

**Y.T.Ü.  
FİZİK BÖLÜMÜ  
2024-2025 GÜZ YARIYILI  
FİZİK 3 LABORATUVARI  
DENEY KİTAPÇIĞI**

**Y.T.Ü.**  
**Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü**  
**2023-2024 Bahar Yarı Yılı Fizik Laboratuvarı-3**

**KURALLAR**

1. Her öğrenci toplam 8 deney yapacak, bütün deneylerin imzası alınmış olarak finalde deney çevrimini ve raporlarını teslim edecektir. İmzası eksik olan öğrenciler final sınavına giremeyecektir.
2. Her öğrenci laboratuvara gelirken yanında, kendisine ait **bilimsel hesap makinesi, cetvel ve milimetrik grafik kâğıdı** bulunduracaktır.
3. Deney imza sayfası yanınızda bulunmalıdır
4. **Laboratuvara 15 dakikadan fazla geç kalan öğrenci deneye alınmayacaktır.**
5. Her öğrenci yapacağı deneye gelmeden önce deneyin teorik bilgisini **föy dışında farklı kaynaklardan da araştırıp deney hakkında genel bir bilgi yazacaktır** ve **kullandığı kaynakları** belirtecektir. **Deneye hazırlamadan gelen öğrenci deneye başlatılmayarak telafiye bırakılacaktır.**
6. **Öğrencinin yapacağı deneye hazır olup olmadığını değerlendirmek amacıyla deneyin sorumlu öğretim elemanı tarafından sorular sorulacaktır. Yetersiz bulunan öğrenci deneye başlatılmayarak telafiye bırakılacaktır.**
7. Her öğrenci her deney sonrasında; **raporunu** hazırlayacak, bir sonraki deneye geldiğinde deneyin sorumlu öğretim elemanına imzalatacaktır.
8. **Deney yapmaya gelen öğrenci, bir hafta önce yaptığı deneyin raporunu hazırlamamışsa o deneyin notu 00 (sıfır) olacaktır.**
9. Deney raporunda grafik çizimleri dışındaki tüm bilgiler **tükenmez kalem** ile hazırlanacak, grafikler ise **kurşun kalem** ile çizilecektir.
10. Rapor yazımı **el ile veya Word** kullanılarak yapılabilir.
11. Deney bitiminde; deney setleri başlangıç durumunda ve masalar **temiz** şekilde bırakılacaktır.
12. **Her öğrencinin, bu ders için toplam 2 telafi hakkı vardır. 2'den fazla telafisi olan öğrenci devamsızlık nedeniyle kalır ve dönem sonu notu (F0) olarak işlenir.**
13. Her deney için not ağırlığı aynıdır. Deney performansı ve deney raporundan alınan puanlar ile deney notu verilecektir. Her bir deneyin deney raporu **öğretim elemanı tarafından imzalandıktan sonra, o deney 100 üzerinden değerlendirilecektir.**
14. Yapılan deneylerin (8 deney) ortalaması alınacak ve 1. Ara sınav notu olarak değerlendirilecektir.
15. 2. Ara sınav, deney takviminde ilan edilecek tarihte yazılı sınav olarak yapılacaktır.
16. Final sınavı, laboratuvar uygulaması olacak şekilde yapılacaktır.

## O2 ÇİFT YARIKLA MİKRODALGALARIN GİRİŞİMİ

**AMAÇ:** Çift yarıkla elde edilen girişimden mikrodalgaların dalga boyunun hesaplanması.

### BİLGİ:

**Mikrodalga:** Mikrodalga terimi, 1 cm'den 1 m'ye kadar değişen dalga boyuna sahip elektromanyetik dalgaları açıklamak için kullanılır. Bu dalga boylarına karşılık gelen frekans aralığı 300 MHz'den 30 GHz'e kadardır.

**Işığın Dalga Modeli:** Işığın dalga yapısını gösteren üç temel olay; girişim, kırınım ve polarizasyondur.

**Girişim:** İki veya daha çok dalga birbirlerinden bağımsız şekilde aynı ortamda ilerleyebilirler. Fakat iki farklı dalga aynı anda aynı uzay noktasında bulunurlarsa, buna dalgaların *üst üste binmesi* (süper pozisyon) denir. Girişim; iki veya daha fazla dalganın üst üste binerek, yeni bir dalga şeklinde sonuç vermesidir. İki elektromanyetik(e-m) dalga, e-m dalgayı oluşturan elektrik ve manyetik alan vektörleri vektörel olarak toplanabildiği için girişim yaparlar. Girişim sonucu o uzay noktasında var olan yeni bir elektrik alan ve manyetik alan değerlerine sahip bir e-m dalga oluşur.

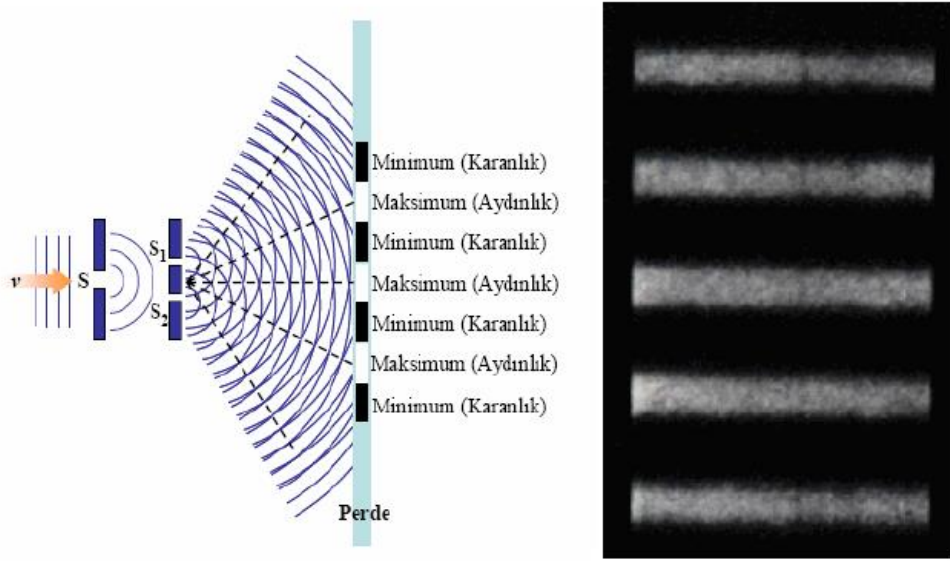
İki farklı kaynaktan gelen e-m dalgaların girişim oluşturabilmeleri için:

1. Kaynaklar koherent (faz uyumlu) olmalıdır. Kaynakların koherent olması; kaynaklar tarafından üretilen dalgaların ya aynı fazda ya da aralarında sabit bir fazın olması demektir.
2. Kaynaklar tek dalga boylu (monokromatik) olmalıdır.

İki dalganın dalga boyu değerleri aynı ise mevcut uzay bölgesinde *yapıcı (kuvvetlendirici) girişim*, ya da *yıkıcı (yok edici) girişim* yaparlar. Eş dalga boylu ve eş fazlı iki veya daha fazla dalga üst üste bindiğinde (tepeleri veya çukurları çakışık), iki dalganın genliklerinin toplamı kadar genliğe sahip yeni bir dalga oluşur. Böyle bir dalga oluştuğunda bu olaya *yapıcı girişim* denilmektedir. İki özdeş dalga, birinin tepesi diğerinin çukuruyla çakışacak şekilde üst üste binerse *yıkıcı girişim* yaparak birbirlerini söndürürler.

**Çift Yarıқта Girişim:** Küçük bir S yarığı, monokromatik bir ışık kaynağı ile aydınlatıldığında, S yarığı Huygens prensibine göre bir kaynak gibi davranır. Bu yarıktan geçen ışık dalgaları koherent özelliğine sahip olacaktır. Çünkü yarığın boyutları çok küçük olduğundan, ışık kaynağından gelen ışık dalgalarından ancak bir teki belli bir anda yarıktan geçebilir. Yarığın arkasına üzerinde iki tane yarık bulunan bir yüzey yerleştirilirse, iki koherent ışık kaynağı elde edilmiş olur. Koherent dalgaların üst üste binmesi sonucu, bir ekran üzerinde art arda yer alan *aydınlık (maksimum)* ve *karanlık (minimum)* bantlardan oluşmuş desene *girişim deseni* denir.  $S_1$  ve  $S_2$ 'den çıkan ışık dalgaları, ekranda herhangi bir

noktada yapıcı girişim oluşturlarsa aydınlık, yıkıcı girişim oluşturlar ise karanlık bantlar oluşur. Bu aydınlık ve karanlık bantlara saçak denir.



**Şekil 1.** Çift yarıқта girişim deneyinin geometrisi

Yarıklardan çıkan dalgalar perdeye  $L_1$  ve  $L_2$  yollarını alarak ulaşırlar (Şekil 3).  $L_1$  ve  $L_2$  yolları arasındaki fark  $L_2-L_1=d\sin\theta$  şeklindedir. Yol uzunluğu farkı  $\Delta L= L_2-L_1$ 'dir. Eğer  $\Delta L$  sıfır veya dalga boyunun tam katları ise, bu dalgalar aynı fazda perdeye ulaşarak yapıcı girişim yaparlar. Yol uzunluğu farkı dalga boyunun yarı katları ise (yani iki dalga arası faz farkı  $180^\circ$  ise) dalgalar yıkıcı girişim yaparlar.

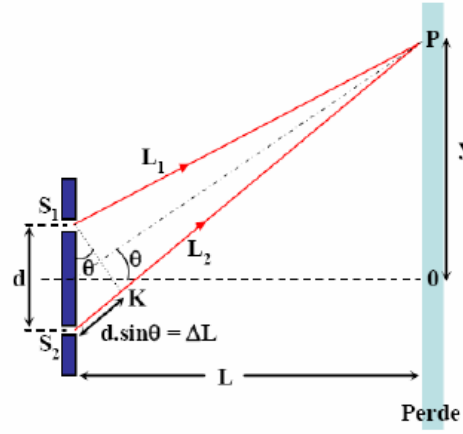
**Yapıcı girişim şartı;**

$$d\sin\theta = n\lambda \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (1)$$

**Yıkıcı girişim şartı;**

$$d\sin\theta = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad (n = 0, 1, 2, \dots) \quad (2)$$

Burada m merteye numarasıdır. Merkezi parlak saçak sıfırıncı mertebeden maksimumdur ve merkezi saçığın her iki tarafındaki ilk maksimumlara (parlak saçaklara) birinci mertebeden maksimum denir. Yok edici girişimde de karanlık saçaklar merteye ile ifade edilir.



**Şekil 2:** Perdede girişim deseni oluşumunun geometrik gösterimi

Şekil 2’de mikrodalga kaynağından çıkan bir dalganın  $S_1$  ve  $S_2$  yarıklarına doğru yayılarak orada iki dalgaya ayrılmasını ve merkezi eksen den  $y$  uzaklığındaki  $P$  noktasında dalgaların girişimini gösterir.  $P$  noktasında girişim yapan dalgalar  $L_1$  ve  $L_2$  yollarını almıştır. Bu iki dalganın aldıkları yol farkı

$$\Delta L = L_1 - L_2 = d \sin \theta \quad (3)$$

yazılabilir. Burada  $d$  yarıklar arası mesafedir. Eğer  $P$  noktasına ulaşan dalgalar için yol farkı,  $\Delta = (2n + 1)\lambda/2$  ise girişim yok edicidir. Şu halde yok edici girişim yerleri,

$$\sin \theta = \frac{y}{\sqrt{L^2 + y^2}} \quad (4)$$

olduğundan

$$d \frac{y}{\sqrt{L^2 + y^2}} = (n + \frac{1}{2})\lambda \quad n=0, 1, 2, 3, \dots \quad (5)$$

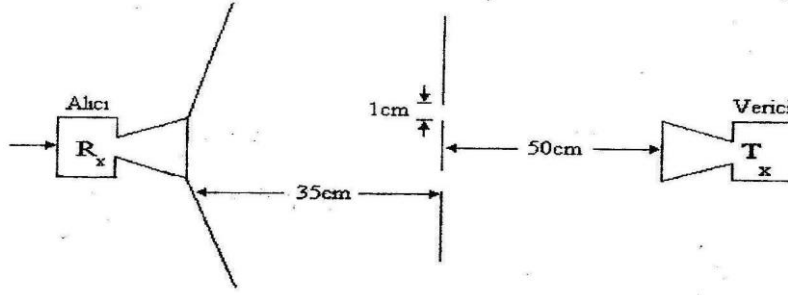
bağıntısı ile belirlenir. Eğer  $P$  noktasına ulaşan dalgalar arasındaki yol farkı  $n\lambda$  ise girişim kuvvetlendiricidir. Kuvvetlendirici girişim yerleri

$$d \frac{y}{\sqrt{L^2 + y^2}} = n\lambda \quad n=1, 2, 3, \dots \quad (6)$$

ile belirlenir.

