olduğundan, cisim yere varıncaya kadar aldığı düşey yol

$$h = \frac{1}{2}gt^2. \quad (11)$$

Buradan, cisim yere varıncaya kadar geçen zaman $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ olarak bulunur. Görüldüğü gibi, bu t zamanı cismin kütesinden bağımsızdır. Cismin yere varıncaya kadar x-eksenı boyunca yaptığı yerdeğiştirme

$$\vec{X} = \vec{v}_x \cdot t = \vec{v}_0 \cdot \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (12)$$

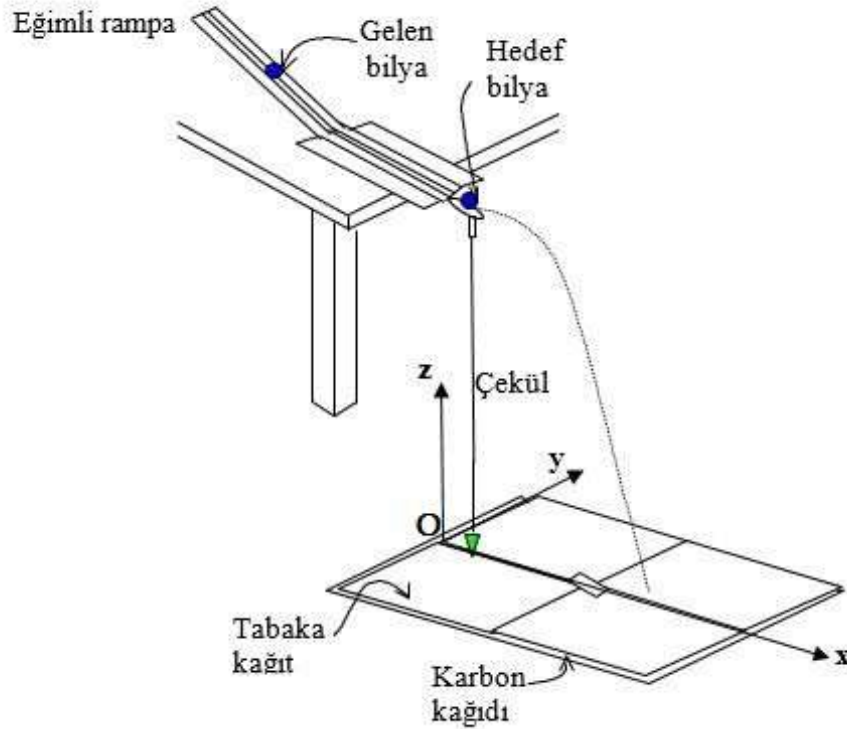
olarak bulunur. Yani, cismin yatay düzlemdeki yerdeğiştirmesi (\vec{X}) cismin yatay hızı ile orantılıdır ($\vec{X} \propto \vec{v}_0$). Böylece, çarpışmadan sonra her iki cismin yatay yerdeğiştirmeleri bu cisimlerin çarpışmadan hemen sonraki yatay hızlarının ölçüsü olur.

DENEY

Deney düzeneğinin şematik çizimi Şekil-3’de görülmektedir. Eğimli (oluklu) rampanın alt ucundan yaklaşık 2,0 cm uzakta, rampadan bağımsız olarak monte edilmiş bir düşey vida vardır. Bu vida sağa/sola döndürülebilir bir metal lamaya bir somunla sabitlenir. Bu somun gevşetilip düşey vida döndürülerek, vidanın üst ucunun seviyesi (düşey konumu) ayarlanır. Düşey vidanın alt ucuna çekül bağlıdır. Hedef bilya bu düşey vidanın üstüne yerleştirilir. Böylece, çekül hedef bilyanın kütle merkezinin konumunu belirler.

Altı adet A4 boyutundaki karbon kağıdını tek bir parça oluşturacak biçimde yan yana getirip, yapışkan bantla birbirine tutturunuz. Tek parça haline gelen karbon kağıdını, boyalı yüzü üste gelecek şekilde, masanın (xy-düzlemi) üzerine yerleştiriniz. Beyaz tabaka kağıdı (veri kadığı) karbon kağıdının üzerine yayın ve uygun ağırlıklar kullanarak sabitleyiniz.

Bu deneyde kullanılan iki çelik bilya ve bir cam bilyanın yarıçapları (R) aynıdır. Çarpışma anında, iki bilyanın kütle merkezleri arasında $2R$ kadar mesafe vardır (Şekil-4). Gelen bilyanın (çarpışmadan hemen sonraki) yatay hız vektörünün başlangıç noktasını belirlerken, bu durumun dikkate alınması gerekmektedir.



Şekil-3. Deney düzeneğinin şematik çizimi.

işaretleyiniz. Gelen bilyanın çarpışmadan sonraki hızının (\vec{u}_1) başlangıç noktası (GO) ise \vec{v}_1 hızının başlangıcı olan O noktasından yaklaşık 1,4 cm öndedir. GO ve HO noktaları arasındaki uzaklık bilyaların yarıçaplarının toplamına ($2R$) eşittir (Şekil-4).

Gelen bilyayı oluklu rampa üzerinde Kesim 1.1'deki konumdan ilk hız vermeden bırakınız. Gelen bilya oluklu rampanın alt ucundan \vec{v}_1 yatay hızıyla fırlayarak durmakta olan ($\vec{v}_2 = 0$) hedef bilyaya çarpar. Böylece, eşit kütleli iki çelik bilyanın merkezi olmayan esnek çarpışması gerçekleşir. Gelen ve hedef bilyanın masaya düştüğü noktaları (sırasıyla, GS ve HS) veri kağıdına kurşun kalemle işaretleyiniz. Veri kağıdının arka yüzünde, gelen ve hedef bilyaların çarpışmadan sonra masaya düştüğü yerlerde birer siyah nokta oluşur. Bu işlemi, hedef bilyayı oluklu rampa üzerinde hep aynı konumdan serbest bırakarak, 10 kere tekrarlayınız.

Veri kağıdını ters çevirip masanın üzerine yayınız. Yukarıda tanımlanan (ve her biri onar tane siyah noktadan oluşan) G1, GS ve HS nokta kümelerini inceleyiniz. On tane olan G1 noktalarını içine alan küçük bir çember çiziniz (çok aykırı olan deney noktaları bu çember dışında kalabilir). Bu çemberin merkezini G1 noktası olarak işaretleyiniz. Başlangıcı O noktasında ve bitişi G1 noktasında olan bir vektör çiziniz. Bu vektör aslında gelen bilyanın masa düzleminde (x-ekseni boyunca) yerdeğiştirmesi (\vec{X}_1)'dir. Eşitlik (12) gereğince, bu \vec{X}_1 vektörü gelen bilyanın çarpışmadan önceki hızı (\vec{v}_1) ile doğru orantılıdır. Veri kağıdı üzerinde x-eksenini \vec{v}_1 hız vektörü boyunca seçiniz. Bu x-eksenine dik olarak y-eksenini çiziniz (Şekil-4).

Aynı işlemleri GS ve HS nokta kümeleri için de yapınız. Böylece, gelen ve hedef bilyanın çarpışmadan sonraki hız vektörlerinin bitiş uçları (sırasıyla GS ve HS noktaları) belirlenir. GO noktasından GS noktasına çizilen yerdeğiştirme vektörü \vec{u}_1 hızıyla, HO noktasından HS noktasına çizilen yerdeğiştirme vektörü ise \vec{u}_2 hızıyla orantılıdır.

Bu deneyde çarpışan bilyaların kütleleri eşit ($m_1 = m_2$) ve hedef bilya başlangıçta durgun ($\vec{v}_2 = 0$) olduğundan, momentumun korunumu (Eş. (4))

$$\vec{v}_1 = \vec{u}_1 + \vec{u}_2 \quad (13)$$

olarak yazılır. Momentum vektörel nicelik olduğundan, veri kağıdı üzerinde bu vektörel eşitliğin sağlayıp sağlamadığını sınamak önemlidir. Bunun için \vec{u}_1 ve \vec{u}_2 hız vektörlerinin başlangıç noktalarını O noktasına (paralel kaydırma yöntemiyle) taşıyınız ve ($\vec{u}_1 + \vec{u}_2$) vektörünü \vec{v}_1 vektörü ile karşılaştırınız.

Hız vektörlerinin büyüklüklerini milimetrik cetvelle, \vec{u}_1 ve \vec{u}_2 vektörleri arasındaki α açısını açıölçerle ölçünüz. Elde edilen sonuçları Tablo-1'e yazınız. \vec{v}_1 , \vec{u}_1 ve \vec{u}_2 hız vektörlerini belirli bir ölçekte küçülterek, veri kağıdını milimetrik grafik kağıdına aktarınız ve deney raporuna ekleyiniz.

Tablo-1.

$ \vec{v}_1 $ (cm)	$ \vec{u}_1 $ (cm)	$ \vec{u}_2 $ (cm)	α (derece)	$ \vec{u}_1 + \vec{u}_2 $ (cm)

Eşit kütleri bilyaların esnek çarpışmasında (hedef bilya durgun), kinetik enerjinin korunumu

$$v_1^2 = u_1^2 + u_2^2 \quad (14)$$

olarak yazılır. Deneyde ölçülen hız vektörlerini kullanarak (Tablo-1), kinetik enerjinin korunup korunmadığını tartışınız.

Kesim-2. Farklı kütleli bilyaların esnek çarpışması

Cam bilyayı hedef bilya seçerek, Kesim-1’de yapılan deney ve işlemleri tekrarlayınız. Elde edilen verileri Tablo-2’ye kaydediniz. Gelen (çelik) bilyanın kütlesi (m_1) hedef (cam) bilyanın kütesinden (m_2) büyüktür. Bu iki bilyanın merkezi olmayan esnek çarpışmasında, momentumun korunumu ve kinetik enerjinin korunumu bağıntıları, sırasıyla,

$$\vec{v}_1 = \vec{u}_1 + \frac{m_2}{m_1} \vec{u}_2 \quad (15)$$

$$v_1^2 = u_1^2 + \frac{m_2}{m_1} u_2^2 \quad (16)$$

olarak yazılabilir.

Momentum ve kinetik enerjinin korunup korunmadığını deneysel olarak sınamak için m_2/m_1 oranının bilinmesi gerekmektedir. Deneyde kullanılan çelik ve cam bilyaların kütlelerini bir teraziyle ölçünüz ve m_2/m_1 oranını hesaplayınız. Bu oranı Eş. (15) ve Eş. (16)’da kullanarak, farklı kütleli bilyaların merkezi olmayan esnek çarpışmasında, momentumun korunumunu (vektörel olarak) ve kinetik enerjinin korunumu inceleyiniz ve tartışınız.

Tablo-2.

$ \vec{v}_1 $ (cm)	$ \vec{u}_1 $ (cm)	$ \vec{u}_2 $ (cm)	α (derece)	$ \vec{u}_1 + \frac{m_2}{m_1} \vec{u}_2 $ (cm)	m_1 (g)	m_2 (g)

Deneyde ölçülen \vec{v}_1 , \vec{u}_1 ve $\frac{m_2}{m_1} \vec{u}_2$ vektörlerini belirli bir ölçekte küçülterek, milimetrik kağıda çizin ve deney raporuna ekleyiniz.

Kaynaklar

1. D. Halliday, R. Resnick and J. Walker, Fundamentals of Physics (4th edition), John Wiley & Sons Inc., 1993, s. 256-271.
2. Hugh D. Young ve Roger A. Freedman, Sears ve Zemansky’nin Üniversite Fiziği, Cilt I (çeviri), Pearson Education, 2009, s. 253-262.

MERCEKLER

Amaçlar

1. Yakınsak merceğin odak uzaklığını ölçmek.
2. Yakınsak merceğin oluşturduğu gerçek görüntüyü gözlemek.
3. Mercek formülünü sınamak.
4. Yakınsak mercekte görüntü büyütmesini incelemek, teleskobun çalışma prensibini öğrenmek.

Araçlar

Optik ray

Odak uzaklıkları 50 mm ve 100 mm olan iki yakınsak mercek

12 V'luk halojen lamba

Perde

Üzerine L harfi çizilmiş plaka

Düzlem ayna

GİRİŞ

Mercekler küresel yüzeylerine gelen ışığın kırılmasına neden olan saydam malzemelerdir. Kırma indisleri farklı olan iki madde arasındaki küresel sınır, bu sınıra gelen ışık ışınlarını toplayıcı ya da dağıtıcı etki yapar.