## Deneyin Yapılışı:

1. Şekil 6'daki deney düzeneği hazırlanır. Bu düzenekte, mikrodalgaları yayan bir verici ( $T_x$ ), bir sinyal alıcısı ( $R_x$ ) ve çift yarığı oluşturmak için iki büyük ( $210 \times 210 \text{ mm}^2$ ) ve bir küçük ( $210 \times 60 \text{ mm}^2$ ) levha bulunur. Düşey yarıkların her biri  $x=1 \text{ cm}$  genişlikte olacak şekilde levhalar ayarlanır.  $T_x$  ve  $R_x$ 'in çıkış uçları yatay doğrultuda olacak şekilde destekler üzerine yerleştirilir.



2.  $100 \mu\text{A}$ 'lık ampermetreye bağlı alıcı ( $R_x$ ), düşey iki yarıktan yaklaşık 50 cm uzaklıkta levhalara paralel bir doğru boyunca 1 cm aralıkla hareket ettirilerek bu seri konumlar için ölçümler alınır. Elde edilen değerler Tablo-1'e işlenir ve bu yarık genişliği için  $I = f(y)$  grafiği çizilir.

$x=1 \text{ cm}$  için;

Tablo-1

$y_+(\text{cm})$	$I(\mu\text{A})$	$y_-(\text{cm})$	$I(\mu\text{A})$
0		0	
1		1	
2		2	
3		3	
4		4	
5		5	
6		6	
7		7	
8		8	
9		9	
10		10	
11		11	
12		12	
13		13	
14		14	
15		15	

3. Grafikteki yol farkının sıfır olduğu girişim maksimum noktasının sağındaki veya

solundaki  $n=0$  değerine karşılık gelen girişimin minimum noktası kullanarak (5) bağıntısından mikrodalgaların dalgaboyu hesaplanır.

$$d \frac{y}{\sqrt{e^2 + y^2}} = (2n + 1) \frac{\lambda}{2} \quad n = 0,1,2,\dots \quad (5)$$

$$\lambda_1 =$$

4.  $n=1$ 'e karşılık gelen ilk girişim maksimum noktası (grafiğin sağındaki veya solundaki) kullanılarak (6) bağıntısından dalgaboyu hesaplanır. Elde edilen sonuçların ortalaması bulunur.

$$d \frac{y}{\sqrt{e^2 + y^2}} = n \frac{\lambda}{2} \quad n = 1,2,\dots \quad (6)$$

$$\lambda_2 =$$

5. Bulunan bu iki dalgaboyunun ortalaması alınarak ve kullanılan mikrodalgaların gerçek değeri kullanılarak deneyde elde edilen dalgaboyu hesaplarında yapılan bağıl hata bulunur.

$$\lambda_{Ortalama} =$$

$$\frac{|\Delta\lambda|}{\lambda_{Gerçek}} =$$

## O4 AYNALAR

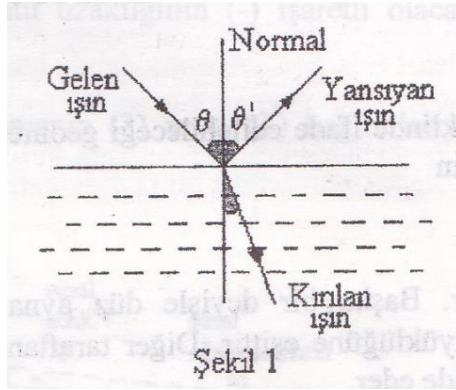
**AMAÇ:** Düz, çukur ve tümsek aynalarda görüntü oluşumu ve ilgili büyüklüklerin belirlenmesi.

### BİLGİ:

**Yansıma:** Su yüzeyine düşen bir ışın demetinin bir kısmının su içine girerek kırıldığı, bir kısmının ise su yüzeyinden yansıdığı bilinmektedir. Ayrıca su yüzeyine düşen ışın demetinin ve yansıyan ışınların su yüzeyinin normali ile eşit açı yaptıkları da kolaylıkla belirlenebilir (Şekil 1). Buna *yansıma yasası* denir ve

$$\theta = \theta' \quad (1)$$

açısal eşitliği ile ifade edilir.



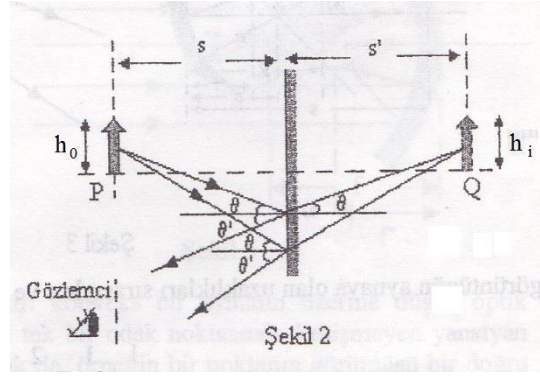
**Düz Ayna:** Üzerine düşen ışınların büyük bir kısmını, hemen hemen tamamını yansıtan bir cisim *ayna* olarak adlandırılır. Işınlardan yansıtıldığı yüzey, kısaca yansıma yüzeyi düzlem olan cisimler *düz (düzlem) ayna* olarak adlandırılırlar. Işınlardan düz bir aynada yansıtıldıktan sonra birbirlerine yaklaşmazlar veya uzaklaşmazlar; kısaca “düz bir ayna ışığı odaklamadan yansıtır”.

Bir düz ayna önündeki bir cisimden yayılan ışınlar ayna yüzeyinde yansır; ancak bunların doğrultuları aynanın arka tarafında kesişerek cismin görüntüsünü oluşturur. Bu görüntü bir ekran üzerine düşürülebilirse *gerçek (hakiki) görüntü*; düşürülemezse *sanal (zahiri) görüntü* olarak adlandırılır. Başka bir deyişle *yansıyan ışınlar görüntüyü oluşturursa hakiki görüntü; yansıyan ışın doğrultuları görüntüyü oluşturursa sanal görüntü* elde edilir.

Cismin aynaya olan *s* uzaklığına *cisim uzaklığı*; görüntünün aynaya olan *s'* uzaklığına ise *görüntü uzaklığı* denir. Düz ayna için

$$s = -s' \quad (2)$$





dir. Bu bağıntıdaki (-) işareti görüntünün sanal olduğunu belirtir. Dolayısıyla düz ayna ile gerçek görüntü elde edilemeyeceği anlaşılabilir. Diğer taraftan cisim ile görüntüyü birleştiren ve ayna düzlemine dik olan PQ doğrusu da çok zaman *optik eksen* olarak adlandırılır. Diğer taraftan aynanın uzay parçasının, önünde ve arkasında olmak üzere iki kısma ayrıldığı söylenebilir: ön tarafına, yani yansıyan ışın tarafına *gerçek bölge*; arkasına ise *sanal bölge* denir. Dolayısıyla sanal bölgede oluşan görüntünün sanal; gerçek bölgede oluşanın ise gerçek görüntü oldukları söylenebilir. Ayrıca gerçek bölgedeki cisim ve görüntü uzaklıkları, keyfi olarak (+); diğerindekiler ise (-) işaretle ifade edilirler. İşte bu nedenle (2) bağıntısındaki görüntü uzaklığı için (-) işareti kullanılır.

Şekil 2'deki cismin büyüklüğü  $h_0$ , sanal görüntünün büyüklüğü ise  $h_i$  ise

$$m = \frac{h_i}{h_0} \quad (3)$$

oranına *büyütme* denir. Ancak bu büyütmenin yukarıdaki keyfi kabullerle

$$m = h_i/h_0 = -(s'/s) \quad (3')$$

şeklinde ifade edilebileceği geometrik olarak kanıtlanabilir. Dolayısıyla düz bir ayna için

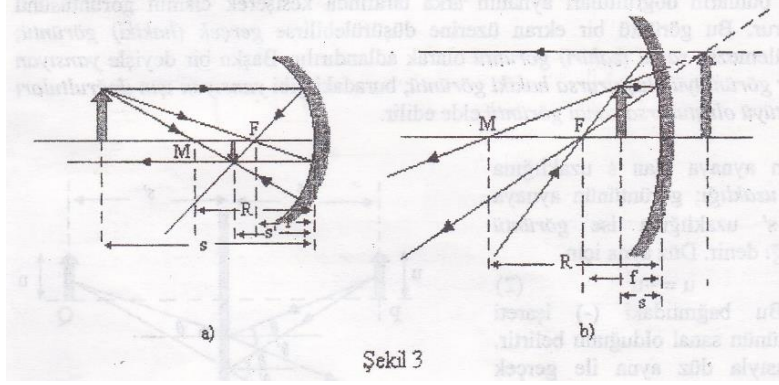
$$m = -(s'/s) = +1 \quad (3'')$$

dir. Başka bir deyişle düz ayna ile oluşturulan görüntünün büyüklüğü, cismin büyüklüğüne eşittir. Diğer taraftan (3'') deki (+) işareti, cisme göre ters olmadığını ifade eder.

**Küresel Aynalar:** Yansıtıcı yüzeyi, bir kürenin yüzey parçasının iç veya dış yüzü olan ayna *küresel ayna* olarak adlandırılır. Küresel aynalar, *konkav (çukur)* ve *konveks (tümsek)* gibi adlandırılarak iki grupta toplanırlar: bazen bunlar *içbükey* ve *dışbükey* ayna olarak da adlandırılırlar. Küresel bir aynanın bir çapı boyunca ince bir kesit alınırsa, büyük bir yaklaşımla *silindirik ayna* elde edilir.

Konkav bir ayna ile eğer cisim Şekil 3a'daki gibi aynanın M eğrilik merkezinden daha uzakta ise gerçek bir görüntü elde edilir. Aynanın R eğrilik yarıçapı ile cismin ve görüntünün aynaya olan uzaklıkları sırasıyla s ve s' gerçek tarafta olduklarından

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R} \quad (4)$$



bağıntısını geometrik olarak kanıtlamak mümkündür. Ancak bu bağıntı, R/2 uzaklığındaki F odak noktası, ve bu noktanın aynaya olan

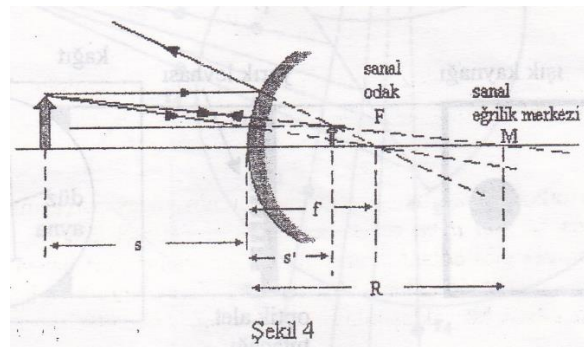
$$f = \frac{R}{2} \quad (5)$$

uzaklığı *odak uzaklığı* olarak tanımlanırsa

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} \quad (4')$$

şeklinde ifade edilebilir. Buna karşın cisim, Şekil 3b'deki gibi ayna ile odak uzaklığı arasında ise sanal bir görüntü elde edilir. Bu durumda (4) ve (4') bağıntıları geçerlidir: ancak görüntünün sanal olması veya s' uzaklığının sanal olması ya da s' uzaklığının sanal tarafta olması nedeniyle görüntü uzaklığının (-) işaretli olacağı unutulmamalıdır.

Diğer taraftan konkav bir ayna ile oluşan büyütmenin (3) ve (3') bağıntılarıyla hesaplanabileceği aşikardır.

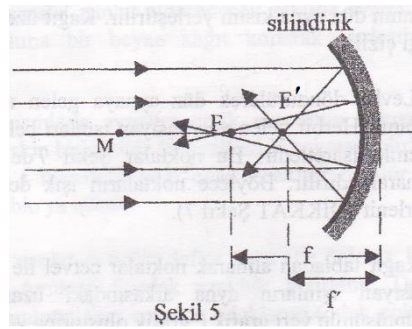


Konveks bir aynada ise görüntü düz aynada olduğu gibi sanaldır (Şekil 4). Bu ayna içinde (4), (4') ve (3) bağıntıları geçerlidir: ancak eğrilik  $r$  yarıçapının,  $f$  odak uzaklığının ve görüntü uzaklığının sanal tarafta oldukları, dolayısıyla işaretlerinin (-) olacakları unutulmamalıdır.