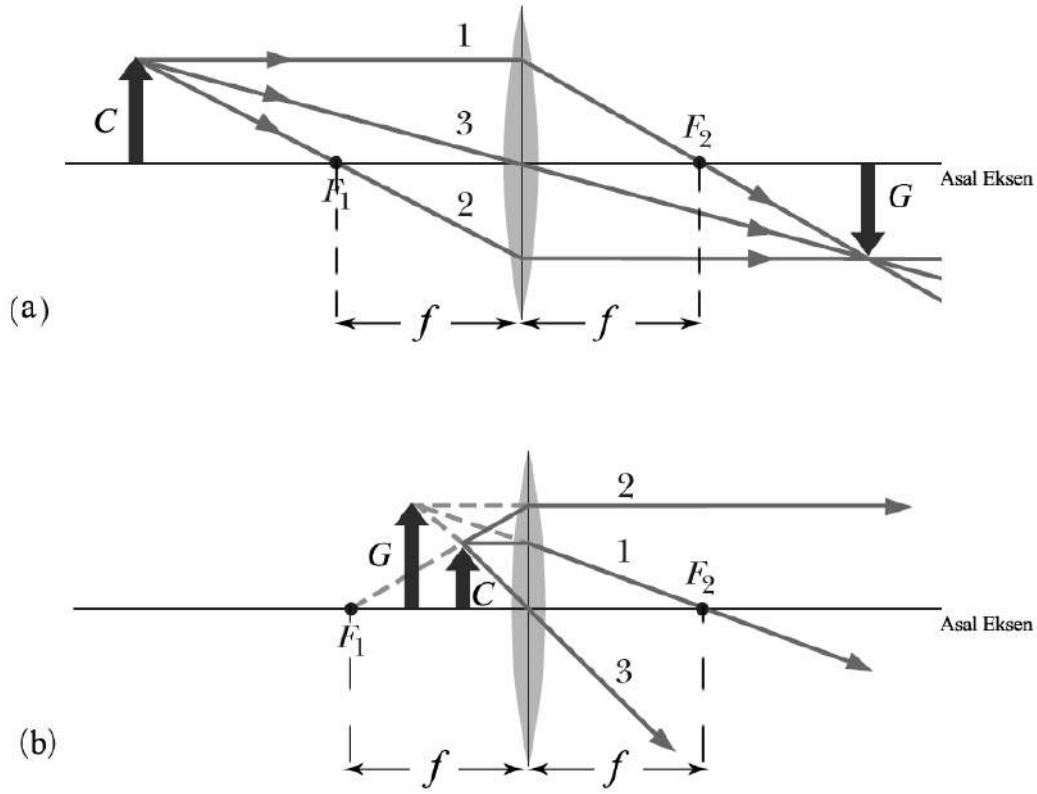
Yakınsak mercek

Yakınsak (ince kenarlı) mercek her iki yüzeyi küresel olan bir camdır. Merceğin küresel yüzeylerinin eğrilik merkezlerinden geçen doğruya merceğin “asal eksen” denir. Asal eksen mercek yüzeylerini dik olarak geçer. Bir merceğin “odak noktası” asal eksene paralel gelen ışın demetinin (merceğin arka tarafında) toplandığı nokta olarak tanımlanır. Bu noktaya “arka odak” (F_2) denir. Odak uzaklığı (f) merceğin merkezinden odak noktasına olan dik uzaklıktır. Odak noktasından geçen ve asal eksene dik olan sanal düzleme “odak düzlemi” denir. Mercek üzerine paralel gelen tüm ışın demetleri, mercekten geçtikten sonra, bu düzlem üzerinde odaklanırlar.

İnce kenarlı merceğin küresel yüzeylerinin eğrilik yarıçapları aynı olduğundan, “ön odak” denilen ikinci odak noktası (F_1) tanımlanır. Bu nokta, asal eksen üzerinde ve arka odağın ters tarafında olup, mercekten f kadar uzaklıktadır. Ön odak noktasından çıkan ışınlar mercekten geçtikten sonra asal eksene paralel olarak giderler.

Bir cismin bir mercek (veya mercek sistemleri) ile elde edilen görüntüsü ışın diyagramlarıyla belirlenir. Bir cismin (C) bir yakınsak mercekten oluşturulan görüntüsünü (G) belirlemek için üç özel ışın kullanılır (Şekil-1). Bu özel ışınlar:

- Asal eksene paralel gelen ışın (1 numaralı ışın). Bu ışın mercekten kırıldıktan sonra, merceğin arka odak noktasından (F_2) geçer.
- Merceğin ön odak noktasından (F_1) geçerek gelen ışın (2 numaralı ışın). Bu ışın mercekten kırılır ve mercekten asal eksene paralel olarak çıkar.
- Merceğin merkezinden geçen ışın (3 numaralı ışın). Bu ışın kırılmadan doğrusal bir yol boyunca ilerler.



Şekil-1. Bir cismin (C) yakınsak merceklerle oluşturulan görüntüsünü (G) belirlemek için kullanılan özel ışınlar: (a) Cisim odak uzaklığının dışında ve (b) cisim odak noktası ile merceğin arasında.

Hava içinde bulunan bir yakınsak mercek için türetilen “mercek formülü”

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \quad (1)$$

bağıntısıyla verilir. Bu eşitlikte f merceğin odak uzaklığı, s cismin merceğe olan uzaklığı ve s' görüntünün merceğe olan uzaklığıdır. Merceğin boyca büyütmesi (m), Şekil-1(a)'daki dik üçgenler kullanılarak,

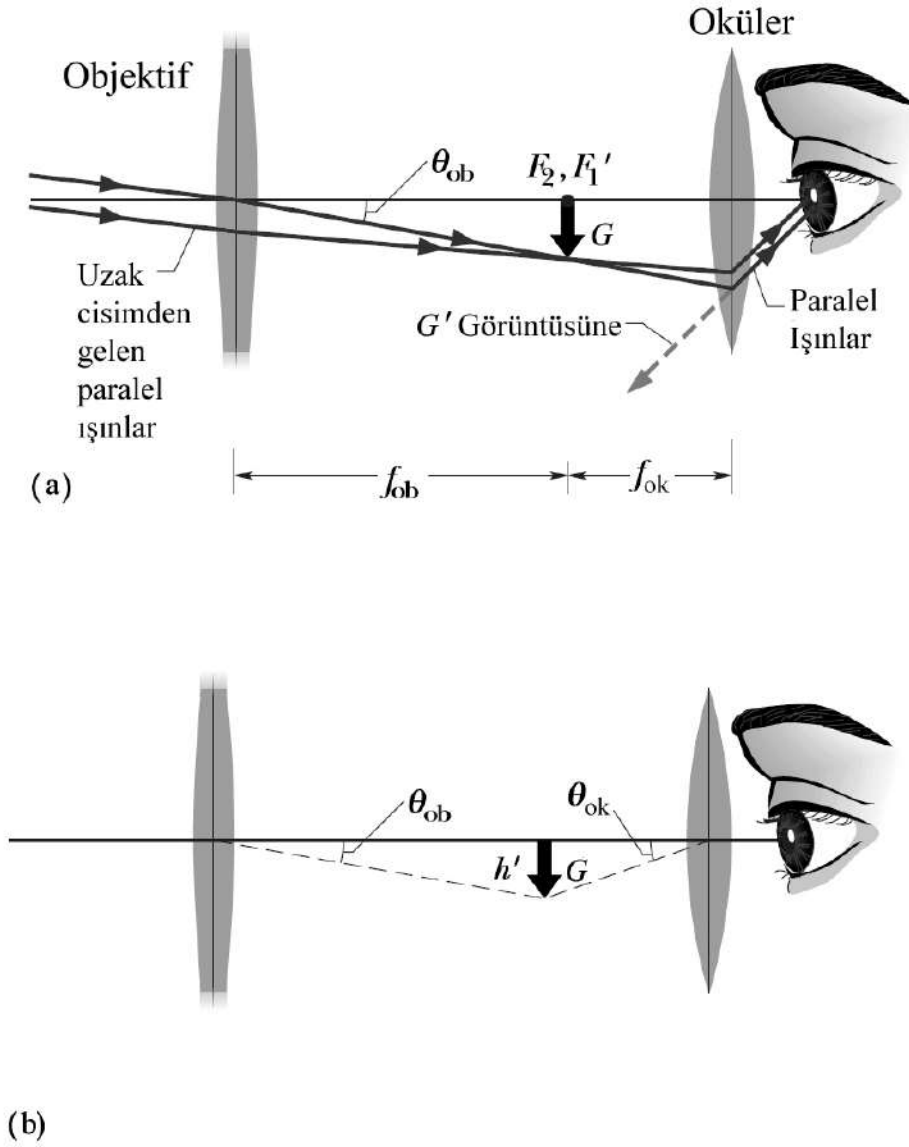
$$m = \frac{h'}{h} = -\frac{s'}{s} \quad (2)$$

olarak bulunur. Burada h' görüntünün boyu ve h cismin boyudur. Görüntü düz ise $m > 0$, görüntü ters ise $m < 0$ olur.

Teleskop

Teleskop çok uzaktaki cisimleri büyüterek ayrıntılarını görmemizi sağlayan bir optik ayardır. Astronomide kullanılan farklı türde birçok teleskop vardır. Bunlardan biri olan Kepler teleskobu yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu teleskop uzun bir silindirik borunun uçları yakınına yerleştirilen iki yakınsak mercekten oluşur. Gözlenen cisme yakın olan merceğe “objektif” denir ve kendi odak noktası yakınında bir ara görüntü (G) oluşturur (Şekil-2(a)). Teleskobun diğer ucunda bulunan ve odak uzaklığı daha küçük olan merceğe “oküler” denir.

Objektifin oluşturduğu ara görüntünün (G) konumu okülerin odak noktası ile çakışırsa, oküler bir büyüteç görevi yapar. Böylece son görüntü (G') büyütülmüş olarak görülür.



Şekil-1. Kepler teleskobu: F_1' objektifin odak noktası, F_2 okülerin odak noktası, G objektifin oluşturduğu ara görüntü ve G' okülerden görülen son görüntüdür. f_{ob} ve f_{ok} sırasıyla objektifin ve okülerin odak uzaklığıdır.

Bir uzak cisimden gelen paralel ışınlar objektiften geçtikten sonra asal eksenle θ_{ob} açısı yaparlar (Şekil-2(a)). Son görüntüyü oluşturan ışınlar ise asal eksenle θ_{ok} açısını yaparlar (Şekil-2(b)). Teleskobun açısal büyütmesi (m_θ) bu açıların oranı (θ_{ok}/θ_{ob}) kullanılarak hesaplanır (bu açılar birimi radyan'dır). θ_{ob} ve θ_{ok} açıları küçük olduğundan $\theta_{ob} \cong h'/f_{ob}$ ve $\theta_{ok} \cong h'/f_{ok}$ yazılır ve açısal büyütme

$$m_\theta = -\frac{f_{ob}}{f_{ok}} \quad (3)$$

olarak bulunur. Burada f_{ob} objektifin odak uzaklığı ve f_{ok} okülerin odak uzaklığıdır. Eşitlik (3)'teki eksi işareti son görüntünün ters olduğunu gösterir. Bir teleskobun açısal büyütmesi,

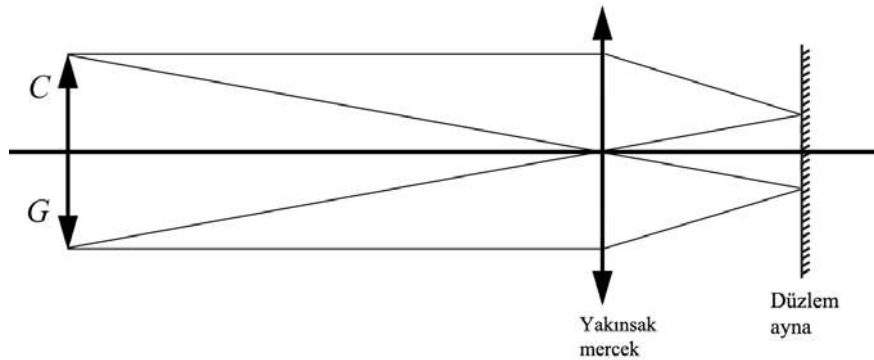
teleskobun ürettiği son görüntünün kapladığı katı açı ile uzaktaki cisim çıplak gözle gözlemlendiğinde kapladığı katı açının bir karşılaştırmasıdır.

DENEY

Uyarı: Mercekleri elinizle tutarken dikkatli olunuz. Parmaklarınızı merceklerin küresel yüzeylerine kesinlikle dokundurmuyunuz. Mercekleri sadece plastik tutucunun kenarlarından tutunuz. Bir merceği masanın üzerine yatık olarak koymanız gerektiğinde, temiz ve kuru bir kağıt üzerine koyunuz. Merceği tozlu, yağlı veya camını çizebilecek bir zemin (masa) üzerine kesinlikle koymayınız.

Kesim-1. Yakınsak merceğin odak uzaklığının ölçülmesi

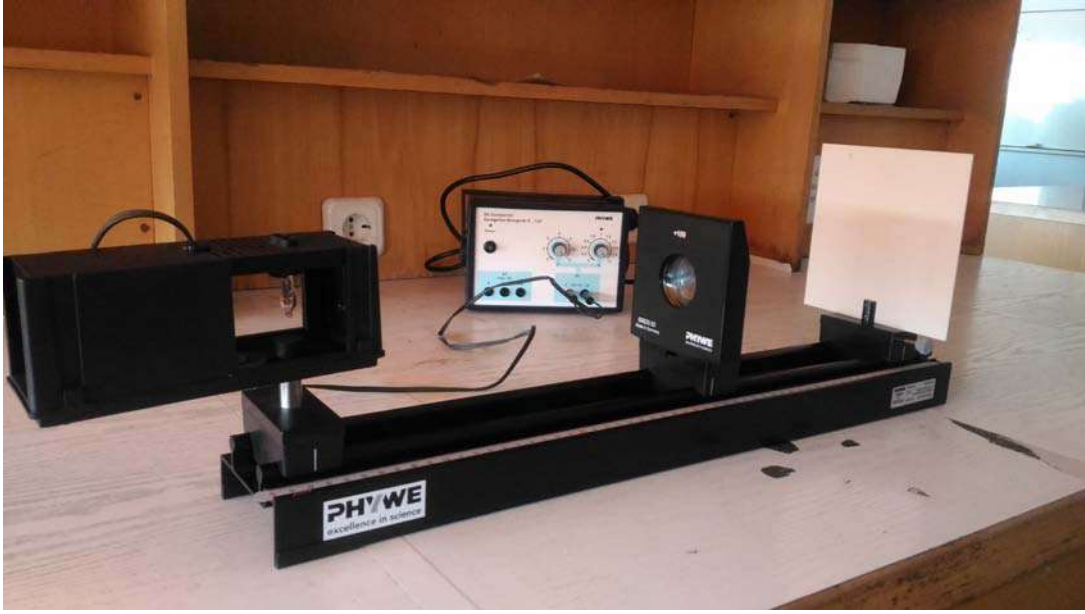
Bu kesimde iki adet yakınsak merceğin odak uzaklıkları “kendiliğinden paralelleştirme (otokolimasyon) yöntemi” ile ölçülecektir. Bu yöntemi açıklayan bir ışın diyagramı Şekil-3’te görülmektedir. Merceği ve cisim olarak kullanılan (bir lamba ile aydınlatılan ve üzerine L harfi çizilmiş) plakayı optik rayın üzerine dik olarak yerleştiriniz (Şekil-4). Düzlem aynayı merceğin arka tarafına kliplere yerleştiriniz. Mercek, ayna ile cisim arasında olmalıdır. Ayna ve merceği ray üzerinde birlikte hareket ettirerek net bir görüntü oluşturunuz. Bu durumda, mercek ile görüntü arasındaki uzaklık merceğin odak uzaklığına (f) eşit olur. Bu uzaklığı rayın üzerindeki milimetrik cetvel ile ölçünüz ve Tablo-1’e kaydediniz. Aynı işlemleri ikinci mercek için tekrarlayınız. Ölçülen odak uzaklıklarını yakınsak merceklerin bilinen odak uzaklıkları ile karşılaştırınız.



Şekil-3. Kendiliğinden paralelleştirme yöntemi için örnek ışın diyagramı. Burada C cismi ve G görüntüyü temsil eder.

Tablo-1.

Mercek No	1	2
Odak uzaklığı	f_1 (mm)	f_2 (mm)
Ölçülen		
Bilinen		



Şekil-4. Deney düzeneği.

Kesim-2. Mercek formülü

Bu kesimde mercek formülünü (Eş. (1)) deneysel olarak sınayacaksınız. Deneyde cisim olarak (lambayla aydınlatılan ve üzerine L harfi çizilmiş) plakayı kullanınız. Odak uzaklığı büyük olan merceği ve perdeyi optik raya dik olarak yerleştiriniz. Perde merceğin arka tarafında olmalıdır (Şekil-4). Net bir görüntü elde edinceye kadar perdeyi optik ray üzerinde hareket ettiriniz. Net görüntü oluştuğunda, cismin merceğe uzaklığını (s), görüntünün merceğe uzaklığını (s') ve görüntünün boyunu (h') milimetrik cetvel ile ölçünüz. Cismin (yani F harfinin) boyunu (h) da ölçünüz. Bu ölçümleri, cismin merceğe uzaklığının (s) on farklı değeri için tekrarlayınız. Verileri Tablo-2'ye yazınız.

Cismin boyu, $h = \dots$ cm

Tablo-2.

Ölçüm No	s (cm)	s' (cm)	h' (cm)	s'/s	h'/h	$1/s$ (10^{-2} cm^{-1})	$1/s'$ (10^{-2} cm^{-1})
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

Yatay ekseninde $1/s$ niceliği, düşey ekseninde $1/s'$ niceliği olacak şekilde bir grafik çiziniz. Deney noktalarından uyan en iyi doğruyu çiziniz. Bu doğrunun eksenleri kestiği noktaları belirleyiniz. Bu noktaların koordinatlarını Eş. (1)'de kullanarak merceğin odak uzaklığını elde ediniz. Bu yöntemle ölçülen odak uzaklığını Kesim-1'de bulunan değerle karşılaştırınız.

Merceğin $m = h'/h$ büyütmesini s'/s oranı ile karşılaştırmak için, yatay ekseninde h'/h niceliği ve düşey ekseninde s'/s niceliği olacak şekilde bir grafik çiziniz. Grafiğin eğimini hesaplayınız ve Eş. (2)'den elde edilen eğim ile karşılaştırınız.

Kesim-3. Teleskop

Odak uzaklığı 100 mm olan merceği cisimden (aydınlatılmış F harfinden) yaklaşık 10 cm uzağa, perdeyi cisimden 43 cm uzağa yerleştiriniz. Bu mercek teleskopta objektif görevini yapar. Perdede aydınlatılmış F harfinin net bir görüntüsünü gözleyinceye kadar merceği perdeye doğru kaydırınız. Bu net görüntü Şekil-2(a)'daki ara görüntüdür (G). Sonra, perdeyi optik raydan kaldırınız ve odak uzaklığı 50 mm olan merceği cisimden 45 cm uzağa yerleştiriniz. Bu mercek teleskoptaki okülerdir. Bu merceği (oküler) net bir görüntü (G') gözleyinceye kadar diğer merceğe (objektif) doğru yaklaştırınız. Böylece, bir teleskop yaptınız.

Cismi (lambda ve F harfini) optik raydan çıkarınız ve yaptığınız teleskop ile laboratuvardaki uzak cisimleri gözleyiniz. Teleskobun objektifi ile oküleri arasındaki mesafeyi (L) ölçünüz ve kaydediniz. Ayrıca, aşağıdaki gözlemleri yapınız ve sonuçları kaydediniz.

Objektif ve oküler arasındaki uzaklık: $L =$

Objektif ve okülerin odak uzaklıklarının toplamı: $f_1 + f_2 =$

Ara görüntünün (G) özellikleri:

Okülerden gözlenen G' görüntüsünün özellikleri:

Teleskopta okülerin etkisi:

Teleskobun açısal büyütmesi:

Sorular

1. Kendiliğinden paralelleştirme yöntemi aynanın konumuna bağlı mıdır?
2. Yakınsak bir mercekte s' sonsuza yaklaşırken, s hangi değere yaklaşır? s sonsuza yaklaşırken s' hangi değere yaklaşır?
3. Bir silindirik boru ve odak uzaklıkları $f_1 = 50$ mm ve $f_2 = 150$ mm olan iki yakınsak merceğiniz olsun. Bu mercekler ile bir teleskop yapmak için borunun uzunluğu en az kaç mm olmalıdır?

Kaynaklar

1. W. Jearl, D. Halliday and R. Resnick, Fundamentals of Physics (ed.), Wiley, 2011, s. 936-939, 945-946.
2. Raymond A. Serway, Robert J. Beichner ve John W. Jewett, Fen ve Mühendislik İçin Fizik, Cilt II (çeviri), Palme Yayınevi, 2000, s. 1154-1174.
3. Paul M. Fishbane, Stephen Gasiorowicz ve Stephen T. Thornton, Temel Fizik, Cilt 2 (çeviri), Arkadaş Yayıncılık, 1996, s.1014-1022.

DURAN DALGALAR

Amaçlar

1. İki ucu sabit, gergin ipteki duran dalgaları gözlemek.
2. Gergin ipteki ilerleyen dalganın yayılma hızını ölçmek.
3. Bir ucu kapalı cam tüp içindeki havada duran dalga oluşturmak ve havada ses hızını ölçmek.

Araçlar

Sayısal frekans üretici	Kundt borusu (ses dalgası rezonans düzeneği)
Titreştirici	Dalga üretici (osilatör)
Dinamometre	Osiloskop
Naylon ip	Hoparlör
Makara	Mikrofon
Stand ve kelepçeler	100 cm'lik milimetrik cetvel

GİRİŞ

Madde içinde ve/veya boşlukta yayılabilen titreşimlere dalga denir. Sadece madde içinde yayılan dalgalar (örneğin, kristal örgü titreşimleri, ses dalgaları, deprem dalgaları, su dalgaları) **mekanik dalga** olarak tanımlanır.

Dalganın yayıldığı maddenin parçacıklarının hareketi dalganın ilerleme yönüne dik ise bu tür dalgalara **enine dalgalar** denir. Gergin ip üzerinde yayılan dalgalar enine dalgalardır. Dalganın yayıldığı maddenin parçacıklarının hareketi dalganın ilerleme yönüne paralel ise bu tür dalgalara **boyuna dalgalar** denir. Havada yayılan ses dalgaları boyuna dalgalardır. Katı cisimlerde hem boyuna dalga hem de enine dalga yayılabilir.

1. Gergin ip üzerinde yayılan enine dalgalar

Yatay eksen (x-ekseni) boyunca uzanan ve bir ucu sabitlenmiş gergin ipin diğer ucu düşey doğrultuda (y-ekseni) periyodik olarak titreştirildiğinde, ip boyunca ilerleyen bir enine dalga oluşur. Bu dalga ip boyunca ilerlerken, ip üzerindeki her nokta düşey doğrultuda periyodik hareket yapar. Bir t anında, ip üzerinde x konumundaki bir noktanın enine yer değiştirmesi

$$y(x, t) = A \sin(kx - \omega t) \quad (1)$$

bağıntısıyla ifade edilebilir. Burada A genlik, $k(= 2\pi/\lambda)$ dalga vektörü, λ dalgaboyu, ω açısal frekans ve t zamandır. Dalganın bir dalgaboyu kadar yol alması için geçen süreye **periyot** denir ve T ile gösterilir. Bir saniyede oluşan tam dalga sayısı **frekans** (f) olarak tanımlanır: $f = 1/T$. Gergin ip üzerinde ilerleyen enine dalganın yayılma hızı

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f \quad (2)$$

olarak yazılır. Eşitlik (2) havada yayılan ses dalgaları için de geçerlidir.

Bir dalga madde içinde yayılırken, o maddenin parçacıklarının basit harmonik hareket (BHH) yapmasına neden olur. Dolayısıyla, dalganın madde içindeki yayılma hızı o maddenin özellikleri tarafından belirlenir. Gergin ip üzerinde ilerleyen enine dalganın hızı

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad (3)$$

bağıntısıyla verilir. Burada F ipi geren kuvvet (gerilme kuvveti) ve μ ipin birim uzunluk başına kütlesidir (boyca yoğunluk). Yani, gergin ip üzerinde ilerleyen enine dalganın hızı ipi geren kuvvet ve ipin boyca yoğunluğuna bağlıdır, dalganın frekansı ve dalgaboyundan bağımsızdır.

2. Gergin ip üzerinde duran dalgalar

Gergin ip üzerinde aynı genliğe, aynı frekansa ve aynı dalgaboyuna sahip, ancak zıt yönlerde ilerleyen iki enine dalga olsun. Bu dalgaları temsil eden dalga fonksiyonları

$$y_1(x, t) = A \sin(kx - \omega t) \quad (4)$$

$$y_2(x, t) = A \sin(kx + \omega t) \quad (5)$$

olarak yazılabilir. Eşitlik (4) sağa doğru ilerleyen, Eş. (5) ise sola doğru ilerleyen enine dalgayı ifade eder. Bu iki dalga aynı gergin ip üzerinde yayıldığından, süperpozisyon (üst üste binme) ilkesi gereğince, toplam dalga

$$y(x, t) = y_1(x, t) + y_2(x, t) = [2A \sin(kx)] \cos(\omega t) \quad (6)$$

bağıntısıyla verilir. Bu bağıntı **duran dalga**'nın matematiksel ifadesidir. Eşitlik (6)'nın sağ tarafındaki $\cos(\omega t)$ terimi, gergin ip üzerinde x konumunda bulunan bir noktanın (y-ekseni boyunca) ω frekanslı BHH yaptığını gösterir; köşeli parantez içindeki $2A \sin(kx)$ niceliği ise bu BHH'nin genliğidir. Gergin ip üzerinde duran dalga oluştuğunda, ipin her noktası düşey doğrultuda BHH yapar, ancak bu hareketin genliği $[2A \sin(kx)]$ konuma sinüsel olarak bağlıdır.

Duran dalga üzerinde genliğin sıfır olduğu noktalara **düğüm noktaları** denir. Genliğin sıfır olması için $\sin(kx) = 0$ olması yeterlidir. Bu koşulu sağlayan kx değerleri

$$kx_n = n\pi, \quad n = 0, 1, 2, 3 \dots$$

olup, $k = 2\pi/\lambda$ ifadesi burada yerine yazıldığında, düğüm noktalarının konumları bulunur:

$$x_n = n \frac{\lambda}{2}, \quad n = 0, 1, 2, 3 \dots$$

Buradan, ardışık iki düğüm noktası arası uzaklık

$$x_{n+1} - x_n = \left[(n+1) \frac{\lambda}{2}\right] - n \frac{\lambda}{2} = \frac{\lambda}{2}$$

olarak bulunur. Yani, duran dalganın ardışık iki düğüm noktası arasındaki uzaklık, gergin ip üzerinde ilerleyen enine dalganın dalgaboyunun yarısına ($\lambda/2$) eşittir.