**Açıklık Kusuru:** Küresel veya silindirik bir konkav aynanın optik eksenine paralel olarak gelen ışınların tek bir noktaya odaklanamadıkları görülür. Şekil 5’de görüldüğü üzere küresel aynanın sınırına yakın noktalardan yansıyan ışınlar ayna merkezine daha yakın ( $F'$ ) bir noktada odaklanırlar; buna karşılık aynanın optik eksenine yakın noktalardan yansıyan ışınlar ayna merkezine daha uzak ( $F$ ) noktasında odaklanırlar. Bu durum konveks aynalarda da gözlenir: konveks bir aynanın üzerine düşen optik eksenine paralel ışınlarla, doğrultuları tek bir odak noktasında kesişmeyen yansıyan ışınlar elde edilir. Bunun sonucu olarak da, örneğin bir noktanın görüntüsü bir doğru parçası olarak oluşur: başka bir deyişle görüntünün bozulması söz konusudur. Merceklerde de sıkça rastlanan bu istenmeyen durum *açıklık kusuru* (*aberrasyon*) olarak adlandırılır. Küresel veya silindirik aynalar ne kadar iyi yansıtıcı madde ile kaplanmış olsalar dahi açıklık kusurunu tümüyle önlemek mümkün değildir. Açıklık kusurunun, “tek renk (monokromatik)”, “doğrusal”, “küresel”... v.s. açıklık kusuru olarak adlandırılan çeşitli türlerinden söz edilir. Aynalarda oluşan başlıca açıklık kusuru, küresel veya silindirik açıklık kusurundan ileri gelir. Aynaların  $\Delta f$  açıklık kusuru

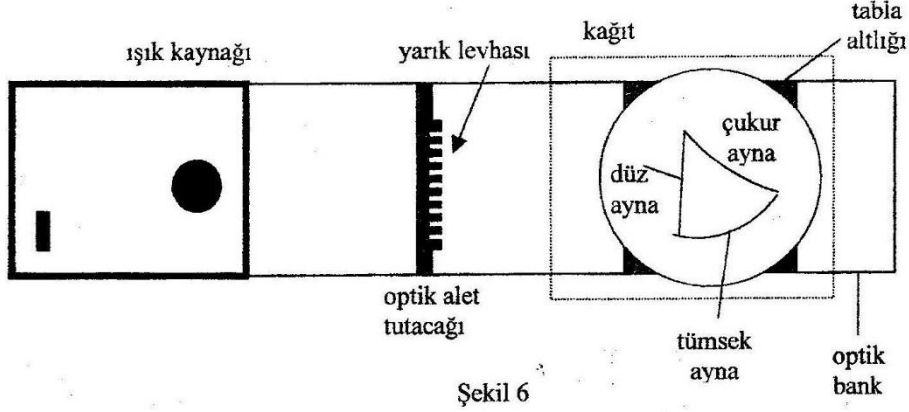
$$\Delta f = f - f' \quad (6)$$

bağıntısı ile belirlenir.



## Deneyin Yapılışı:

1. Düz ve silindirik aynalarda görüntünün oluşturulmasında ve yapılacak ölçümlerde Şekil 6'da görülen optik deney bankından yararlanılır. Bu bank bir ışık kaynağı, tutucu tarafından taşınan bir yarık levhası ile aynaların üzerine konacağı dönebilen bir plakadan oluşur. Işık kaynağının ve yarık levhasının konumları ayarlayarak keskin ve kolayca görülebilir bir ışın demeti elde edilir (Şekil 6).



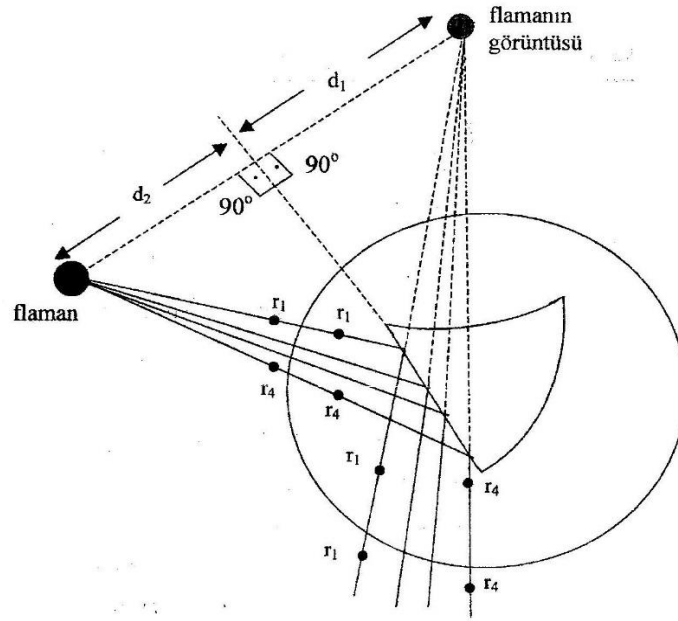
Şekil 6

2. Döner tabla üzerine beyaz bir kağıt, onun üzerine çok amaçlı (düz ve silindirik) aynanın düz ayna kısmı yerleştirilir. Kağıt üzerine aynanın düz kenarını belirleyen bir çizgi çizilir.
3. Levha döndürülerek düz aynaya gelen ışınların belirli bir açı ile yansımaları sağlanır. Her bir gelen ve yansıyan ışınları belirlemek için kağıt üzerinde ikişer nokta kalemle işaretlenir. Bu noktalar Şekil 7'de gösterildiği gibi  $r_1, r_2, \dots$  v.s şeklinde numaralandırılır. Böylece noktaların ışık demetindeki hangi ışına karşılık geldiği belirlenir (DİKKAT Şekil 7).
4. Kağıt tabladan alınarak noktalar cetvel ile Şekil 7'de gösterildiği gibi birleştirilir. Yansıyan ışınların ayna arkasındaki uzantıları kesiştirilerek ışık kaynağının görüntüsünün yeri grafik ("grafik oluşturma yöntemi") olarak belirlenir.
5. Işık kaynağının ve görüntünün ayna düzlemine olan, sırasıyla  $s$  ve  $s'$  uzaklıkları bir cetvelle ölçülür. Böylece (2) bağıntısının geçerliliği belirlenir. Sonuçlar Tablo-1'e işlenir.

$$s =$$

$$s = - s'$$

$$s' =$$



Şekil 7

6. Çukur ayna ile yapılacak ölçümlerde aynı deney düzeneğinden yararlanıldı: ancak paralel ışınlar elde etmek amacıyla, Şekil 8a'da görüldüğü üzere bir paralel ışın merceği kullanılır. Merceğin konumu paralel ışınlar elde edecek şekilde ayarlanır. Çukur ayna döner tabla üzerine, altına bir beyaz kâğıt konularak yerleştirilir (DİKKAT Şekil 8).
7. Döner tabla döndürülerek paralel ışınlarla aynanın optik ekseninin çakışması sağlanır. Aynadan yansıyan ışınların keskin bir şekilde kesiştikleri F noktası belirlenir (Şekil 8b); F noktasının aynaya olan  $f$  mesafesi, yani odak uzaklığı ölçülür. (5) bağıntısından  $R$  hesaplanır, sonuçlar Tablo-1'e işlenir.

Çukur ayna için;  $f =$

$$f = R/2 \quad \Rightarrow \quad R = 2.f =$$

8. İki ışın çifti kesiştirilir ve diğer tüm ışınlar, örneğin defter veya elle önlenir; kağıt üzerinde kesişme noktası işaretlenir. Aynanın  $f$  odak uzaklığı belirlenir. Deney değişik ışık çifti için tekrarlanır. Tüm ışınların aynı noktada odaklanıp (odak noktası) odaklanmadıkları gözlenerek en büyük  $\Delta f$  farkı hesaplanır; sonuçlar Tablo-1'e geçirilir. Böylece (6) bağıntısıyla verilen silindirik sapma belirlenir.

Çukur ayna için;  $f =$

$$f' = \quad \Rightarrow \quad \Delta f = f - f' =$$

9. Şekil 8a'da verilen deney düzeneğinden paralel ışın merceği kaldırılır: ayna ışık

kaynağından belirli bir uzaklığa getirilerek flamanın, yani cismin görüntüsü oluşturulur. Görüntünün aynaya olan  $s'$  mesafesi ölçülerek (4) bağıntısının geçerliliği araştırılır; sonuçlar Tablo-1'e geçirilir.

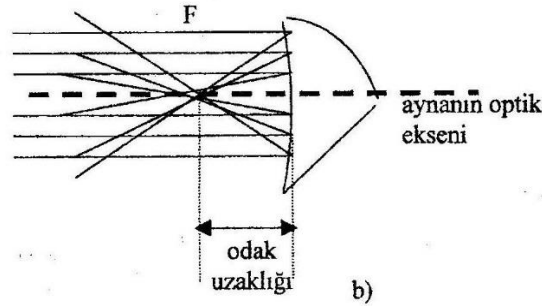
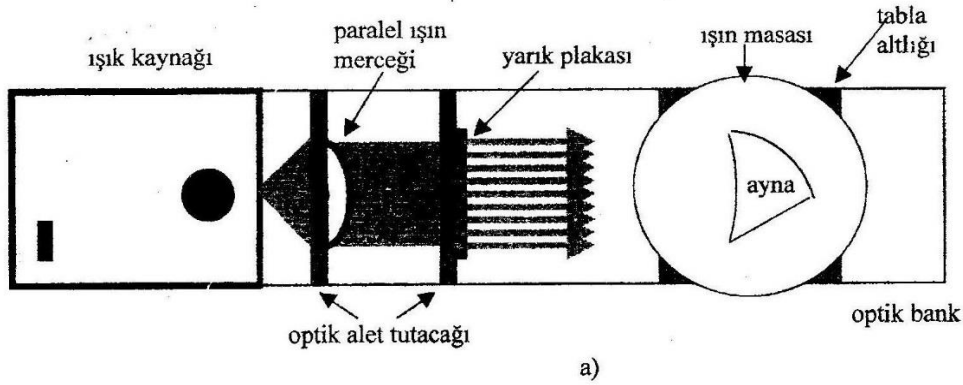
Çukur ayna için;

$$s =$$

$$s' =$$

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{f_{hesap}} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} =$$

$$\Rightarrow f_{hesap} =$$



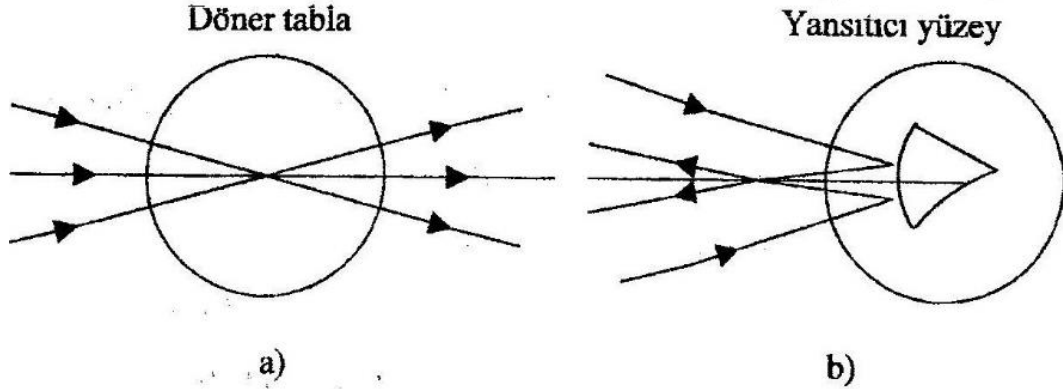
Şekil 8

- 10.** Tümsek ayna ile yapılacak ölçümlerde de aynı deney düzeneğinden yararlanılır; döner tabla üzerine çok amaçlı ayna altına bir beyaz kâğıt konarak yerleştirilir. Yukarıda kullanılan paralel ışın merceğinden (Şekil 8a) yararlanılarak paralel ışınlar elde edilir ve bu ışınlarla tümsek aynanın optik ekseninin çakışması sağlanır. Aynanın ışınları yansıttığı yüzeyi (ayna sınırı), yansıyan iki ışın demeti üzerinde ikişer nokta kâğıt üzerinde işaretlenir ve grafik oluşturma yöntemi ile tümsek aynanın  $f$  odak uzaklığı ölçülerek belirlenir: aynanın  $R$  yarıçapı (5) bağıntısından hesaplandı, sonuçlar Tablo-1'e geçirilir.

Tümsek ayna için;  $f =$

$$f = R/2 \quad \Rightarrow \quad R = 2.f =$$

11. Deney düzeneğinden çok amaçlı ayna kaldırılarak ışık kaynağından yayılan ışınların, yarık levhasının ve paralel ışın merceğinin konumları değiştirilerek keskin bir şekilde kesişmeleri sağlanır (Şekil 9a). Bu kesişme noktasının döner tabla üzerinde oluşacak şekilde döner levhanın konumu değiştirilir. Döner tablanın yeri sabitleştirilerek üzerine bir beyaz kâğıt yerleştirilir ve ışınların kesişme noktası kâğıt üzerinde işaretlenir.



Şekil 9

12. Kâğıdın konumu değiştirilmeden üzerine, çok amaçlı aynanın tümsek kısmı gelen ışınları yansıtacak şekilde yerleştirilir: (Şekil 9b) böylece yukarıda kesiştirilen ışınların görüntüsünün tümsek ayna için sanal bir cisim oluşturulması sağlanır.
13. Kâğıt üzerinde aynanın ışınları yansıttığı yüzeyi ve yansıyan iki ışın demeti üzerinde ikişer nokta işaretlenir: grafik oluşturma yöntemi ile bu tümsek ayna ile elde edilen görüntünün aynanın yansıtıcı yüzeyine olan uzaklığı, yani  $s'$  görüntü uzaklığı ölçülerek belirlenir.

Tümsek ayna için;

$$s =$$

$$s' =$$

14. Kâğıt üzerinde sanal cismin aynanın yansıtıcı yüzeyine uzaklığı ölçülebileceğinden (4) bağıntısının geçerliliği araştırılır: sonuçlar Tablo-1'e geçirilir.

Tümsek ayna için;

$$\frac{1}{f_{hesap}} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \Rightarrow f_{hesap} =$$

$$m = -\frac{s'}{s} =$$

**Tablo-1**

	$f$	$R$	$\Delta f$	$s$	$s'$	$f_{hesap}$	$m$
Düz Ayna							
Çukur Ayna							
Tümsek Ayna							



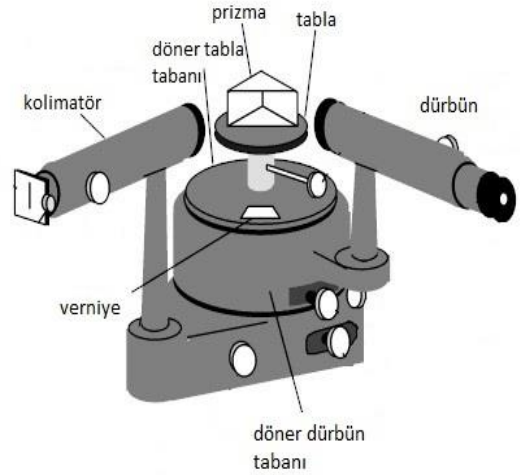
## O5-GONYOMETRE İLE ÖLÇÜLER

### Amaç:

1. Bir prizmanın kırınma açısının ve minimum sapma açısının gonyometre ile ölçülerek prizmanın yapıldığı camın kırılma indisinin belirlenmesi,
2. Kırılma indisinin ışığın dalgaboyuna bağlılığının incelenmesi,
3. Prizmanın dispersiyon gücünün belirlenmesi,
4. İçi boş bir prizma yardımıyla çeşitli sıvıların kırılma indislerinin gonyometre ile ölçülmesi.

### Bilgi:

**Gonyometre** basitçe döner bir tabla üzerinde bulunan bir kolimatörle bir dürbünden oluşur. Verniyeli bu döner tabla üzerine bir masacık eş eksenli olarak yerleştirilmiştir (Şekil-1). Dürbün ve döner tabla beraber ve birbirlerinden bağımsız olarak bu eksen etrafında dönebilmektedir. Alete sıkıca sabitlenmiş olan kolimatör ışık kaynağından gelen ışınların prizma üzerine paralel olarak düşmesini sağlar. Bir “Retikül” (+) içeren dürbün ise görüntüyü incelemeye yarar.



Şekil- 1.a: Denede düzenneđi

### Optik Prizma:

Bir prizma üzerine düşürülen ışın demeti, prizmanın tabanına doğru yönelerek kırılır. Kırılma **Snell Yasası** ile belirlenir. Prizmanın yapıldığı maddenin içinde bulunduğu ortama göre kırılma indisi  $n$  ise, Snell yasasından,

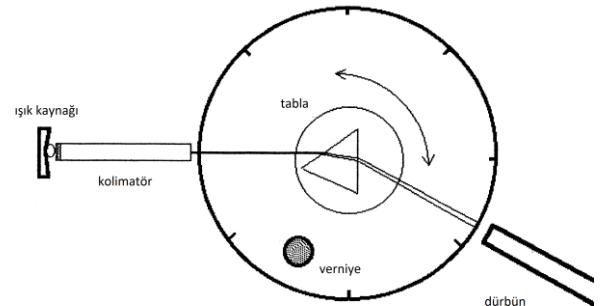
$$\sin(i) = n \sin(r) \quad (1)$$

$$\sin(i') = n \sin(r')$$

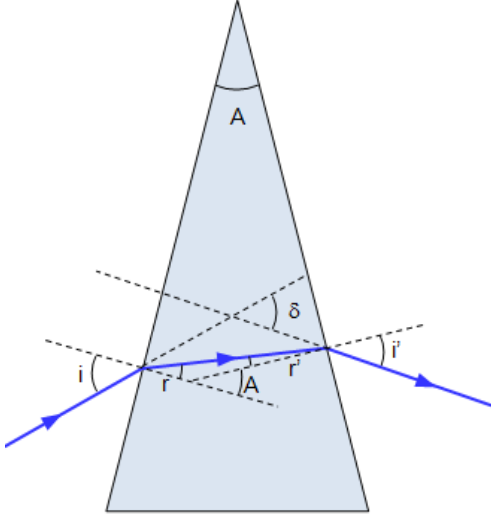
bağıntıları yazılabilir (Şekil-2). Ayrıca geometriden,

$$A = r + r' \quad (2)$$

$$\delta = i + i' - A$$



Şekil- 1.b: Denede düzenneđi



Şekil-2

$i = i'$  ve  $r = r'$  durumunda sapma açısı minimum değerdedir. Sapma açısının bu minimum değerine  $\delta_{\min}$  minimum sapma açısı denir. O zaman (1) ve (2) eşitliklerinden,

$$n = \frac{\sin\left(\frac{A + \delta_{\min}}{2}\right)}{\sin\frac{A}{2}} \quad (3)$$

olur.

Prizmanın A tepe (kıran) açısı küçük ise,  $\delta_{\min}$  da küçük olduğundan,  $\sin x \approx x$  yaklaşımıyla, (3) bağıntısından,

$$\delta_{\min} = A(n - 1) \quad (4)$$

bulunur.

**Dispersiyon Gücü:** Bir dalga, kırılma indisi frekansa veya dalgaboyuna bağlı olan dağıtıcı bir ortamda kırıldığı zaman kırılma açısı da frekansa veya dalgaboyuna bağlı olacaktır. Gelen dalga, harmonik veya monokromatik değil de, üst üste binmiş muhtelif frekanslardan/dalgaboylarından oluşuyor ise, her bir bileşen dalgaboyu farklı bir açıda kırılacaktır. Bu olaya dispersiyon denir. Işık, bir elektromagnetik dalga olduğundan, havadan su ve cam gibi bir başka ortama kırıldığında, dalgaboylarına ayrılır. Örneğin beyaz ışık, ince bir prizmadan geçerse renklerine ayrılır. Bir ortamı karakterize eden, sadece kırılma indisine bağlı olan büyüklüğe dispersiyon gücü denir ve

$$\omega = \frac{n_F - n_C}{n_D - 1} = \frac{\delta_F - \delta_C}{\delta_D} \quad (5)$$

bağıntısı ile belirlenir. Burada  $n_F$  ve  $n_C$  ortamın hidrojen spektrumundaki mavi ( $\lambda_F = 4862 \text{ \AA}$ ) ve kırmızı ( $\lambda_C = 6563 \text{ \AA}$ ) renklerine,  $n_D$  ise sodyumun sarı ( $\lambda_D = 5890 \text{ \AA}$ ) rengine karşılık olan kırılma indisleridir.  $\delta_F$ ,  $\delta_C$ ,  $\delta_D$  da bunlara denk gelen minimum sapma açılarıdır.

## Deneyin Yapılışı:

### Optik Prizmanın Tepe Açısının Belirlenmesi:

1. Gonyometrenin dürbününün netlik ayarı yapıldıktan sonra, monokromatik ışık kaynağı (sodyum lambası) çalıştırılarak kolimatörün arkasına yerleştirilir.
2. Dürbünle kolimatöre tam karşıdan bakıldığında ince bir ışık kaynağı görüntüsü elde etmek için kolimatörde bulunan ince yarığın genişliği ayarlanır.
3. Optik prizmanın tepe açısı kolimatör karşısına gelecek şekilde yerleştirilir ve ince yarıktan geçen sarı ışığın görüntüsünün elde edildiği  $\alpha_1$  ve  $\alpha_2$  açı değerleri tabla üzerindeki verniyeli açı ölçer yardımıyla belirlenir.
4. Prizmanın tepe açısı,  $A = \frac{|\alpha_2 - \alpha_1|}{2}$  bağıntısıyla hesaplanır ve tablo 1'e işlenir

Tablo 1

$\alpha_1$	$\alpha_2$	A

### Minimum Sapma Açısının ( $\delta_{\min}$ ) Belirlenmesi:

1. Prizmanın kırın yüzeylerinden birisi kolimatör karşısına getirilerek diğer kırın yüzeyden çıkan ışığa bakarak fantın görüntüsü belirlenir.
2. Daha sonra döner tabla hep aynı yönde döndürülürken görüntü hareketinin yön değiştirmeye başladığı durumda döner tabla sabitlenerek görüntü, dürbün retikülü ile çakıştırılarak  $\alpha$  açısı belirlenir.
3. Prizma kaldırılarak, dürbün kolimatörün tam karşısına getirilerek fantın görüntüsü retikül ile çakıştırılarak bu durumu ölçen  $\alpha_0$  açısı belirlenir.
4. Minimum sapma açısı,  $\delta_{\min} = |\alpha - \alpha_0|$  ifadesi ile hesaplanır. Bulunan A ve  $\delta_{\min}$  açıları kullanılarak prizmanın yapıldığı maddenin havaya göre kırılma indisi (1) ve (2) eşitliklerinden hesaplanır ve sonuçlar tablo 2'ye işlenir.

$$n = \frac{\sin\left(\frac{A + \delta_{\min}}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)} = \quad (1)$$

$$n = \frac{\delta_{\min}}{A} + 1 = \quad (2)$$

**Tablo 2**

$\alpha$	$\alpha_0$	$\delta_{\min}$	n (1 bağıntısı)	n (2 bağıntısı)

**Dispersiyon Gücünün Belirlenmesi:**

1. Monokromatik ışık kaynağı yerine beyaz ışık kaynağı kullanılarak prizma ile spektrum elde edilir. Spektrumdaki mavi ( $\lambda_F$ ) , sarı ( $\lambda_D$ ) ve kırmızı ( $\lambda_C$ ) renklerinin gözlemlendiği  $\alpha_F$ ,  $\alpha_D$ , ve  $\alpha_C$  açıları ölçülür.
2. Prizma kaldırılarak, kolimatörün tam karşısından  $\alpha_0$  açısı ölçülür.
3. Her renk için prizmanın havaya göre kırılma indisi (1) bağıntısı kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanarak sonuçlar Tablo 3'e işlenir.

**MAVİ****SARI****KIRMIZI****Tablo 3**

RENK	$\lambda(\text{Å})$	$\alpha$	$\alpha_0$	$\delta_{\min}$	n
MAVİ	4862				
SARI	5890				
KIRMIZI	6553				

4. Prizma maddesinin dispersiyon gücü,  $\omega = \frac{n_F - n_C}{n_D - 1}$  bağıntısı ile hesaplanır.

**Sıvıların Kırılma İndisinin Bulunması:**

1. İçi sıvıyla (Su, etil alkol vb) dolu bir prizma gonyometreye yerleştirilerek, sodyum lambası çalıştırılır.
2. Sodyum lambasının ışığının prizmanın bir yüzeyinde kırılması gözlemlendikten sonra bu kırılan ışık için minimum sapma durumu gözlenerek, minimum sapma açısı belirlenir.
3. Prizmanın A tepe açısını sabit alarak, 1 numaralı denklem kullanılarak sıvının kırılma indisi hesaplanır.
4. Kullanılan sıvının gerçek kırılma indisi kullanılarak bağıl hata hesaplandı ve sonuçlar Tablo 4'e geçirilir.

**Tablo 4**

<b>SIVI</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b><math>\alpha_0</math></b>	<b><math>\delta_{\min}</math></b>	<b><math>n_D</math></b>	<b><math>n_G</math></b>	<b><math>\frac{\Delta n}{n_G}</math></b>
<b>SU</b>					<b>1.333</b>	
<b>ETİL ALKOL</b>					<b>1.36</b>	

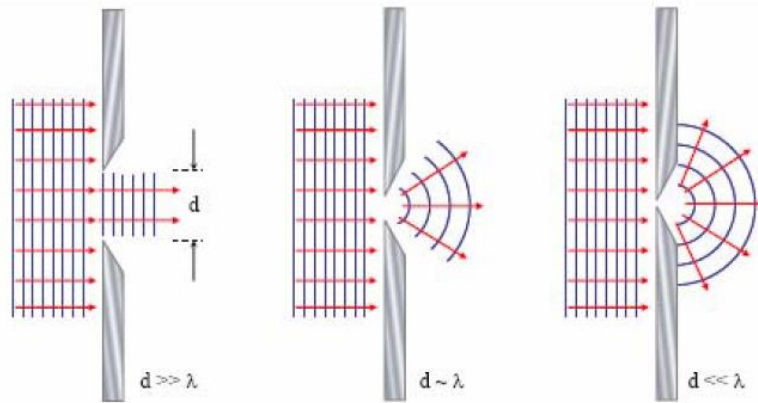
## O6 IŞIKTA KIRINIM OLAYLARININ İNCELENMESİ

### AMAÇ:

1. Tek yarıktan meydana gelen kırınım olayının incelenmesi,
2. Dairesel ufak delikte meydana gelen kırınım olayının incelenmesi.