Duran dalga üzerinde genliğin maksimum olduğu noktalara **karın noktaları** denir. Genliğin maksimum olması için $|\sin kx| = 1$ olmalıdır. Bu koşulu sağlayan kx değerleri

$$kx_n = \left(n + \frac{1}{2}\right)\pi, \quad n = 0, 1, 2, 3 \dots$$

olup, $k = 2\pi/\lambda$ yerine konulduğunda, genliğin maksimum olduğu konumlar bulunur:

$$x_n = \left(n + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{2}, \quad n = 0, 1, 2, 3 \dots$$

Böylece, ardışık iki karın noktası arası uzaklık

$$x_{n+1} - x_n = \frac{\lambda}{2}$$

olarak bulunur. Duran dalganın ardışık iki karın noktası arasındaki uzaklık, gergin ip üzerinde ilerleyen enine dalganın dalgaboyunun yarısına ($\lambda/2$) eşittir.

3. İki ucu sabit gergin ip üzerinde duran dalgalar ve rezonans

İki ucu sabitlenmiş L uzunluğunda bir gergin ip olsun. İp üzerinde ω frekanslı enine dalga sağa doğru ilerlesin (Eş. (4)). Bu dalga, gergin ipin sabit olan sağ ucuna ulaştığında geri yansır ve yansıyan dalga ip üzerinde sola doğru ilerler (Eş. (5)). Böylece, gergin ip üzerinde zıt yönlerde ilerleyen dalgalar üst üste binerek bir girişim meydana getirirler. Bu girişim deseninin bir duran dalga olması ancak belirli frekanslarda mümkündür. Bu özel frekanslara **rezonans frekansları** (doğal titreşim frekansları) denir. Rezonans koşulu sağlandığında, karın noktalarında titreşim genliği en büyük olur. Gergin ip rezonans frekansı dışında bir frekansta titreşime zorlanırsa, ip üzerinde duran dalga oluşmaz.

Uzunluğu L olan gergin ipin uçları sabit olduğundan, bu uçların yerdeğiştirmesi sıfırdır. Dolayısıyla, gergin ip üzerinde duran dalga oluşması için

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (7)$$

koşulunun sağlanması gerekir (Şekil-1).

Gergin ip üzerinde yayılan enine dalgaların hızı dalganın frekansı ve dalgaboyundan bağımsız olduğundan (Eş. (3)), rezonans frekansları

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} = n \frac{v}{2L} = n f_1, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (8)$$

olarak bulunur. Burada $f_1 = v/2L$ temel harmoniğin frekansıdır ve n tam sayısı harmonik numarasıdır. Bu rezonans frekansları bir *harmonik seri* oluştururlar.

Gergin bir ip üzerinde ilerleyen dalganın hızı $v = \sqrt{F/\mu}$ olduğundan, rezonans frekansları

$$f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (9)$$

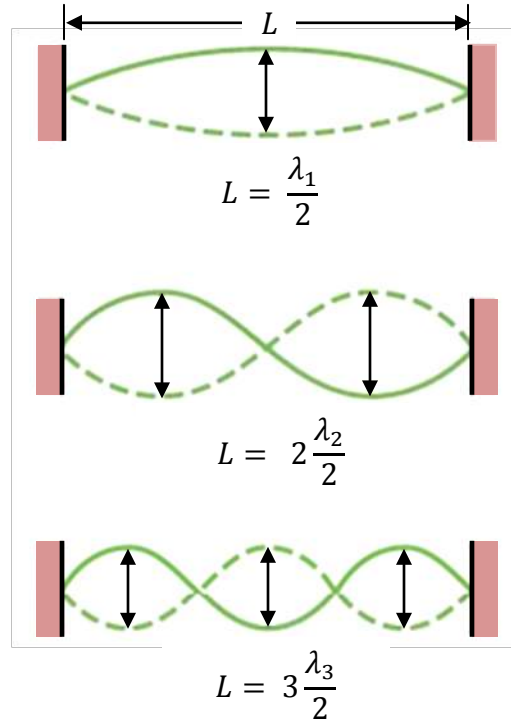
olarak ifade edilebilir. Görüldüğü gibi, iki ucu sabitlenmiş gergin ipin rezonans frekansları, sadece gergin ipin özellikleri (uzunluğu, gerilme kuvveti ve boyca yoğunluğu) tarafından belirlenir.

4. Havada yayılan ses dalgaları

Havada yayılan ses dalgaları boyuna mekanik dalgalardır. Ses dalgalarının havada yayılma hızı

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (10)$$

bağıntısıyla verilir. Burada B havanın bulk modülü (birimi N/m^2) ve ρ havanın yoğunluğudur (birimi kg/m^3). Bir cismin bulk modülü sıkıştırılabilirlik'in tersi olarak tanımlanır.



Şekil-1. İki ucu sabit, L uzunluğunda gergin ip üzerinde oluşan duran dalgalar (temel harmonik, 1.ci ve 2.ci harmonikler). Düşey oklar karın noktalarını gösterir.

Bir ses dalgası havada yayılırken, hava molekülleri dalganın yayılma doğrultusu boyunca ileri-geri titreşim hareketi yaparlar. Böylece, havada periyodik yoğunluk değişimleri meydana gelir. Bu yoğunluk değişimleri havada yüksek ve alçak basınç bölgelerinin oluşmasına neden olur. Havada ses dalgası x -ekseni boyunca ilerlerken, x konumundaki hava basıncı periyodik olarak değişir ve bu basınç değişimi

$$\Delta p(x, t) = \Delta p_m \sin(kx - \omega t) \quad (11)$$

fonksiyonuyla ifade edilebilir. Burada Δp_m , ses dalgası nedeniyle, hava basıncında meydana gelen maksimum artma veya azalmadır.

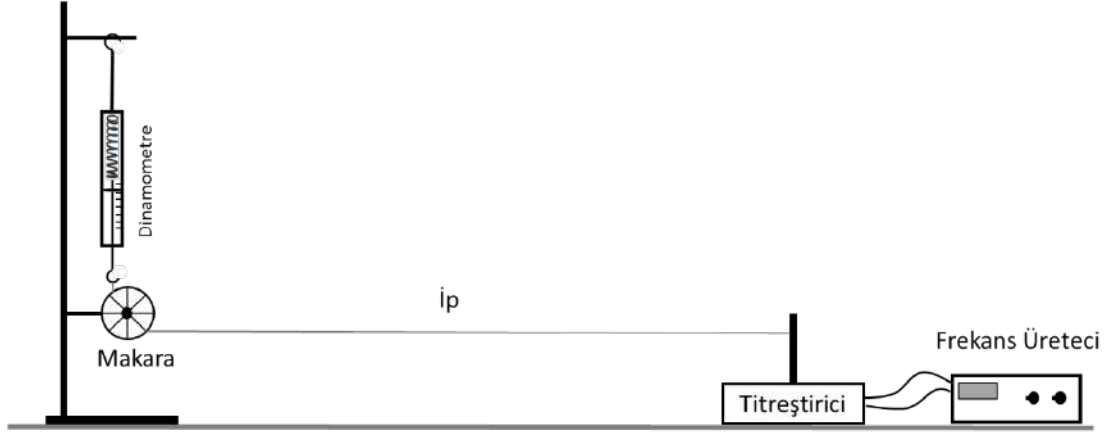
Eşitlik (4) ve Eş. (11) arasındaki benzerlik dikkate alınarak, havada zıt yönlerde ilerleyen (aynı frekans ve aynı genlikli) ses dalgalarının üst üste binmesi sonucunda havada duran dalga oluşabileceği görülür.

DENEY

Kesim-1. Gergin ip üzerinde duran dalgalar

Deney düzeneği Şekil-2’de şematik olarak çizilmiştir. Deney düzeneği bir sayısal frekans üretici (sayısal osilatör), titreştirici, naylon ip, makara, dinamometre, stand ve iki kelepçeden oluşmaktadır. İpin gerilme kuvveti dinamometre ile ayarlanır ve ölçülür. İpi önceden belirlenen bir kuvvetle germek için, dinamometrenin üst ucu stand çubuğu boyunca yukarıya kaydırılır ve kelepçeyle sabitlenir. Deneye başlamadan önce dinamometrenin sıfır ayarını kontrol ediniz.

Dinamometrenin üst ucunun yüksekliğini değiştirilerek ipi geren kuvveti (F) istenen değere ayarlayınız. Sayısal osilatörün çıkış genliğini kontrol eden düğmeyi orta konuma getiriniz. Gergin ipin titreştiriciye bağlı ucunun düşey yerdeğiştirmesi çok küçük olduğundan, “gergin ipin iki ucu sabit” alınabilir.



Şekil-2. Gergin ipte duran dalga oluşturmak için kullanılan düzenek (şematik çizim).

Duran dalgaların gözlenmesi

- İpi geren kuvveti $F=0,5$ N'a ve sayısal osilatörün frekansını $f = 5,0$ Hz'e ayarlayınız. Osilatörün frekansını 5,0 Hz'den başlayarak 0,1 Hz adımlarla artırınız ve gergin ip üzerinde $n=1$ yarım dalgadan oluşan duran dalga (temel harmonik) gözleninceye kadar frekansı değiştiriniz. Karın noktasında genliğinin en büyük olduğu (yani, rezonans koşulunun sağlandığı) durumda, frekansı (f) kaydediniz ve yarım dalgaboyunu ($\lambda/2$) milimetrik cetvelle ölçerek Tablo-1'e yazınız.
- Aynı gerilme kuvveti için gergin ip üzerinde $n=2, 3, 4$ ve 5 yarım dalgadan oluşan duran dalgaları gözleyiniz. Her n değeri için rezonans frekansını kaydediniz, arışık iki düğüm noktası arasındaki uzaklığı ($\lambda/2$) milimetrik cetvelle ölçünüz ve Tablo-1'e yazınız.
- Yukarıdaki ölçümleri $F = 1,0$ N ve $F = 1,5$ N gerilme kuvvetleri için tekrarlayınız. Verileri Tablo-1'ye yazınız.

Verilerin çözümlenmesi

- Her F kuvveti için elde edilen veri takımını kullanarak, dalga boyunu (λ) frekansın tersinin ($1/f$) fonksiyonu olarak çiziniz. $\lambda = v/f$ bağıntısı gereğince, bu grafik orjinden geçen bir doğrudur. Bu doğrunun eğimi gergin ip üzerinde ilerleyen enine dalgaların hızına eşittir. Doğrunun eğimini bulunuz ve Eş. (3)'den ipin boyca yoğunluğunu (μ) hesaplayınız.
- Her F kuvveti için elde edilen veri takımını kullanarak, rezonans frekansını (f) yarım dalga sayısının (n) fonksiyonu olarak çiziniz. Eşitlik (8) gereğince, bu grafik orjinden geçen bir doğrudur ve eğimi temel harmoniğin frekansına (f_1) eşittir. Bu yöntemle elde edilen f_1 değerini doğrudan ölçülen değerle karşılaştırınız.
- Deneysel verileri kullanarak, gergin ipte enine dalgaların yayılma hızının (v) ipin gerilme kuvvetiyle (F) nasıl değiştiğini inceleyiniz.

Tablo-1.

$$F = 0,5 \text{ N}$$

Yarım dalga sayısı, n	f (Hz)	$1/f$ (s)	$\lambda/2$ (cm)	λ (m)	$v = \lambda \cdot f$ (m/s)
1					
2					
3					
4					
5					

$$F = 1,0 \text{ N}$$

Yarım dalga sayısı, n	f (Hz)	$1/f$ (s)	$\lambda/2$ (cm)	λ (m)	$v = \lambda \cdot f$ (m/s)
1					
2					
3					
4					
5					

$$F = 1,5 \text{ N}$$

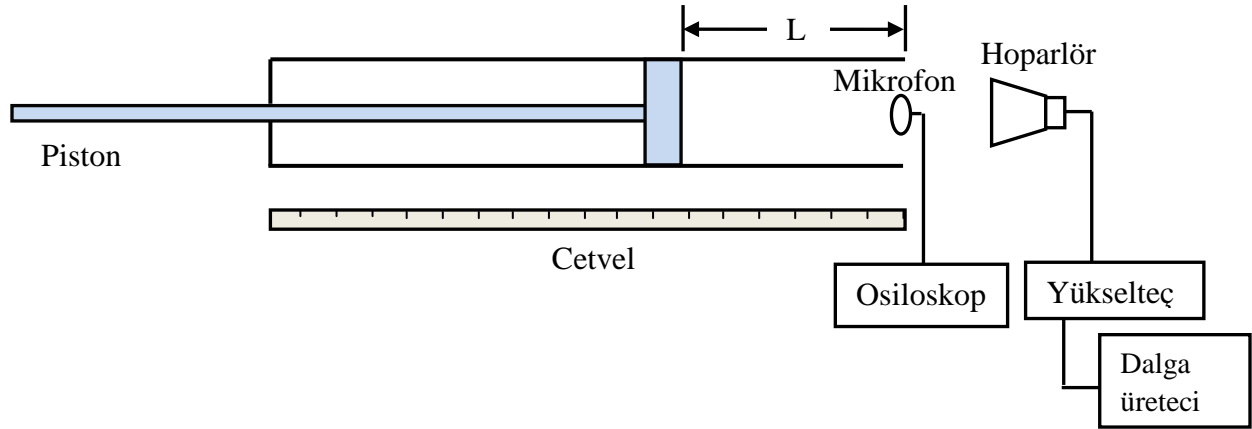
Yarım dalga sayısı, n	f (Hz)	$1/f$ (s)	$\lambda/2$ (cm)	λ (m)	$v = \lambda \cdot f$ (m/s)
1					
2					
3					
4					
5					

Kesim-2. Hava sütununda duran dalgalar

Deneyde kullanılan ses dalgası rezonans düzeneğinde (Şekil-3) bir ucu açık, diğer ucu hareket edebilen pistonla kapatılmış uzun bir cam boru vardır. Buna Kundt borusu denir.

Dalga üretici (osilatör) belirli frekansta elektriksel titreşimler (AC gerilim) üretir ve bu titreşimler hoparlör tarafından aynı frekanslı ses dalgasına dönüştürülür. Hoparlörden yayılan ses dalgaları, cam borunun açık ucundan girer ve boru içindeki havayı titreştirir. Cam borunun içinde ilerleyen ses dalgaları borunun kapalı ucundan (pistondan) geri yansır. Böylece, boru içinde sola doğru ve sağa doğru ilerleyen ses dalgaları üst üste binerek bir girişim deseni meydana getirir.

Cam borudaki hava sütununun boyu (L) pistonla değiştirilerek, rezonans koşulunu sağlayan L uzunluğu için hava sütununda bir duran dalga oluşur. Bu duran dalga, cam borunun açık ucuna yerleştirilen bir mikrofona ile algılanır. Mikrofon bulunduğu yerdeki basınç değişimlerini algılar ve elektriksel titreşimlere dönüştürür. Bu elektriksel titreşimler mikrofona bağlı olan bir osiloskobun ekranında gözlenir.



Şekil-3. Havada duran dalga oluşturmak ve sesin havadaki hızını ölçmek için kullanılan düzenek.

Dalga üreticinin ön panelinde bulunan “dalga formu” seçme butonlarından üzerinde ”sinüs” işareti olana basınız. Bu durumda, dalga üreticinin çıkış sinyali zamanla sinüsel olarak değişen bir AC gerilim olur. Bu gerilimin frekansını 900 Hz’e ayarlayınız ve genliğini orta şiddette ses işitinceye kadar artırınız. Osilatörün çıkış genliğinin çok yüksek olması hoparlörün ürettiği sesin distorsiyona uğramasına neden olur ve yüksek ses şiddeti laboratuvarında çalışanları rahatsız eder.

Cam boru içindeki pistonu sapından tutarak olabildiğince geri çekiniz. Pistonu borunun açık ucuna (mikrofona) doğru yavaşça hareket ettiriniz ve osiloskop ekranında titreşimlerin genliğini gözleyiniz. Cam boru içinde zıt yönlerde ilerleyen ses dalgaları üst üste binerek yapıcı girişim oluşturduğunda, rezonans koşulu sağlanır ve işitilen ses şiddeti en büyük (maksimum) olur. Osiloskopta titreşimlerin genliği maksimum olduğunda, pistonun konumunu (x_1) cam boru üzerindeki milimetrik cetveldən okuyunuz. Pistonu aynı yönde yavaşça hareket ettiriniz ve osiloskopta ikinci bir maksimum gözlediğinizde, pistonun konumunu (x_2) kaydediniz. Osiloskop ekranında gözlenen ardışık iki maksimuma karşılık gelen piston konumları arasındaki fark $x_1 - x_2 = \lambda/2$ olur. Böylece, havada yayılan sesin dalgaboyu ölçülür.

Bu yöntemle, havada sesin dalgaboyunu (λ) ölçerken, olabilecek hataları en aza indirmek için, her frekans için dalgaboyunu 3 kere ölçünüz ve sonuçların ortalamasını alınız.

Aynı işlemleri, dalga üreticinin frekansını sırasıyla 1000 Hz, 1100 Hz, 1200 Hz ve 1300 Hz’ e ayarlayarak tekrarlayınız. Dalgaboyunu ölçerken, gerektiğinde, karın noktaları yerine düğüm noktalarını kullanabilirsiniz. Elde edilen deneysel verileri Tablo-2’ye yazınız. Her frekans için ses hızını hesaplayınız ve ortalamasını alınız.

Ses dalgaboyunu (λ) frekansın tersinin ($1/f$) fonksiyonu olarak çiziniz. Bu grafik orjinden geçen bir doğrudur ve eğimi sesin havadaki yayılma (v) hızına eşittir.

Bu deneyde ölçülen (havada) ses hızını literatürde verilen değerle karşılaştırınız.

Tablo-2.

f (Hz)	$1/f$ (10^{-4} s)	$\lambda /2$ (cm)	λ (m)	$v = \lambda \cdot f$ (m/s)
900				
1000				
1100				
1200				
1300				
Ortalama ses hızı				

Sorular

- Deneyde kullanılan ipe aynı boyutlarda ve aynı gerilme kuvveti altındaki bir çelik telde enine dalga yayılma hızı, bu deneyde ölçülen hızdan büyük mü, yoksa küçük mü olur? Açıklayınız.
- İpteki gerilme kuvveti
 - dokuz kez büyültülürse,
 - dört kez küçültülürse
 ipteki enine dalga yayılma hızı ne oranda değişir?
- Havada ses hızının ölçülmesi deneyi havası boşaltılmış bir odada yapılmaya çalışılıyorsa, ses hızı için nasıl bir sonuç bulunurdu?

Kaynaklar

- D. Halliday, R. Resnick and J. Walker, Fundamentals of Physics (8th edition), John Wiley & Sons Inc., 2011, Chapters 16 and 17.
- Hugh D. Young ve Roger A. Freedman, Sears ve Zemansky'nin Üniversite Fiziği, Cilt I (çeviri), Pearson Education, 2009, Bölüm 15 ve 16.

OHM YASASI

Amaçlar

1. Ampermetre ve voltmetre ile ölçüm yapmayı öğrenmek.
2. Ohm yasasına uyan ve uymayan devre elemanlarının akım-gerilim grafiklerini ölçmek.
3. Ohm yasasına uyan bir devre elemanının direncini akım-gerilim grafiğinden elde etmek.

Kullanılan araçlar

Doğru akım (DC) güç kaynağı (0-12 V, 0-2 A)
Analog avometre
Sayısal avometre
1 W'lık dirençler (47 Ω , 100 Ω , 220 Ω , 330 Ω , 470 Ω)
Yarıiletken diyot
Filamanlı ampül (12V, 1,5 W)
Dirençler için bağlantı kutusu
Bağlantı kabloları

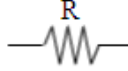
GİRİŞ

Bir iletkenin iki ucu arasına potansiyel farkı (gerilim, voltaj) uygulanırsa o iletkenin elektrik akımı (I) geçer. Elektrik akımı iletkenin herhangi bir kesitinden birim zamanda geçen yük miktarı olarak tanımlanır:

$$I = dQ/dt . \quad (1)$$

Uluslararası (SI) birim sisteminde elektrik yükünün birimi coulomb (C), zaman birimi saniye (s), akım birimi amper (A) dir: 1 A = 1 C/s.

Her iletken içinden geçen akıma zorluk gösterir. Bu zorluğa direnç denir ve devrede aşağıdaki sembol ile gösterilir:



Ohm yasası

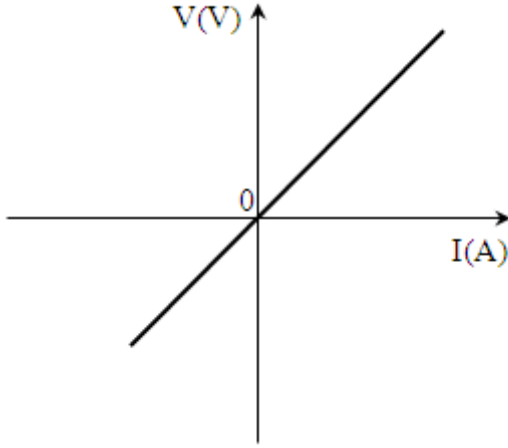
Ohm yasası “Belirli bir sıcaklıkta, bir iletkenin iki ucu arasındaki potansiyel farkı (V) o iletkenin geçen akımla (I) doğru orantılıdır ($V \propto I$)” olarak ifade edilir. Orantı sabiti R ile gösterilirse, Ohm yasası

$$V = RI \quad (2)$$

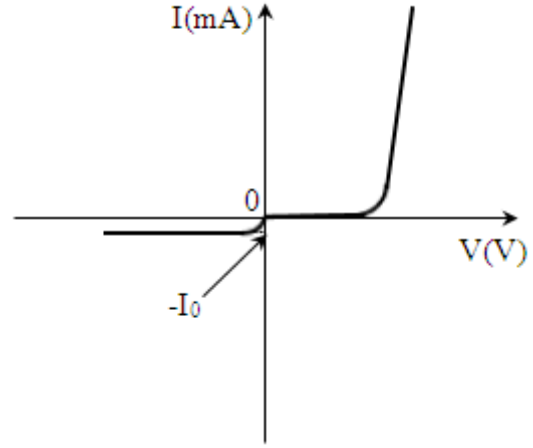
olarak yazılır. Burada R iletkenin direncidir. SI birim sisteminde potansiyel farkı (voltaj, gerilim) birimi volt (V), direnç birimi ohm (Ω)’dur: 1 Ω = 1 V/A.

Ohm yasasına uyan (omik) bir iletkenin direnci sabittir ($R=\text{sabit}$). Yani, iletkenin direnci iletkenin iki ucu arasına uygulanan gerilimden, iletkenin geçen akımdan ve akımın yönünden bağımsızdır. Bir omik direncin uçları arasındaki potansiyel farkının dirençten geçen akımla değişimi Şekil-1(a)’da görülmektedir. Akım-gerilim [$V=f(I)$] grafiği orijinden geçen bir doğrudur ve eğimi dirence eşittir.

Her devre elemanı Ohm yasasına uymayabilir. Ohm yasasına uymayan bir devre elemanına “omik olmayan” devre elemanı denir. Örnek olarak, bir yarıiletken diyodun akım-gerilim grafiği Şekil-1(b)’de verilmiştir. Görüldüğü gibi bu grafik doğrusal değildir. Yani, diyodun direnci sabit değildir. Ayrıca, diyottan geçen akımın büyüklüğü diyoda uygulanan gerilimin polaritesine bağlıdır.



Şekil-1(a). Ohm yasasına uyan bir iletkenin akım-gerilim $[V=f(I)]$ grafiği.



Şekil-1(b). Bir yarıiletken diyodun (Ohm yasasına uymayan bir aygıt) $I=f(V)$ grafiği.

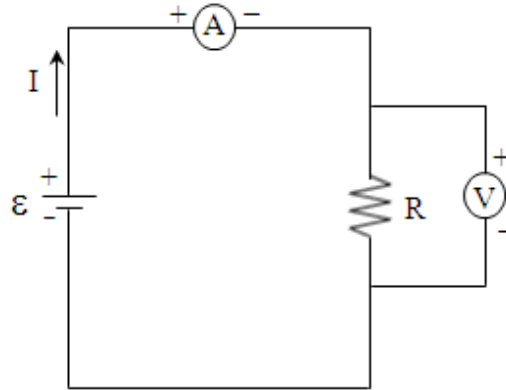
Bir devreden geçen akımı ölçmek için ampermetre devreye seri olarak bağlanır. Ampermetrenin iç direnci (R_A) bağlı olduğu koldaki toplam dirençten (R_t) çok küçük olmalıdır ($R_A \ll R_t$). Voltmetre ise gerilimi ölçülecek direncin (veya devre elemanının) iki ucu arasına paralel olarak bağlanır. Voltmetrenin iç direnci (R_V) bu direncin değerinden çok büyük olmalıdır ($R_V \gg R$).

İletkenlerin direnci sıcaklıkla değişir. Bu nedenle, deneyde kullanılan dirençlerin sıcaklığının ölçümler esnasında değişmemesi önemlidir.

DENEY

Kesim-1. Omik direncin akım-gerilim grafiği

Size verilen DC güç kaynağını, bir R direncini, DC ampermetreyi ve DC voltmetreyi Şekil-2'deki gibi bağlayarak gerekli devreyi kurunuz. DC ampermetre ve DC voltmetreyi devreye bağlarken bu ölçüm aletlerinin (+) ve (-) uçlarına dikkat ediniz. Güç kaynağının çıkış gerilimini (ϵ) değiştirerek devreye uygulanan her potansiyel farkı için dirençten geçen akımı (I) ampermetreyle ve direncin iki ucu arasındaki potansiyel farkını (V_R) voltmetreyle ölçünüz. V_R ve I verilerini Tablo-1'e yazınız.