### BİLGİ:

**Tek Yarıktan Kırınım:** Dalga, hareketi sırasında yeterince dar bir aralıktan ya da keskin kenarlı bir engelden geçerken, yarığın ya da engelin köşelerine yakın yerlerden dalga bükülür. Yarığı ya da engeli geçen dalga her yöne yayılır (örneğin gölge olması beklenen yerlerde aydınlık oluşur). Bu olaya *kırınım olayı* denir. Temelde kırınım ve girişim olayları özdeştir. Kırınımın oluşturmanın tek yolu dalgayı dar bir aralıktan geçirmek değildir. Benzer etkiler, dalgalar, saydam olmayan engele çarptıklarında da gözlenir. Kırınım, dalgalarının temel özelliklerinden biridir. Genel olarak tüm dalgalarda görüldüğü gibi, ışıkta da görülür. Fakat ışık dalgaları, örneğin ses dalgalarından çok daha küçük dalgaboylu olduklarından ışıkta söz konusu olayın gerçekleşmesi için bazı özel şartların yerine gelmesi gerekir. Kırınımın gözlenebilmesi için yarık aralığının ( $d$ ), ışığın dalgaboyu ( $\lambda$ ) ile kıyaslanabilecek büyüklükte (yarık aralığının yaklaşık dalgaboyu mertebesinde) olması gerekir. Işığın dar bir aralıktan geçip bir perde üzerine düşürüldüğünü kabul edelim. Yarığa düşen ışık paraleldir, ışık demetinin paralel ışıklardan oluşması yakınsak merceklerle de sağlanabilir. Perde de oluşan desenler Fraunhofer kırınım desenleri olarak adlandırılır.

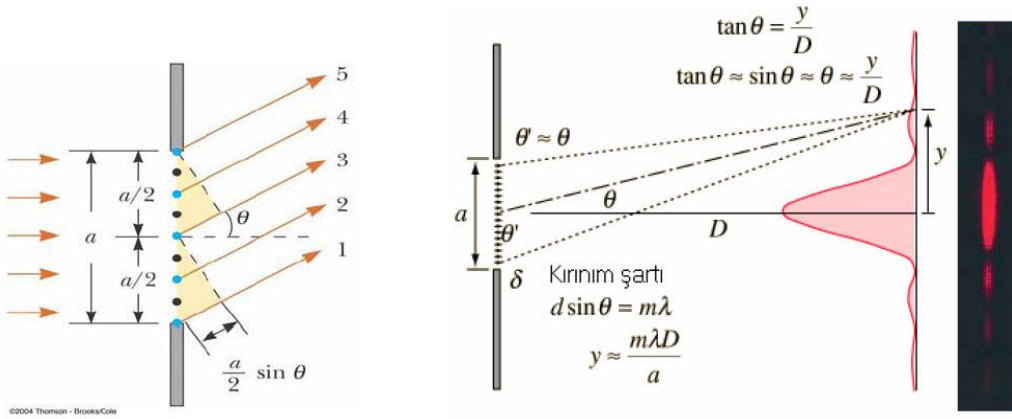


Şekil 1. Kırınım olayı için dalgaboyu ve yarık ilişkisi

$\lambda \ll d$  olduğunda hemen hemen gözlenebilir bir kırınım olmaz. Dalga kendi ışını boyunca doğrusal bir yolda ilerlemeye devam eder. Eğer yarığın karşısına bir ekran konulursa, ekran üzerinde parlak bir nokta oluşur.

$\lambda \approx d$  olduğunda, kırınım etkileri hissedilir. Işık, yarığın ötesinde her yöne yayılır. Yarık küresel dalgalar yayan bir kaynakmış gibi davranır. Yarık, dalgaboyuna göre çok küçükse,  $\lambda \gg d$  kırınım daha da belirginleşir.

Burada koherent (faz uyumlu) ışığın tek yarıқта oluşturduğu kırınım incelenecektir. Yarığın genişliği, geçen ışığın dalgaboyuna yakın büyüklükte veya daha küçük olduğunda kırınım gerçekleşir. Çift yarıқта girişim olayında yarıklardan her biri noktasal ışık kaynağı gibi davranırken; tek yarıқта kırınım olayında ise yarığın noktasal ışık kaynağı gibi davranmasından ziyade, yarığın her bir noktasının bir ışık kaynağı gibi davrandığı düşünülecektir. Böylece tek yarık, sürekli kaynaklar grubu şeklinde davranacaktır. Yarığın farklı noktalarından gelen ışık ışınları birbirleri ile yapıcı yıkıcı girişim yaparak bir desen oluştururlar.



Şekil 2. Tek yarıқта kırınım deseninin oluşması

Ekranın herhangi bir N noktasına, hemen hemen birbirine paralel giden ve ana ışın doğrultusu ile  $\theta$  açısını yapan bir doğrultuya yönelmiş olan ışınlar gelecektir. En kenar ışınlar arasındaki yol farkı;

$$\Delta = a \sin \theta \quad (1)$$

dır.  $N_0$  (perde üzerindeki merkezi aydınlık) noktası için  $\theta=0$  dır; böylece maksimum bir aydınlık oluşur. Işınların yöneldiği doğrultu  $N_0$  dan uzaklaştıkça yol farkı büyür. Demetin kenar ışınları arasındaki yol farkının  $\lambda$  ya eşit olduğu bir  $\theta_1$  doğrultusu için kenar ışınlarıyla yarık merkezine merkezi aydınlık doğrultusundaki ışın arasında  $\lambda/2$  kadar yol farkı olur ve bu çift birbirini söndürür. Yarığın merkez ışınına göre, bir tarafta var olan her ışın için öteki tarafta da karşılık gelen bir ışın bulunur. O halde sınır ışınları hariç olmak üzere iki tarafın tüm ışınları birer çift halinde birbirlerini söndürecekler ve böylece  $\theta_1$  doğrultusunda ekran üzerinde ışık olmayacaktır. Bu doğrultuda karanlık bir şerit oluşacaktır. Merkezden daha

uzaklaştıkça iki yandaki karanlık saçaklardan sonra ışık yine birer maksimum oluşturmaya başlar. Bu maksimumlar demetlerdeki kenar ışınlarının aralarında  $3\lambda/2$  yol farkına karşılık gelir. Sonuç olarak sönüm şartlarına uyan doğrultular;

$$\begin{aligned} a \sin \theta &= n\lambda \\ n &= 1, 2, 3, \dots \end{aligned} \quad (2)$$

ve aydınlık şartlarına uyanlar;

$$\begin{aligned} a \sin \theta &= \left( n + \frac{1}{2} \right) \lambda \\ n &= 1, 2, 3, \dots \end{aligned} \quad (3)$$

bağıntılarıyla belirlenir.

**Dairesel Ufak Delikte Işığın Kırınımı:** Bir monokromatik ışık kullanarak, ufak bir delikle kırınım olaylarını elde etmek mümkündür.  $\lambda$  dalgaboyu ve diğer büyüklükler arasındaki bağıntılar aşağıdaki gibidir:

- Delik ve ekran arasındaki uzaklık (e)
- Deliğin çapı (d)
- Aydınlık merkezin çevresinde n. karanlık veya n. aydınlık halkanın yarıçapı ( $r_n$ )

Sönüm şartları için;

$$\begin{aligned} \frac{r_n}{e} &= \rho_n \frac{\lambda}{d} \\ \rho_1 &= 1,22; \quad \rho_2 = 2,23; \quad \rho_3 = 3,23 \end{aligned} \quad (4)$$

ve aydınlık şartları için;

$$\begin{aligned} \frac{r_n}{e} &= \rho_n \frac{\lambda}{d} \\ \rho_1 &= 1,63; \quad \rho_2 = 2,67; \quad \rho_3 = 3,69 \end{aligned} \quad (5)$$

kullanılır.



## Deneyin Yapılışı:

1. He-Ne laser ışık kaynağı, yarık ve ekran uygun aralıklarla optik bank üzerine yerleştirilir.
2. Işık kaynağı açıldıktan sonra ekran üzerinde kırınım desenleri gözlenir.
3. Kullanılan ışığın dalgaboyunu bulmak için şu ölçümler alınır;
  - Yarık ve ekran arasındaki uzaklık ( $e$ )
  - Yarığın genişliği ( $a$ )
  - $n$ . karanlık şeridin, orta aydınlık şeridin merkezine olan uzaklığı ( $x_n$ )

$$\begin{aligned} a = & & e = \\ 2x_1 = & \Rightarrow & x_1 = \\ 2x_2 = & \Rightarrow & x_2 = \\ 2x_3 = & \Rightarrow & x_3 = \\ 2x_4 = & \Rightarrow & x_4 = \end{aligned}$$

Sönüm şartlarına uyan doğrultular için,

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

bağıntısı yazılarak kullanılan ışığın dalgaboyu 4 farklı karanlık şerit için hesaplanır.

$$\begin{aligned} \lambda_1 = \\ \lambda_2 = \\ \lambda_3 = \\ \lambda_4 = \end{aligned}$$

4. Elde edilen 4 farklı dalgaboyunun ortalaması alınarak deneyde yapılan bağıl hata hesaplanır ve tüm hesaplamalar Tablo-1'e işlenir.

$$\begin{aligned} \lambda_{Ortalama} = \\ \frac{|\Delta\lambda|}{\lambda_{Gerçek}} = \end{aligned}$$

**Tablo-1**

$n$	$x$	$a$	$e$	$\lambda$	$\lambda_{ortalama}$	$\lambda_{gerçek}$	Bağlı Hata

5. Aynı ölçümler farklı yarığın genişliği kullanılarak tekrarlanır.

$$\begin{aligned} \lambda &= & e &= \\ 2x_1 &= & \Rightarrow x_1 &= \\ 2x_2 &= & \Rightarrow x_2 &= \\ 2x_3 &= & \Rightarrow x_3 &= \\ 2x_4 &= & \Rightarrow x_4 &= \end{aligned}$$

Sönüm şartlarına uyan doğrultular için,

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

bağıntısı yazılarak kullanılan yarığın genişliği 4 farklı karanlık şerit için hesaplanır.

$$\begin{aligned} a_1 &= & a_2 &= \\ a_3 &= & a_4 &= \end{aligned}$$

6. Elde edilen 4 farklı yarığın genişliğinin ortalaması alınıp, tüm hesaplamalar Tablo-2'ye işlenir.

$$a_{Ortalama} =$$

**Tablo-2**

$n$	$x$	$\lambda$	$e$	$a$	$a_{ortalama}$

7. Deney düzeneğinde yarığın yerine farklı çapta dairesel delikler kullanılarak kırınım desenleri

ekran üzerinde dairesel halkalar şeklinde elde edilir. Bu halkaların karanlık kısmının ilk üçünün çapı ölçülür. Kullanılan dairesel deliğin çapı ( $d$ ) ve yarık ile ekran arası mesafe ( $e$ ) ölçülür.

$$\begin{aligned} \lambda &= & e &= \\ 2r_1 &= & \Rightarrow & r_1 = \\ 2r_2 &= & \Rightarrow & r_2 = \\ 2r_3 &= & \Rightarrow & r_3 = \end{aligned}$$

Sönüm şartlarına uyan doğrultular için,

$$\frac{r_n}{e} = \rho_n \frac{\lambda}{d} \quad \rho_1 = 1,22 ; \rho_2 = 2,23 ; \rho_3 = 3,23$$

bağıntısı yazılarak kullanılan dairesel deliğin çapı 4 farklı karanlık şerit için hesaplanır.

$$d_1 =$$

$$d_2 =$$

$$d_3 =$$

**8.** Elde edilen 4 farklı çapın ortalaması alınıp tüm hesaplamalar Tablo-3'e işlenir.

$$d_{Ortalama} =$$

**Tablo-3**

$n$	$r$	$\lambda$	$e$	$d$	$d_{ortalama}$

## O9 OPTİK AYGITLAR

(DENEYE GELMEDEN ÖNCE TABLO 1 EKSİKSİZ OLARAK DOLDURULACAKTIR!!)

**AMAÇ:** Temel optik aygıtların çalışma ilkelerinin incelenmesi ve bazı büyüklüklerin belirlenmesi.

### BİLGİ

**Mercekler:** Aynı eksenli iki kırıcı yüzeye sınırlandırılmış saydam cisme mercek adı verilir ve genel olarak yakınsak mercek ve ıraksak mercek olarak sınıflandırılırlar.