Şekil-2. Bir R direncinin uçları arasındaki potansiyel farkını (V_R) ve dirençten geçen akımı (I) ölçmek için kurulan devre.

Tablo-1

ε (V)	1. Direnç		2. Direnç		Ampül	
	I (mA)	V_R (V)	I (mA)	V_R (V)	I (mA)	V_A (V)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Devrede kullandığınız R direnci için akım-gerilim [$V = f(I)$] grafiğini çiziniz. Ohm yasasına uyan bir direnç için bu grafiğin orjinden geçen bir doğru olması gerekmektedir. Deney noktalarına en iyi uyan doğruyu çiziniz. Bu doğrunun eğimi direncin değerini (R) verir.

Benzer ölçümleri başka bir omik direnç için tekrarlayınız. Deney verilerini Tablo-1'e yazınız. Akım-gerilim grafiğini çizerek direncin değerini elde ediniz.

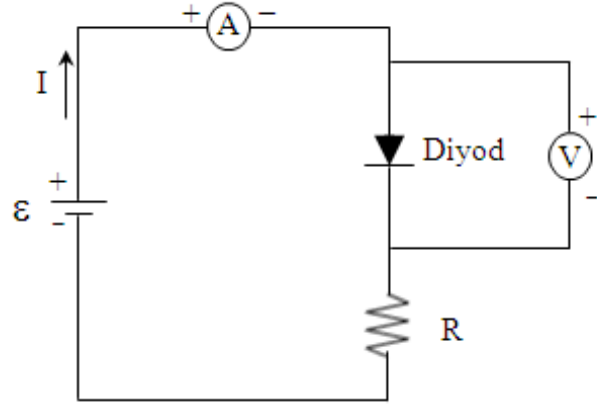
Kesim-2. Filamanlı ampülün akım-gerilim grafiği

Şekil-2'deki devrede R direncini çıkarınız ve yerine 12 V'luk filamanlı ampülü bağlayınız. Güç kaynağının çıkış gerilimini (ε) değiştirerek devreye uygulanan her potansiyel farkı için ampülden geçen akımı (I) ampermetreyle ve ampülün iki ucu arasındaki potansiyel farkını (V_A) voltmetreyle ölçünüz. V_A ve I verilerini Tablo-1'ye yazınız. Ampül için $V = f(I)$ grafiğini çiziniz ve tartışınız.

Kesim-3. Yarıiletken diyodun akım-gerilim grafiği

Uygun bir R direncini (440Ω , 6 W) yarıiletken diyoda seri olarak bağlayınız ve Şekil-3'deki devreyi kurunuz (burada R direncinin görevi diyottan geçen akımı sınırlamaktır). Bu devrede diyot ileri besleme (forward bias) altındadır. Güç kaynağının çıkış gerilimini (ε) değiştirerek devreye uygulanan uygun potansiyel farkları için diyottan geçen akımı (I) ampermetreyle ve diyodun iki ucu arasındaki potansiyel farkını (V_D) voltmetreyle ölçünüz. V_D ve I verilerini Tablo-2'e yazınız. Diyodun $I = f(V)$ grafiğini çiziniz ve tartışınız.

Şekil-3'deki devreyi diyoda geri besleme (reverse bias) uygulayacak şekilde yeniden kurunuz. Her geri besleme gerilimi için diyottan geçen akımı ölçünüz ve sonucu tartışınız.



Şekil-3. İleri besleme uygulanan bir diyodun akım-gerilim grafiğini ölçmek için kurulan devre.

Tablo-2

V_D (V)	I (mA)

Kaynaklar

Hugh D. Young ve Roger A. Freedman, Sears ve Zemansky'nin Üniversite Fiziği, Cilt II (çeviri), Pearson Education, 2009, s: 850-855.

David Halliday, Robert Resnick and Jearl Walker, Fundamentals of Physics Extended (8th edition), John Wiley & SONS, Inc., 2008, s: 692-694.

Douglas C.Giancoli, Physics for Scientists & Engineers (3rd edition), Prentice Hall, 2001, s: 638-642.

WHEATSTONE KÖPRÜSÜ YÖNTEMİYLE DİRENÇ ÖLÇÜMÜ

Amaçlar

1. Wheatstone Köprüsü'nün çalışma prensibini öğrenmek.
2. Tel sürgülü köprü devresi kullanarak metal tellerin direncini ölçmek.
3. Metal tellerin öz direncini ölçmek.

Araçlar

Tel sürgülü köprü düzeneği

DC güç kaynağı (0-12 V, 0-2 A)

Galvanometre (ortadan sıfırlı)

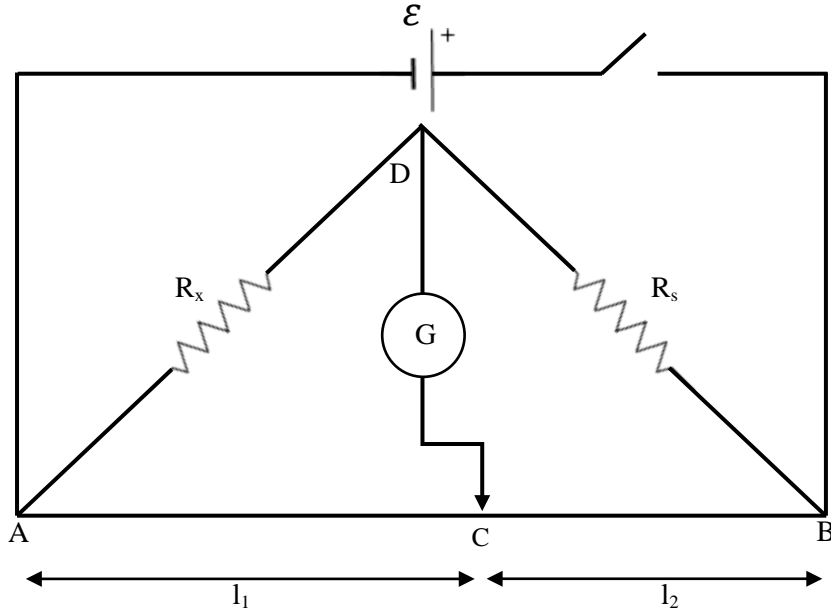
Aynı metalden üretilmiş, uzunlukları aynı (1,00 m), çapları farklı olan 5 metal tel

Dirençler (1Ω, 2Ω, 5Ω, 10Ω).

GİRİŞ

Ohm yasasına uyan bir iletkenin direnci (R), sabit sıcaklıkta, iletkenin uçları arasındaki potansiyel farkının (V) iletken üzerinden geçen akıma (I) oranı olarak tanımlanır: $R = V/I$. Burada V , I ve R niceliklerinin birimleri sırasıyla volt (V), amper (A) ve ohm (Ω)'dur.

Direnç ölçmek için çeşitli yöntemler kullanılır. Bu yöntemler arasında ampermetre-voltmetre yöntemi en yaygın olanıdır. Bu deneyde direnç ölçmek için Wheatstone köprüsü yöntemi kullanılacaktır. Köprü devresinin dengeye getirilmesi işleminde hassas galvanometre kullanılması, Wheatstone köprüsü yöntemiyle direnç ölçümünde elde edilen sonuçların daha hassas olmasını sağlamaktadır.



Şekil-1. Tel sürgülü Wheatstone köprüsü devresi.

Tel sürgülü Wheatstone köprüsü devresinde (Şekil-1) A ve B noktaları arasında genellikle $l = 1,0$ m uzunluğunda doğrusal bir direnç teli vardır. Bilinmeyen direnç (R_x) A ve D noktaları arasına, bilinen direnç (R_s) ise B ve D noktaları arasına bağlanır. Bir DC güç kaynağı köprü devresine akım sağlar. Bir galvanometre (G) (μA mertebesinde akım ölçen ayardır) D ve C noktaları arasına bağlanır. Galvanometrenin bir ucuna bağlı olan sürgü

(Şekil-1’de C noktasına gelen bir ok ile gösterilmiştir) direnç teli üzerinde hareket ettirilerek C noktasının yeri A ile B noktaları arasında değiştirilebilir.

Anahtar kapatılıp güç kaynağı devreye girdiğinde, galvanometrenin bulunduğu kol dahil köprü devresinin tüm kollarından akım geçer. Direnç teli üzerinde, galvanometreden geçen akımın sıfır olduğu ($I_G=0$) bir C noktası bulunabilir. Sürgünün direnç teline teması bu özel C noktasında sağlandığında, galvanometredeki sapma sıfır olur. Bu durumda köprü dengededir.

Dengelenmiş bir Wheatstone köprüsü devresinde galvanometreden geçen akım sıfırdır. Diğer bir ifadeyle, devredeki C ve D noktaları aynı potansiyeldedir. Bu nedenle, A ve D noktaları arasındaki potansiyel farkı (V_{AD}), A ve C arasındaki potansiyel farkına (V_{AC}); D ve B noktaları arasındaki potansiyel farkı da C ve B noktaları arasındaki potansiyel farkına (V_{CB}) eşit olur: $V_{AD} = V_{AC}$, $V_{DB} = V_{CB}$. Denge sağlandığında, R_s ve R_x dirençlerinden geçen akım i_1 ve direnç telinden geçen akım i_2 olsun. A ve C noktaları arasında l_1 uzunluğundaki köprü telinin direncine R_1 , C ve B noktaları arasında l_2 uzunluğundaki köprü telinin direncine de R_2 diyelim. Bu durumda

$$R_x i_1 = R_1 i_2 \quad (1)$$

$$R_s i_1 = R_2 i_2 \quad (2)$$

bağıntıları yazılır. Bu iki eşitlik taraf tarafa bölünürse,

$$R_s = R_x \frac{R_2}{R_1} \quad (3)$$

elde edilir.

Uzunluğu l , dik kesit alanı A ve öz direnci ρ olan bir metal telin direnci

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (4)$$

bağıntısıyla verilir. Bu bağıntı R_1 ve R_2 dirençleri için kullanılırsa,

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{l_2}{l_1} \quad (5)$$

bulunur. Eşitlik (3) ve (5) birleştirilirse,

$$R_s = R_x \frac{l_2}{l_1} \quad (6)$$

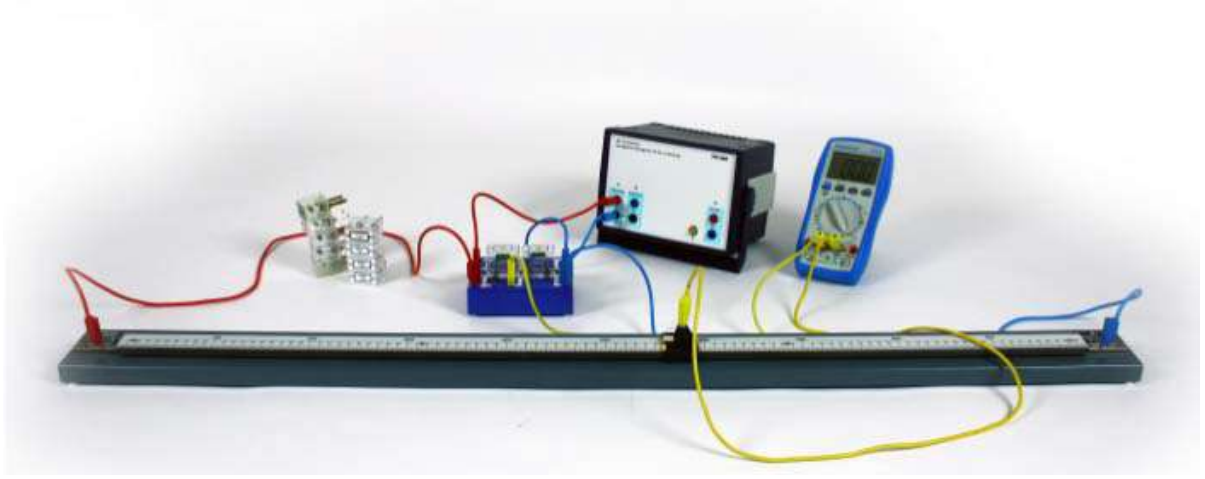
bulunur. Köprü devresi dengelendikten sonra, ölçülen l_1 ve l_2 uzunlukları ile bilinen R_s direnci Eş. (6)’da kullanılarak bilinmeyen R_x direnci elde edilir.

Wheatstone köprüsü yöntemiyle direnç ölçümünde kesinliğin yüksek ve hatanın az olması için, denge sağlandığında, C noktasının konumu direnç telinin ortasına yakın olmalıdır. Başka bir deyişle, R_s ve R_x dirençleri aynı mertebede olmalıdır.

DENEY

Kesim-1. Tel sürgülü Wheatstone köprüsünün çalışma prensibi

Tel sürgülü Wheatstone köprüsü devresinin (kurulu vaziyette) fotoğrafı Şekil-2’de görülmektedir. Bu fotoğrafı inceleyiniz ve köprü devresini $R_x=1 \Omega$ ve $R_s=2 \Omega$ dirençlerini kullanarak kurunuz. Güç kaynağını çalıştırmadan önce devreyi deney sorumlusuna mutlaka kontrol ettiriniz.



Şekil-2. Tel sürgülü Wheatstone köprüsü devresinin fotoğrafı.

Sürgüyü direnç teline (bir ucundan 5 cm uzakta) temas ettiriniz. Bu durumda, galvanometrede sağa veya sola doğru büyük bir sapma olması beklenir. Sürgüyü (yani, devredeki C noktasının konumunu) telin diğer ucuna doğru yavaşça kaydırınız ve galvanometreyi gözleyiniz. Galvanometredeki sapmanın giderek azalması gerekir. Bu durum C noktasının denge noktasına yaklaştığını gösterir. Galvanometredeki sapma ters yönde oluncaya kadar sürgüyü hareket ettirmeye devam ediniz. Galvanometrenin ters yönde sapması denge noktasının geçildiğini gösterir. Geriye dönerek denge noktasının yerini tam olarak belirleyiniz.

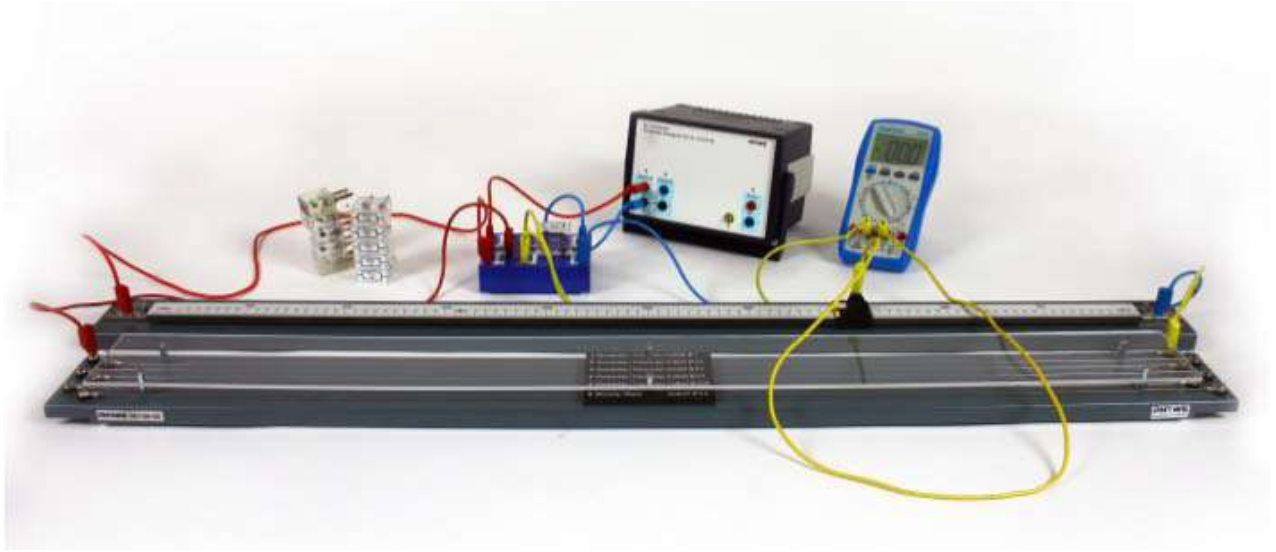
Köprü devresinde denge sağlandıktan sonra, Şekil-1’de tanımlanan l_1 ve l_2 uzunluklarını milimetrik cetvelle ölçünüz ve verileri Tablo-1’e yazınız. Deneyi Tablo-1’deki diğer R_x ve R_s dirençleri için tekrarlayınız. Deney verilerini Tablo-1’e kaydediniz ve l_2/l_1 ve R_s/R_x oranlarını hesaplayınız. Bu oranları Eş. (6)’da yerine yazarak bu bağıntının doğruluğunu sınavınız.

Deneyi yaparken direnç teline zarar vermemeye özen gösteriniz. Eğer direnç teli üzerinde bir denge noktası bulanamaz ise, ya galvanometre hep aynı yöne sapıyordur ya da galvanometreden akım geçmiyordür. Bu durumda, devrede “açık devre” veya gevşek bağlantı var demektir. Sorunu kendiniz çözemezseniz, güç kaynağını kapatınız ve deney sorumlusunu çağırınız.

Tablo-1

$R_x (\Omega)$	$R_s (\Omega)$	l_1 (mm)	l_2 (mm)	l_2/l_1	R_s/R_x
1	2				
1	5				
2	5				
2	10				

Kesim-2. Metal tellerin dirençlerinin ölçülmesi



Şekil-3. Direnci bilinmeyen metal tel ile kurulan tel sürgülü Wheatstone köprüsü devresi.

Kesim-1'deki köprü devresinde R_x olarak direnci bilinmeyen metal tellerden ilkinin bağlayınız (Şekil-3). Bilinen dirençleri ($R_s = 1 \Omega, 2 \Omega, 5 \Omega, 10 \Omega$) sırayla devreye bağlayınız. Her R_s direnci için köprü devresinin dengeye geldiği C noktasını belirleyiniz, l_1 ve l_2 uzunluklarını ölçünüz. Verileri Tablo-2'ye yazınız ve l_2/l_1 oranlarını hesaplayınız.

Tabladaki diğer metal tellerin herbirini R_x direnci olarak devreye bağlayınız, köprü devresini dengeye getirerek gerekli ölçümleri yapınız ve verileri Tablo-2'ye kaydediniz. Ölçümleri tamamladıktan sonra, her metal tel için l_2/l_1 oranını R_s direncinin fonksiyonu olarak (yani, $l_2/l_1 = f(R_s)$ grafiğini) çizin. Eşitlik (6)'ya göre bu grafik orjinden geçen bir doğru olmalıdır. Çizdiğiniz grafiğin eğiminden metal telin direncini (R_x) hesaplayınız.

Tablo-2

R_s (Ω)	1. tel			2. tel			3. tel		
	l_1 (mm)	l_2 (mm)	l_2/l_1	l_1 (mm)	l_2 (mm)	l_2/l_1	l_1 (mm)	l_2 (mm)	l_2/l_1
1									
2									
5									
10									

Tablo-2 (devamı)

R_s (Ω)	4. tel			5. tel		
	l_1 (mm)	l_2 (mm)	l_2/l_1	l_1 (mm)	l_2 (mm)	l_2/l_1
1			1			1
2			2			2
5			5			5
10			10			10

Kesim-3. Metal tellerin öz direncinin ölçülmesi

Dirençleri (R_x) ölçülen metal teller aynı malzemeden (CuNi₄₄ alaşımı) üretilmiştir. Bu tellerin uzunlukları eşittir ($l = 1,00\text{ m}$) ve her telin çapı (D) tabla üzerinde yazılıdır. Her telin dik kesit alanını $A = \pi D^2/4$ ve l/A oranını hesaplayınız, sonuçları Tablo-3'e yazınız. Bu tablodaki verileri kullanarak $R_x = f(l/A)$ grafiğini çiziniz. Eşitlik (4) gereğince bu grafik orjinden geçen bir doğrudur. Deney verilerine en iyi uyan doğruyu çiziniz ve bu doğrunun eğiminden metal tellerin üretildiği alaşımın öz direncini (ρ) bulunuz. Elde edilen sonucu literatürde CuNi₄₄ alaşımının öz direnci için verilen değerle karşılaştırınız.

Tablo-3

$l = 1,00\text{ m}$, $\pi=3,14$.

Tel No	R_x (Ω)	D (mm)	A (mm ²)	l/A (mm ⁻¹)
1				
2				
3				
4				
5				

Kaynaklar

R. A. Serway, Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics (4th edition), Harcourt College Pub., 1994, s. 815.

MANYETİK ALAN

Amaçlar

1. Farklı mıknatıslar tarafından oluşturulan manyetik alan çizgilerini gözlemek.
2. Manyetik alanın bir pusula iğnesine etkisini incelemek.
3. Yerin manyetik alanının yatay ve düşey bileşenlerini ölçmek.

Araçlar

Demir tozu (cam kavanoz içinde)	Pusula	Bağlantı kabloları
Çubuk mıknatıs	Reosta (100 Ω , 1,8 A)	Mukavva şablon
U mıknatıs	Sayısal avometre	
Helmholtz bobin çifti	Hall probe	
DC güç kaynağı (0-20V, 0-6A)	Teslametre	

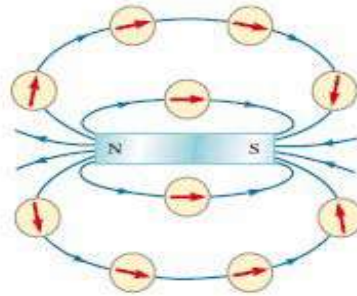
GİRİŞ

Durgun ya da hareketli bir yüklü parçacık etrafında elektrik alan oluşur. Hareket halindeki bir elektrik yükünün etrafında (elektrik alana ek olarak) manyetik alan da meydana gelir. Bir mıknatıs da çevresinde manyetik alan oluşturur. Her mıknatısın, şeklinden bağımsız olarak, N ve S olarak adlandırılan iki kutbu vardır. Bir mıknatısın N ve S kutupları diğer manyetik maddeler üzerine kuvvet uygular: aynı kutuplar birbirini iterler, zıt kutuplar birbirini çekerler.

Manyetik alan (\vec{B}) vektörel niceliklerdir. Herhangi bir yerdeki manyetik alanın yönü o noktaya konulan bir pusula ile belirlenebilir. Şekil-1'deki oklar pusulanın işaret ettiği yönü (yani, manyetik alanın yönünü) göstermektedir.

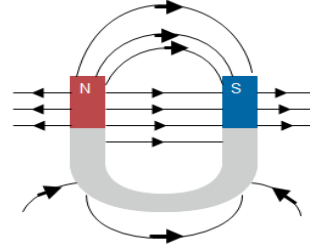
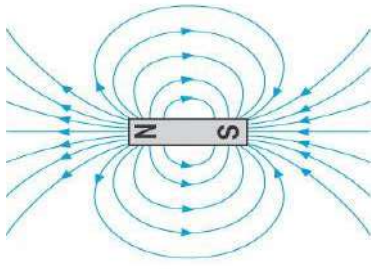
Bir mıknatısın oluşturduğu manyetik alanı geometrik olarak betimlemek için manyetik alan çizgileri kullanılır (Şekil-1, 2 ve 3). Mıknatısın dışında manyetik alan çizgileri N kutbundan çıkıp S kutbuna doğru giderler. Ancak manyetik alan çizgileri hiçbir yerde kesişmezler. Bu durum manyetik tek kutup olmadığını gösterir.

Mıknatısın çevresinde herhangi bir noktadaki manyetik alan, bu noktadan geçen manyetik alan çizgisine teğettir. Manyetik alanın büyüklüğü (B) manyetik alan çizgilerinin aralığı ile ilişkilidir. Manyetik alan çizgileri sıklaştıkça manyetik alanın büyüklüğü artar. Manyetik alanın büyüklüğü kutuplar civarında en büyüktür.



Şekil-1. Bir çubuk mıknatısın dışında manyetik alan çizgileri ve manyetik alanın yönü.

Bir U mıknatısın manyetik alan çizgilerinin bazıları Şekil-3'de çizilmiştir. U mıknatısın kolları arasında manyetik alan çizgileri eşit aralıklıdır: bu bölgede manyetik alan homojendir (yani, manyetik alanın büyüklüğü ve yönü sabittir).



Şekil-2. Çubuk mıknatısın manyetik alan çizgileri. Şekil-3. U mıknatısın manyetik alan çizgileri.

Yükü q ve hızı \vec{v} olan bir parçacık manyetik alan (\vec{B}) içine girerse, parçacığa

$$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B} \quad (1)$$

bağıntısıyla verilen bir manyetik kuvvet etki eder. \vec{F}_B kuvveti \vec{v} ve \vec{B} vektörlerine diktir ve yönü sağ el kuralı ile belirlenir. Bu kuvvetin büyüklüğü

$$F_B = qvB \sin \theta . \quad (2)$$

Burada θ , hız (\vec{v}) ve manyetik alan (\vec{B}) arasındaki küçük açıdır. SI birim sisteminde manyetik alanının birimi tesla (T)'dir: $1 \text{ T} = 1 \text{ N}/(\text{A.m})$. CGS birim sisteminde manyetik alan birimi gauss (G)'dir: $1 \text{ T} = 10^4 \text{ G}$.

Pusula iğnesi bir çubuk mıknatıstır. Bir pusula iğnesi homojen manyetik alan içine konulursa, pusula iğnesine net dönme momenti (tork) etki eder ve pusula iğnesi manyetik alana paralel yönelinceye kadar döner.

Dünya'nın manyetik alanı (\vec{B}_Y) olduğu bilinmektedir. Bir pusula iğnesinin kuzey kutbu, \vec{B}_Y alanının uyguladığı tork nedeniyle, Dünya'nın kuzey coğrafik kutbuna doğru yönelir. Bu gözlem Dünya'nın kuzey manyetik kutbunun güney coğrafik kutbunun yakınına ve güney manyetik kutbunun kuzey coğrafik kutbunun yakınına yerleşmiş olduğunu gösterir.