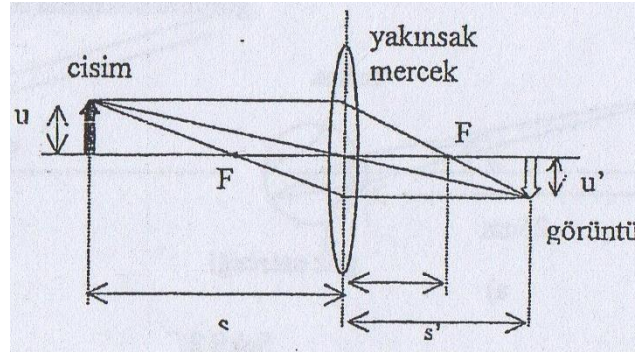
İnce bir yakınsak merceğin oluşturduğu bir görüntü Şekil 1'de verilmiştir. Cisim ile görüntünün merceğe olan  $s$  ve  $s'$  uzaklıkları, grafik yöntemle belirlenebildiği gibi *temel mercek denklemleri* (1) bağıntısı ile de hesaplanabilir. Ancak bu denklem ince kenarlı merceklerle uygulanabilmektedir.

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

Merceğin dikey büyütmesi ise,

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

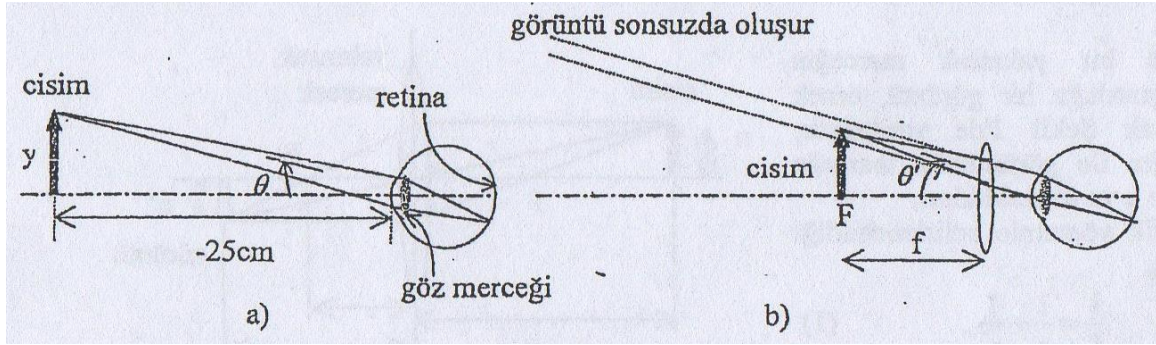
bağıntısı ile belirlenmektedir. Bu bağıntıdaki (-) işareti ise görüntünün cisme göre ters olduğunu ifade eder (Şekil 1).



Şekil 1

**Göz ve Optik Sistemler:** Gözün gelişmiş bir mercek sistemi veya mükemmel bir optik düzen olduğu bilinmektedir. Göz kaslarının kasılması veya gevşemesi sonucunda bu mercek sisteminin veya kısaca merceğin şekli değişir ve cisim hangi uzaklıkta olursa olsun görüntünün hep retinada odaklanması sağlanır. Bu olay *gözün uyumu* olarak adlandırılır. retinada görüntüsü odaklanabilen en uzaktaki bir cismin göze olan uzaklığı, *en uzak görüş uzaklığı* olarak adlandırılır ve normal bir göz için bu uzaklığın sonsuz olması beklenir (Pratikte 6 m ve ötesi sonsuz kabul edilir). Cismin görüntüsünün bozulmadan göze

yaklaştırılabileceği en kısa mesafe de *en yakın görüş uzaklığı* olarak adlandırılır. Kişiden kişiye göre değişebilen bu uzaklık ise normal bir göz için 25 cm civarındadır. Şekil 2-a'da görüldüğü gibi 25 cm uzaklıkta bulunan  $y$  boyundaki cisme bakıldığında görüş açısı,  $tg\theta = -\frac{y(cm)}{25}$  bağıntısı ile belirlenir.



Şekil 2

Ancak Şekil 2-b'deki gibi bir yakınsak mercek kullanıldığında, merceğin  $m$  açısal büyütmesi,

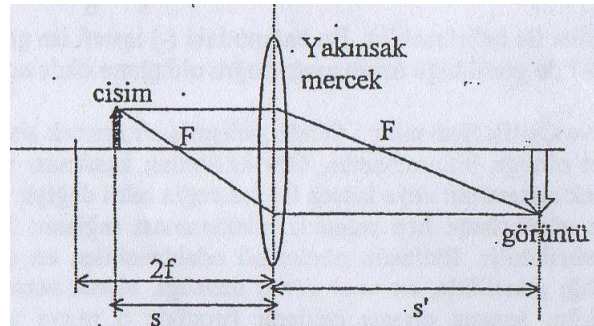
$$m = \frac{tg\theta'}{tg\theta} \quad (3)$$

olacağından dikey büyütme,

$$m = \frac{-y/f}{-y/25} = \frac{25}{f(cm)} \quad (4)$$

bağıntısı ile belirlenir.

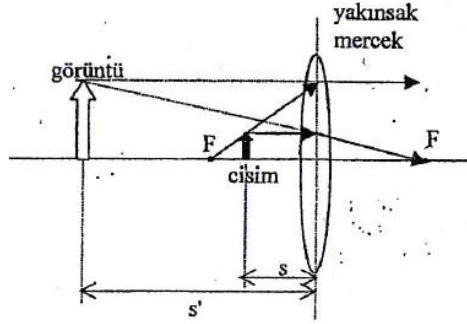
**Projektör:** Bir cisim, yakınsak merceğin odak noktası (F) ve odak noktasının iki katı uzaklığı arasında bir yere yerleştirilirse, Şekil 3'de görüldüğü gibi, ters ve büyük gerçek bir görüntü oluşur. Görüntünün oluştuğu yere bir ekran yerleştirilirse, cismin ekran üzerinde büyük bir görüntüsü elde edilebilir. Bu şekilde, basitçe bir projeksiyonun nasıl çalıştığı açıklanabilmektedir.



Şekil 3

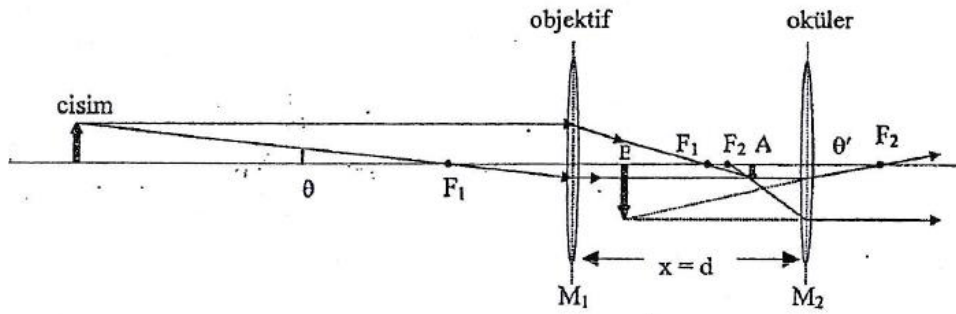
**Büyüteç:** Bir cisim, yakınsak bir mercek ile onun odak noktası (F) arasına yerleştirilirse Şekil 4'te görüldüğü gibi, ters dönmemiş, büyük ve sanal bir görüntü elde edilir. Görüntü gerçek

olmadığından ekran üzerine düşürülemez, ancak bir gözlemci doğrudan merceğe bakarak görüntüyü gözlemleyebilir.



Şekil 4

**Teleskop:** Uzaktaki cisimlerin görüntülerini elde etmek için teleskop kullanılır. Uzaktaki bir cismin yakınsak bir mercekle elde edilen görüntüsü hemen hemen, bu merceğin odak noktasında oluşur: görüntü ters, gerçek olup ancak küçüktür. Oluşan bu küçük görüntü, oküler işlevini sağlayan ikinci bir yakınsak mercekle büyütülebilir. Basit bir teleskop şekil 5'te görüldüğü gibi gerçekleştirilebilir.



Şekil 5

Birinci yakınsak mercekte ( $M_1$ ), yani objektifle elde edilen görüntü A'da oluşur. A, bu merceğin ( $F_1$ ) odak noktasıyla hemen hemen çakışır (Şekil 5'te  $F_1$ ,  $F_2$  ve A arasındaki uzaklıklar anlaşılabilirliği amacıyla büyük tutulmuştur). Oküler olarak kullanılan ve büyüteç görevi yapan ikinci mercek de ( $M_2$ ) gözlemci tarafından gözlenecek olan sanal, fakat birinci merceğin görüntüsüne göre daha büyük bir görüntü B'de oluşur. İki mercek arasındaki  $d$  uzaklığı  $d=f_1+f_2$ , yani iki merceğin odak uzaklıkları toplamı olacak şekilde ayarlanırsa, başka bir deyişle sanal görüntünün sonsuzda oluşması sağlanırsa en iyi sonuçlar elde edilir. Bir teleskopun açısal büyütmesi de, (3) numaralı denklemlerle ile belirlenir. Burada  $\theta$  açısı uzaktaki cismin objektifle oluşturduğu görüş açısı,  $\theta'$  açısı ise okülerin oluşturduğu açıdır.

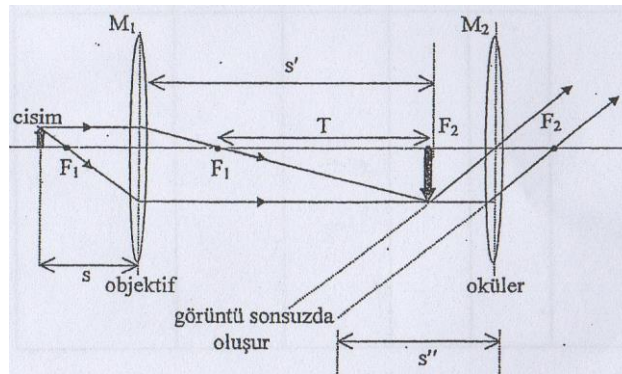
Ancak şekil 5'te olduğu gibi  $d=f_1+f_2$  ise dikey büyütme

$$m = -\frac{-y'/f_2}{-y'/f_1} = \frac{f_1}{f_2} \quad (5)$$

olarak yazılabilir.

**Mikroskop:** Yakındaki çok küçük cisimlerin büyük görüntülerini oluşturarak, ayrıntılarının incelenmesini sağlamak amacıyla mikroskop kullanılır. Bu optik aygıtla, büyütece göre daha fazla büyütme elde edilir. Şekil 6'da görüldüğü gibi, objektif görevini üstlenen mikroskopun birinci yakınsak merceği ( $M_1$ ) projektör görevini sağlar. Oküler olarak kullanılan ikinci yakınsak merceği ( $M_2$ ) ise büyüteç gibi davranır.

Cisim objektifin odak noktasının hemen önüne yerleştirilir. Mercekler arası  $d$  uzaklığı ayarlanarak ters, gerçek görüntünün okülerin  $F_2$  odak noktasında oluşması sağlanır. Böylece oküler, objektifin oluşturduğu görüntüyü büyütür ve sonsuzda sanal bir ikinci görüntü oluşturur.



Şekil 6

Objektifle sağlanan büyütme (2) bağıntısına göre  $-T/f_1$  ( $T$  uzaklığı genellikle optik tüp uzunluğu olarak bilinir) olarak yazılabilir. Okülerde elde edilen büyütme ise (3) bağıntısına göre  $25/f_2$  olmaktadır. Böylece mikroskopun dikey büyütmesi;

$$m = -\frac{T}{f_1(cm)} \cdot \frac{25}{f_2(cm)} \quad (6)$$

bağıntısı ile belirlenir.

## Deneyin Yapılışı:

İnce kenarlı merceği incelemeden önce, cismin, mercekten farklı mesafelerde yerleştirildiği durumlarda elde edilecek görüntünün merceğe olan uzaklığı (1) denklemi ile, merceğin büyütmesi, (2) denklemi ile hesaplanır. Görüntü özellikleri belirlenerek sonuçlar tablo 1'e işlenir.

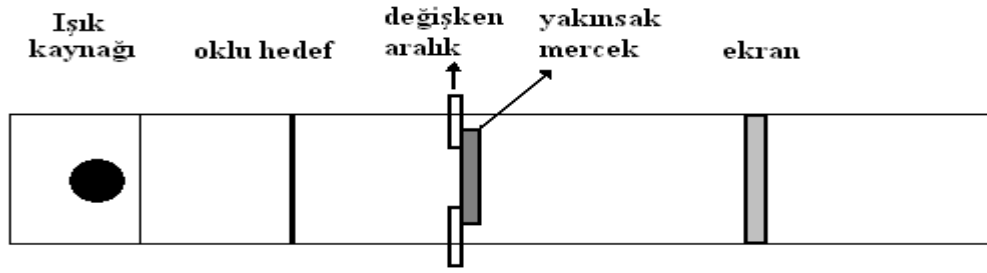
**TABLO 1**

$s$	$s'$	$m$	Gerçek/Sanal	Ters dönmüş/Ters Dönmemiş
<b>Örnek:</b> f/16	-f/15	16/15	Sanal	Ters dönmemiş
f/8				
f/4				
f/2				
3f/4				
7f/8				
15f/16				
f				
17f/16				
9f/8				
5f/4				
3f/2				
7f/4				
15f/8				
31f/16				
2f				
33f/16				
17f/8				
9f/4				
5f/2				
11f/4				
23f/8				
3f				
5f				
10f				
100f				

**PROJEKTÖR**



1. Basit bir projektör işlevinin gerçekleştirilebilmesi için şekildeki deney düzeneği ile odak uzaklığı  $f=75$  mm olan bir yakınsak mercekten yararlanır.