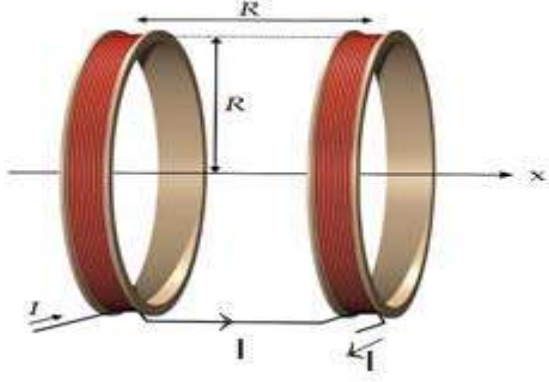
Bu deneyin temel amacı Dünya'nın manyetik alanının (\vec{B}_Y) büyüklüğünü ölçmektir. Bunun için geliştirilen yöntemde "Helmholtz bobin çifti" denilen bir manyetik alan kaynağı kullanılır.

Helmholtz bobin çifti

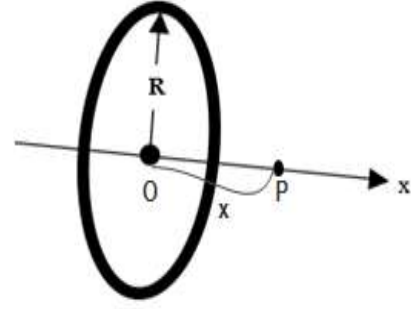
Helmholtz bobin çifti sarım sayısı N ve yarıçapı R olan iki özdeş çembersel bobinden oluşur (Şekil-4). Bu bobinler, aralarındaki uzaklık bobinlerden birinin yarıçapına (R) eşit olacak şekilde, bir ortak eksene dik ve simetrik olarak yerleştirilirler. Bobinlerden aynı yönde ve aynı büyüklükte doğru akım (I) geçtiğinde, bobinlerin arasındaki bölgede ortak eksen yakınında toplam manyetik alan (\vec{B}_H) yaklaşık olarak homojen olur. Helmholtz bobinlerinin ürettiği bu manyetik alanın büyüklüğü (B_H), bobinlerden geçen akım ile doğru orantılıdır: $B \propto I$. Orantı sabitine k dersek,

$$B_H = kI \quad (3)$$

Diğer bir ifadeyle, Helmholtz bobin çifti, büyüklüğü ve yönü bobinlerden geçen doğru akım ile kontrol edilebilen, homojen manyetik alan üretmek için kullanılır. Eşitlik (3)'teki k orantı sabiti aşağıdaki gibi hesaplanır.



Şekil-4. Helmholtz bobin çifti.



Şekil-5. Çembersel bobin.

Sarım sayısı N ve yarıçapı R olan bir çembersel bobinin merkezinden geçen dik bir eksen (simetri eksen) üzerinde ve orijinden x kadar uzaklıkta P noktasında (Şekil-5) oluşan manyetik alanın büyüklüğü

$$B_1(x) = \frac{\mu_0 N I R^2}{2(R^2 + x^2)^{3/2}} \quad (4)$$

bağıntısıyla verilir. Burada, I bobinden geçen doğru akım ve $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m / A}$ boş uzayın manyetik geçirgenliğidir. $x = R/2$ noktasında manyetik alanın büyüklüğü

$$B_1\left(\frac{R}{2}\right) = \frac{\mu_0 N I R^2}{2(R^2 + (R/2)^2)^{3/2}} \quad (5)$$

Helmholtz bobin çiftinde (birinci bobinin merkezi $x=0$ 'da, ikinci bobinin merkezi $x=R$ 'de) bobinlerden aynı akım geçirilince, simetriden dolayı, bobinler arasında tam orta noktadaki manyetik alanın büyüklüğü bir bobinin oluşturduğu alanın iki katına eşit olur:

$$B_H = 2B_1\left(\frac{R}{2}\right) = \frac{\mu_0 N I R^2}{(R^2 + (R/2)^2)^{3/2}} = \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \frac{\mu_0 N I}{R} \quad (6)$$

Buradan Eş. (3)'deki orantı sabitinin

$$k = \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \frac{\mu_0 N}{R} \quad (7)$$

bir bobinin sarım sayısına ve yarıçapına bağlı olduğu görülür.

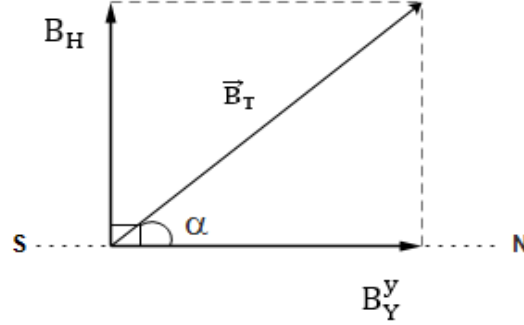
Dünya'nın manyetik alanı

Dünya'nın manyetik alanı (\vec{B}_Y) yatay ve düşey olmak üzere iki bileşene ayrılabilir. Helmholtz bobin çiftinde bobinlerden akım geçmediğinde $B_H = 0$ olur. Bu durumda, ortak eksen üzerine tam ortaya yatay olarak yerleştirilen bir pusula iğnesi Dünya'nın manyetik alanının yatay bileşeni (B_Y^Y) doğrultusunda (kuzey-güney doğrultusu) yönelir. Helmholtz bobinlerinden aynı akım geçtiğinde, pusula iğnesi $\vec{B}_T = \vec{B}_H + \vec{B}_Y^Y$ toplam manyetik alanı doğrultusunda yönelir.

Helmholtz bobin çifti ortak ekseninin kuzey-güney doğrultusuna dik olduğu özel durum (Şekil-6) için

$$\tan \alpha = \frac{B_H}{B_Y^Y} = \frac{kI}{B_Y^Y} \quad (8)$$

elde edilir. Bobinlerden geçen akım (I) ve α sapma açısı ölçülerek, Eş. (8)'den Dünya'nın manyetik alanının yatay bileşeni (B_Y^y) bulunur.



Şekil-6. Yerin manyetik alanının yatay bileşeni ve Helmholtz bobin çiftinin oluşturduğu manyetik alan.

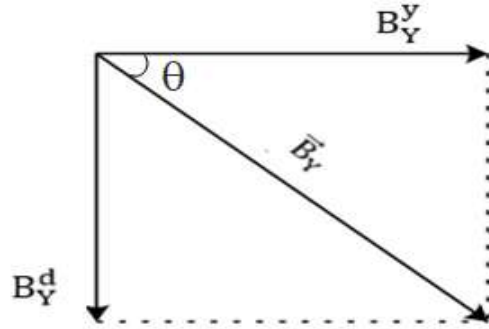
Dünya'nın manyetik alanının düşey bileşenini (B_Y^d) ölçmek için şu yöntem kullanılır: Helmholtz bobinlerinden akım geçmediği durumda, pusulayı düşey konuma getirip Dünya'nın toplam manyetik alanı (B_Y) ile yatay bileşeni (B_Y^y) arasındaki θ açısı ölçülür (Şekil-7). Sonra pusulayı ters yönden düşey konuma getirerek θ açısını tekrar ölçülür ve bu iki açının ortalamasını alınır. Şekil-7'den görüldüğü üzere

$$\tan \theta = \frac{B_Y^d}{B_Y^y}. \quad (9)$$

Dünya'nın toplam manyetik alanının büyüklüğü

$$B_Y = \sqrt{(B_Y^y)^2 + (B_Y^d)^2} \quad (10)$$

bağıntısından hesaplanır.



Şekil-7. Yerin manyetik alanı ve bileşenleri.

DENEY

Kesim-1. Manyetik alan çizgileri

Deney masasında bir cam kavanoz içindeki demir tozlarını ince bir katman oluşturacak şekilde mukavva şablonun üzerine serpiniz. Mukavva şablonu demir tozlarıyla birlikte çubuk mıknatısın üzerine koyunuz. Demir tozları küçük birer pusula iğnesi gibi davranarak çubuk mıknatısın manyetik alan çizgileri boyunca dizilirler. Mukavva şablona hafif hafif vurarak bu dizilmeye yardımcı olunuz. Gördüğünüz deseni bir kağıda çiziniz. Aynı işlemleri U mıknatıs için tekrarlayınız.

Helmholtz bobin çiftinin oluşturduğu manyetik alan çizgilerini gözlemek için Şekil-8'deki deney düzeneğini kurunuz. Bu düzenekte Helmholtz bobinleri, reosta, DC güç kaynağı ve sayısal ampermetre seri bağlıdır. DC güç kaynağını ve reostayı her bobinden aynı yönde 2 A akım geçecek şekilde ayarlayınız. Üzerinde demir tozları bulunan mukavva şablonu Helmholtz bobin çiftinin simetri eksenini boyunca yatay olarak yerleştiriniz. Bobin çiftinin oluşturduğu manyetik alan çizgilerini gözleyiniz ve bir kağıda çiziniz. Aynı işlemleri bobinlerden zıt yönde 2 A akım geçirerek tekrar ediniz.



Şekil-8. Deney düzeneği.

Kesim-2. Eşitlik (3)'deki k orantı sabitinin bulunması

Helmholtz bobin çiftinin oluşturduğu manyetik alanı (B_H) ölçmek için Hall probe (Hall algıç) ve teslametre kullanılır. Hall algıç bobin çiftinin simetri eksenine üzerine bobinler arasına tam ortaya yerleştiriniz ve teslametreye bağlayınız. Deneye başlamadan önce teslametrenin sıfır ayarını yapınız.

Seri bağlı Helmholtz bobinlerinden (Şekil-(8) Tablo-1'de verilen akımları geçirin ve B_H alanını teslametre ile ölçünüz. Verileri Tablo-1'e yazınız.

Her bobindeki sarım sayısı $N= 154$

Bobinlerin yarıçapı $R= 0,20\text{ m}$

Tablo-1

I (A)	B_H (mT)
0,5	
1,0	
1,5	
2,0	
2,5	
3,0	

Milimetrik grafik kağıdına B_H alanını akımın (I) fonksiyonu olarak çiziniz. Eşitlik (3)'e göre bu grafik orjinden geçen bir doğrudur. Deney noktalarına en iyi uyan doğruyu çiziniz ve bu doğrunun eğiminden k orantı sabitini hesaplayınız.

Kesim-3. Dünya'nın manyetik alanının yatay bileşeninin ölçülmesi

Dünya'nın manyetik alanının yatay bileşenini (B_Y^Y) ölçmek için önce pusulayı kullanarak kuzey-güney doğrultusunu belirleyiniz. Sonra Helmholtz bobinlerini \vec{B}_H alanı kuzey-güney doğrultusuna dik olacak şekilde yerleştiriniz (Şekil-6). Pusulayı bobinlerin arasına simetri eksenine üzerine tam ortaya yatay olarak yerleştiriniz. Bobinlerden Tablo-2'de verilen akımları geçiriniz. Her akım değeri için pusulanın kuzey-güney doğrultusundan sapma açısını (α) ölçünüz, bu açının tanjantını hesaplayınız ve Tablo-2'ye yazınız.

Tablo-2

I (mA)	α	$\tan\alpha$	I (mA)	α	$\tan\alpha$
0			100		
20			120		
40			140		
60			160		
80			180		

Milimetrik grafik kağıdına $\tan\alpha$ 'yı akımın fonksiyonu olarak çiziniz. Deney noktalarına en iyi uyan doğruyu çiziniz. Elde edilen doğrunun eğiminden (Eş. (8) gereğince) Dünya'nın manyetik alanının yatay bileşenini hesaplayınız.

Kesim-4. Dünya'nın manyetik alanının düşey bileşeninin ölçülmesi

Helmholtz bobinlerden akım geçmediği durumda, pusulayı (açı-ölçer halkası ile birlikte) düşey konuma getirerek Şekil-7'de tanımlanan θ açısını ölçünüz (Tablo-3'de θ_1 açısı). Pusulayı ters yönden düşey konuma getirerek θ açısını tekrar ölçünüz (Tablo-3'de θ_2 açısı). Verileri Tablo 3'e yazınız. Bu iki açının ortalamasını hesaplayınız.

Tablo-3

θ_1	θ_2	θ_{ort}

Kesim-3’de bulunan (B_Y^y) değerini ve θ_{ort} açısını Eş. (9)’da yerine koyarak, Dünya’nın manyetik alanının düşey bileşenini (B_Y^d) hesaplayınız. Elde edilen yatay (B_Y^y) ve düşey (B_Y^d) bileşenleri Eş. (10)’da kullanarak, Dünya’nın manyetik alanının büyüklüğünü (B_Y) hesaplayınız. B_Y için bulunan değeri literatürde verilen değerle karşılaştırınız.

Kaynaklar

1. Hugh D. Young ve Roger A. Freedman, Sears and Zemansky’nin Üniversite Fiziği, Cilt 2, Pearson Education, 2010, s.917-921
2. Eylem ve boylam bilgilerine göre, Dünya’nın manyetik alanının değerleri için web adresi: <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web>