2.  $s$ 'nin,  $s < f$ ,  $s = f$ ,  $f < s < 2f$ ,  $s = 2f$ , ve  $s > 2f$  durumları için, tablo 2'de verilen değerleri kullanarak, her bir durum için cismin boyu ( $u$ ), görüntünün boyu ( $u'$ ), ve görüntünün merceğe olan uzaklığı ( $s'$ ) ölçülerek (2) bağıntısından  $m$  değerleri ve benzer şekilde (7) bağıntısından  $B$  büyütme değerleri hesaplanır ve sonuçlar tablo 2'ye işlenir. Her bir durum için projektör işlevinin olup olmadığı belirlenerek tablo 2'ye işlenir.

$$B = \frac{u'}{u} \quad (7)$$

**TABLO 2**

$s$	$s'$	$u$	$u'$	$m$	$B$	Projektör işlevi
5						
7,5						
10						
15						
20						

## **BÜYÜTEC**

1. Değişken aralıklı küçük tablanın üzerine cisim görevini yapacak olan derecelenmiş mıknatıslı cetvel yapılandırıldıktan sonra optik bank üzerine  $f=75$  mm olan yakınsak merceklerle birlikte yerleştirilir.
2. Merceğin üzerine bakarak cetvelin görüntüsünün en büyük ve en net olduğu durum mercek cisme yaklaştırılarak yada uzaklaştırılarak ayarlanır.
3. Cisim ile mercek arasındaki  $s$  mesafesi, cismin  $u$  (merceğin çapı boyunca görülen cetvelin uzunluğu) ve görüntünün  $u'$  (merceğin çapı) boyları ölçülür.  $s'$ ,  $m$ , ve  $B$  değerleri hesaplanarak tablo 3'e işlenir. Büyüteç işlevinin olup olmadığı belirlenir.
4. Aynı işlemler, odak uzaklığı  $f=150$  mm olan diğer bir yakınsak merceklerle tekrarlanır ve sonuçlar tablo 3'e işlenir.

**TABLO 3**

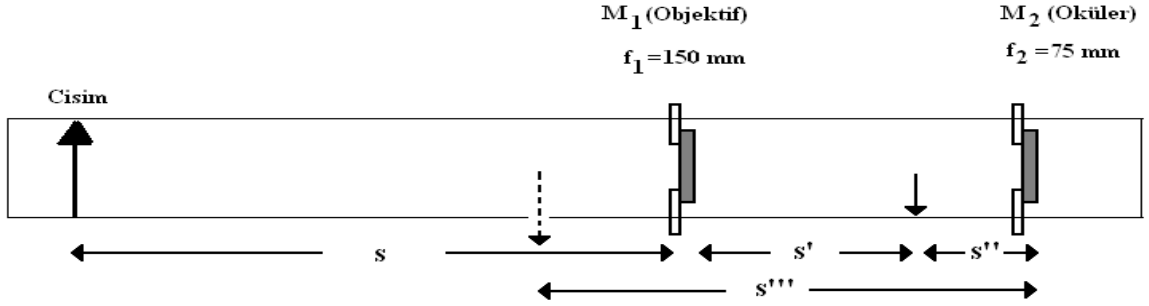
<b>f(cm)</b>	<b>s(cm)</b>	<b>s' (cm)</b>	<b>u(cm)</b>	<b>u' (cm)</b>	<b>m</b>	<b>B</b>	<b>Büyüteç işlevi</b>
7,5							
15							

**f=7,5 cm için**

**f=15 cm için**

## **TELESKOP**

1. Odak uzaklıkları 75 mm ve 150 mm olan mercekler kullanılarak mercekler arası mesafe yaklaşık  $f_1+f_2$  olacak şekilde aşağıda verilen basit bir teleskop düzeni oluşturulur.



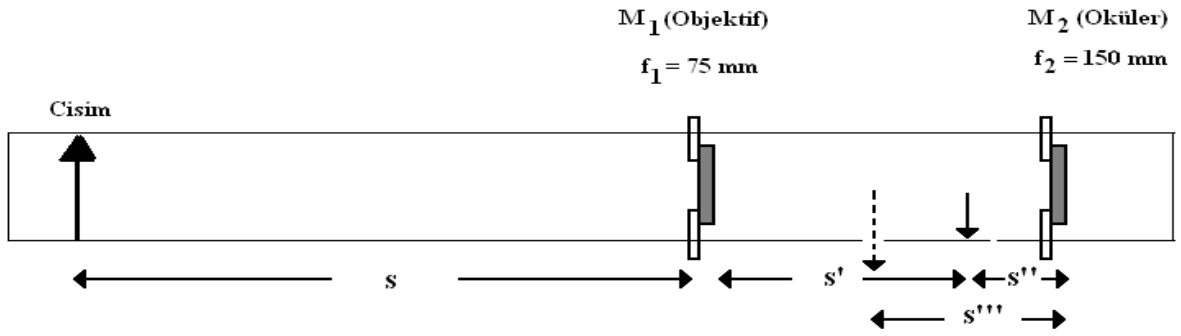
2. Oküler merceğinden bakarak uzaktaki cismin net ve büyük görüntüsü elde edildikten sonra görüntünün boyu milimetrik cetvel ile göz hizasında hassas bir şekilde ölçülür. Gözün konumu bozulmadan, mercekten hafif yukardan bakılarak uzaktaki cismin boyu yine göz hizasından hassas bir şekilde ölçülür.
3. Cismin 1. merceğe olan  $s$  mesafesi ve mercekler arasındaki  $x$  mesafesi ölçülür.
4.  $s'$  mesafesi 1 denklemleri ile hesaplandıktan sonra  $s''$ ,  $x = s' + s''$  ifadesinden bulunur.  $s'''$  mesafesi 1 denkleminde hesaplanır. Daha sonra  $m$ ,  $m = -f_1/f_2$  ifadesinden ve  $B$  ise (7) nolu denklemden hesaplanarak sonuçlar tablo 4'e geçirilir.

**TABLO 4**

x(cm)	s(cm)	$s'$ (cm)	$s''$ (cm)	$s'''$ (cm)	u(cm)	$u'$ (cm)	m	B

## MİKROSKOP

1. Odak uzaklıkları 75 mm ve 150 mm olan ince kenarlı mercekler şekildeki gibi optik bank üzerine yerleştirilerek basit bir mikroskop oluşturulur.



2. Okülerden baktığımızda milimetrik cetveli en net ve en büyük görüntüsünü elde etmek için optik aletler arasındaki mesafe ayarlanır. Oküler merceğinin çapı boyunca milimetrik çizgilerin sayısından cismin u boyu belirlenir. Görüntünün boyu  $u'$  ise merceğin çapı kadardır (3 cm). Cismin 1.merceğe olan uzaklığı ölçülür.

3.  $s'$  mesafesi (1) nolu denklemden hesaplanır. Mercekler arası mesafe,  $x=f_1+f_2+T$  den T hesaplanır. Daha sonra,  $s''$  mesafesi,  $x = s' + s''$  uzaklığından hesaplanır. Mikroskopun dikey büyütmesi aşağıda da yazılan (6) denkleminde ve B büyütmesi, (7) nolu denklem yardımıyla hesaplanır ve sonuçlar Tablo 3'e geçirilir.

$$m = -\frac{T(cm) \cdot 25(cm)}{f_1(cm) \cdot f_2(cm)} \quad (8)$$

**TABLO 3**

$x$	$s$	$s'$	$s''$	$s'''$	$u$	$u'$	$m$	$B$

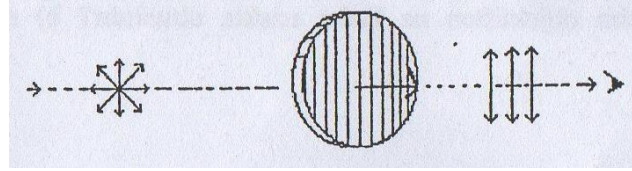
# O10 ÇEYREK DALGA LEVHALARIYLA POLARİZASYONUN İNCELENMESİ

## Amaç:

1. Düzlem polarize ışık şiddetinin analizör konumunun fonksiyonu olarak ölçülmesi,
2. Çeyrek dalga levhasının optik eksenini ile analizör arasındaki açının fonksiyonu olarak ışık şiddetinin ölçülmesi,
3. Yarım dalga levhasının optik eksenini ile analizör arasındaki açının fonksiyonu olarak ışık şiddetinin ölçülmesi.

## Bilgi:

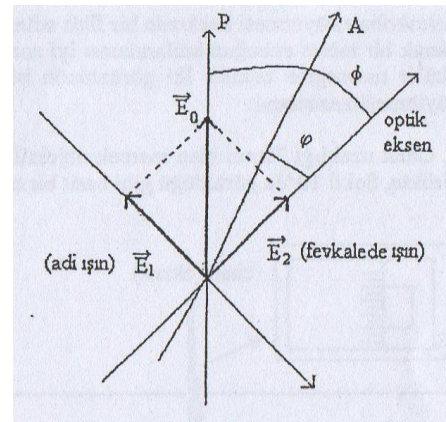
**Işıktaki Polarizasyon:** Işık bir enine dalgadır. Enine dalgalarda titreşen elektrik ve manyetik alan vektörleri dalganın yayılma doğrultusuna diktirler. Enine dalgaların diğer bir özelliği düzlem polarize olmalarıdır. Bu demektir ki elektrik alan vektörünün titreşimleri dalganın her noktasında birbirine paraleldir. Böyle herhangi bir noktada, titreşen elektrik alan vektörü ve yayılma yönü titreşim düzlemi adı verilen bir düzlem oluşturur.



Şekil 1

Polarize ışık elde etmeye yarayan bir düzene polarizör denir. Şekil 1’de polarize olmamış bir ışığın polaroid adı verilen ve ışığı polarize eden bir cismin üzerine düşüşü gösterilmiştir. Polaroid üzerine düşen ışık demeti içerisinde, elektrik alan vektörü polarizasyon doğrultusuna paralel olan demetler geçer, bu doğrultuya dik olanlar soğrulur. Böylece polarize olmuş ışık elde edilir.

Bir çift kırıcı kristalin optik eksenini yönünde hareket eden ışığın hızı, polarizasyon düzleminin yönü ne olursa olsun aynı  $c_0$  değerine sahiptir. Polarize ışık, optik eksene dik açılarda hareket ettiği zaman; eğer elektrik vektör optik eksene dik ise aynı  $c_0$  hızına (Şekil 2), elektrik vektörü optik eksene paralel ise ışık hızına sahiptir ( $c_0 = c$ ) (fevkalade ışın). Şekil 2’de P polarizörü, A ise analizörü göstermektedir.  $E_0$ , polarizörden çıkan bir elektrik alan vektörünün genliğini göstermektedir.  $\phi$  ise polarizasyon yönü P ve bir çift kırıcı kristalin optik eksenini arasındaki açıdır.



Şekil 2

Şekil 2’den adi ve fevkalade ışınlar için aşağıdaki ifadeler çıkartılır.

$$E_1 = E_0 \sin \phi \text{ ve } E_2 = E_0 \cos \phi \quad (1)$$

t anında kristal yüzeyinde iki ışığın titreşim durumu:

$$E_1 = E_0 \sin \phi \cdot \sin \omega t$$

$$E_2 = E_0 \cos \phi \cdot \sin \omega t \quad (2)$$

bağıntıları ile açıklanır. Çift kırıcı kristal halinde ( $\lambda/4$  levhaları), kristalden çıkan iki ışın arasında  $\lambda/4$  kadarlık bir yol farkı oluşur.

$$d_{\lambda/4} = \frac{\lambda}{4} \cdot \frac{1}{n_0 - n_{a0}} \quad (3)$$

Burada  $n_0$ , kristal içindeki adi ışının;  $n_{a0}$  ise fevkalade ışının kırılma indisidir. (2)

bağıntısından,

$$E_x = E_1 = E_0 \sin \phi \cdot \sin \omega t$$

$$E_y = E_2 = E_0 \cos \phi \cdot \sin \omega t \quad (4)$$

elde edilir. (4) bağıntıları yayılma yönünde, yani sabit bir eksen etrafında x ve y yönüne dik dönen bir elektrik vektörünün parametrik ifadesidir.  $\phi = 0$  ve  $\phi = 90$  için;

$$I = I_0 \approx E_0^2 \quad (5)$$

şiddetinde düzlem polarize ışık elde edilir.  $45^\circ$  lik açı için;  $\sin \phi = \cos \phi = 1/\sqrt{2}$  ve  $E$  vektörünün büyüklüğü,

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} = \frac{E_0}{\sqrt{2}} \quad (6)$$

olur. Işık dairesel polarize ve tüm analizör konumlarından şiddetinden kayıp olmadan geçer.

$0^\circ$ ,  $45^\circ$  ve  $90^\circ$  den başka tüm diğer  $\phi$  açılarından geçen ışık, eliptik olarak polarizedir.

Yayılma yönüne paralel eksen etrafında dönen E vektörünün ucu;

$$E_a = E_0 \sin \phi \quad (\text{x-yönü})$$

$$E_b = E_0 \cos \phi \quad (\text{y-yönü}) \quad (7)$$

yarı eksenleri ile bir elipsi açıklar. Söz konusu yönlerde analizör tarafından geçirilen ışığın şiddeti,

$$I_a \approx E_a^2 = E_0^2 \sin^2 \phi$$

$$I_b \approx E_b^2 = E_0^2 \cos^2 \phi \quad (8)$$

olur. Analizörün dönmesiyle geçen ışık şiddetinin maksimumunun minimum değerine oranı için aşağıdaki ifade elde edilir:

$$\frac{I_a}{I_b} = \frac{E_a^2}{E_b^2} = \frac{\sin^2 \phi}{\cos^2 \phi} = \operatorname{tg}^2 \phi \quad (9)$$

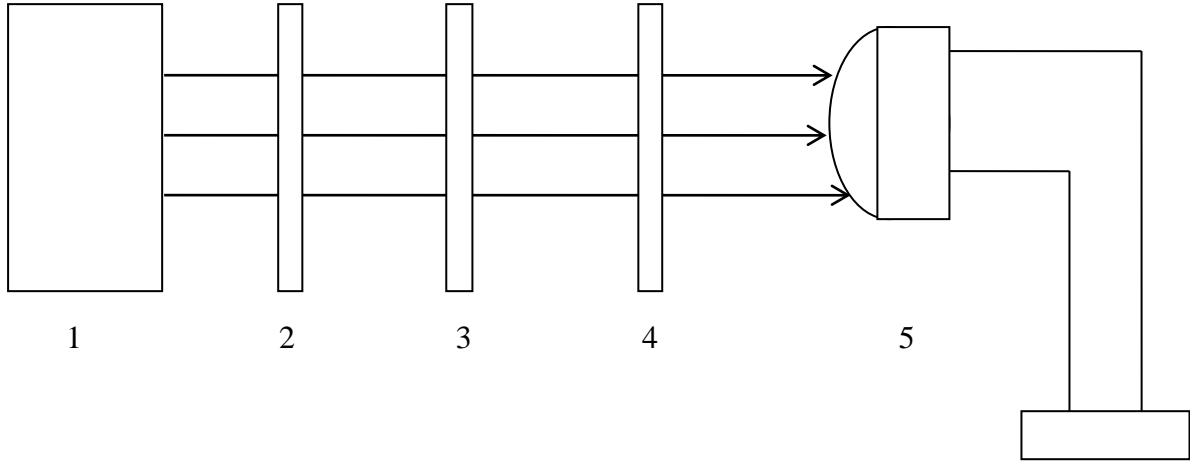
Analizör ve çeyrek dalga (  $\lambda/4$  ) levhasının optik eksenleri arasındaki herhangi bir açısal  $\phi$  için,

$$I \approx E_0^2 \cos^2 \phi \cos^2 \varphi + E_0^2 \sin^2 \phi \sin^2 \varphi \quad (10)$$

elde edilir.

## DENEYİN YAPILIŞI

1. Şekil 3'de görülen deney düzeneğini kurulur. Bu düzenekte optik bant üzerinde lazer (1), polarizör (2), çeyrek dalga levhası kondansatör (3), analizör (4) ve lüksmetre (5) bulunmaktadır.



Şekil 3

2. eyrek dalga levhası konmadan önce analizör ve polarizör sıfır konumda iken fotoselde maksimum sapma olacak Şekilde ışık yolu ayarlanır. Analizör konumunun fonksiyonu olarak aydınlanma Şiddeti llr, Tablo 1'e işlenir ve  $I=f(\theta)$  grafiği çizilir.

Tablo-1

$\Theta$	I (ışık Şiddeti)	$\Theta$	I (ışık Şiddeti)
0		0	
10		-10	
20		-20	
30		-30	
40		-40	
50		-50	
60		-60	
70		-70	
80		-80	
90		-90	



3. Çeyrek dalga levhası yerleştirilir. Çeyrek dalga levhasının optik eksenini ile polarizör arasındaki açı  $0^\circ$  'de iken analizör konumunun fonksiyonu olarak aydınlanma şiddeti ölçülür. Aynı işlemler çeyrek dalga levhası  $30^\circ$  ve  $45^\circ$  ye getirilerek tekrarlanır. Ölçülen değerler Tablo-2'ye yazılır ve  $I=f(\theta)$  grafiği çizilir.

**Tablo-2**

$\theta$	$\varphi = 0^\circ$	$\varphi = 30^\circ$	$\varphi = 45^\circ$
	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>
90			
80			
70			
60			
50			
40			
30			
20			
10			
<b>0</b>			
-10			
-20			
-30			
-40			
-50			
-60			
-70			
-80			
-90			

## O13 IŞIK HIZININ ÖLÇÜMÜ

### AMAÇ:

1. Hava ortamında ışık hızının ölçülmesi,
2. Su ve sentetik reçine içerisinde ışık hızının ölçülmesi,
3. Su ve sentetik reçine kırılma indislerinin bulunması.

### BİLGİ:

#### Işık Hızı

Işık ve diğer elektromanyetik dalgaların boşlukta ilerleme hızı Maxwell denklemleri yardımıyla

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \quad (1)$$

olarak verilir. Burada  $\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12} F/m$  boşluğun dielektrik geçirgenliği;  $\mu_0 = 1,257 \times 10^{-6} H/m$  boşluğun manyetik geçirgenliğidir. Işığın farklı bir ortamdaki ilerleme hızı ise,  $\epsilon_b$  ve  $\mu_b$  sırasıyla ortamın bağıl dielektrik ve manyetik alan geçirgenliği olmak üzere;

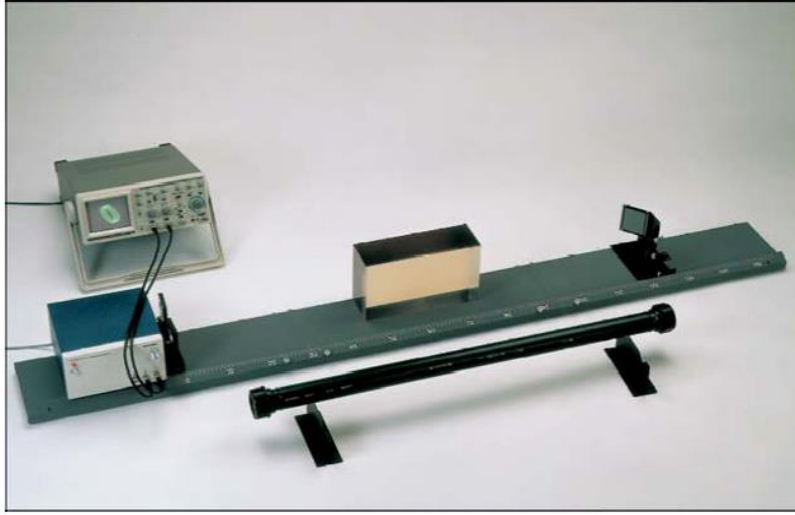
$$c' = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \epsilon_b \mu_0 \mu_b}} \quad (2)$$

İle verilir. Ortamın kırılma indisi ise ışığın boşluktaki ve ortamdaki hızlarının oranına eşittir:

$$n = \sqrt{\epsilon_b \mu_b} \quad (3)$$

#### Işık Hızının Ölçümü

Şekil 1'deki deney düzeneği yardımıyla ışığın hava veya farklı ortamlardaki hızları ölçülebilir. Bu düzeneğe, cetveli optik düzlem üzerine yerleştirilen ışık hızı ölçüm ünitesi, osiloskop, hareketli ayna ve merceklerden oluşmaktadır. Işık hızı ölçüm ünitesinde, ışık yayan diyot (LED) ve ışık alan diyot (fotodiyot) bulunmaktadır. Hareketli ayna ve mercekler aracılığıyla, ışık yayan diyottan çıkan ışık ışınlarının belirli bir yol aldıktan sonra fotodiyot üzerine düşmesi sağlanır. Işık yayıcı sinyali ile alıcı sinyali arasındaki faz farkı, ışığın aldığı yola bağlıdır. Bu yol ölçülerek ışık hızı hesaplanabilir. Bir osiloskop kullanılarak oluşan faz farkı Lissajous şekli ile gözlenir. Şekil, düz çizgi halinde iken pozitif eğimli çizgi için faz farkı 0 (sıfır), negatif eğimli çizgi için faz farkı  $\pi$  dir.



Şekil 1. Işık hızı ölçüm düzeneği.

Hava ortamında ışık hızını ölçmek için, ışığın aldığı yol

$$\Delta l = 2\Delta x \quad (4)$$

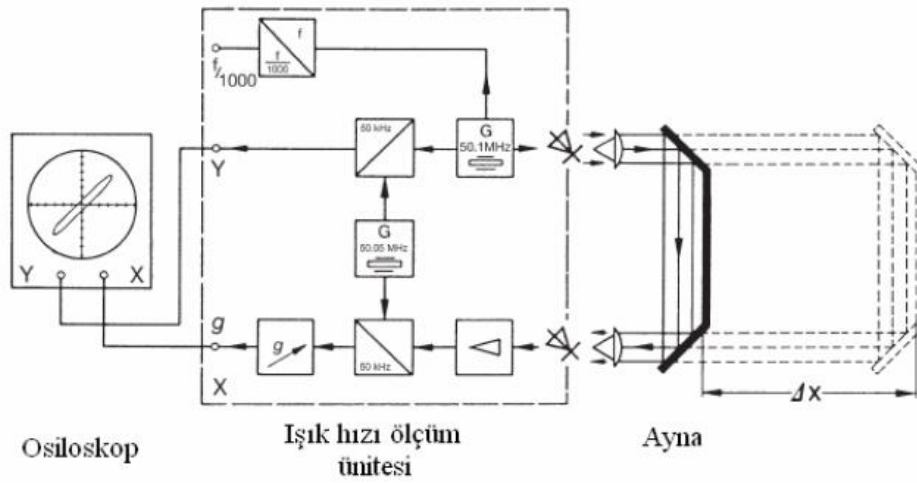
kadar büyütülür (Şekil 2).  $\pi$  kadar yol farkı oluşturmak için ışığın (4) bağıntısında verilen yolu alması için geçen süre

$$\Delta t = \frac{1}{2f} \quad (5)$$

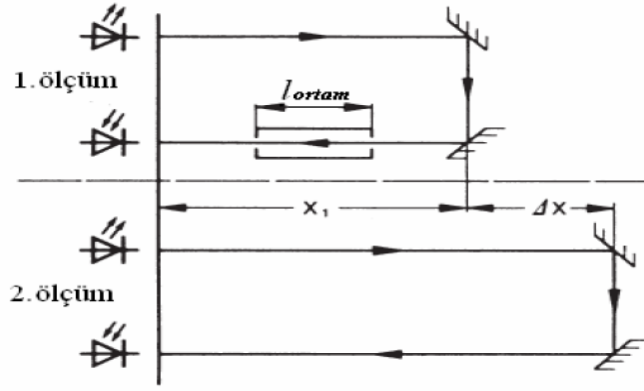
olduğundan, ışığın hava ortamında hızı

$$c_{hava} = \frac{\Delta l}{\Delta t} = 4f\Delta x \quad (6)$$

ile bulunur. Burada  $f$  kullanılan ışık kaynağının modülasyon frekansıdır. Işık hızının hava ortamında hesaplanan değeri  $3 \times 10^8$  m/s dir.



Şekil 2. Hava ortamında ışık hızının ölçüm şeması.



Şekil 3. Farklı ortamlarda ışık hızı ölçüm şeması.

Işığın su ve sentetik reçine içindeki hızı, havadaki hızı ile karşılaştırılarak bulunabilir (Şekil 3). İlk ölçümde ışık farklı bir ortam içerisinden geçerken

$$l_1 = 2x_1 \quad (7)$$

mesafesini

$$t_1 = \frac{(l_1 - l_{ortam})}{c_{hava}} + \frac{l_{ortam}}{c_{ortam}} \quad (8)$$

sürede alır. İkinci ölçümde ise ışık

$$l_2 = l_1 + 2\Delta x \quad (9)$$

mesafesini

$$t_2 = \frac{(l_1 + 2\Delta x)}{c_{hava}} \quad (10)$$

sürede alır. Işık yayıcı sinyali ile alıcı sinyali arasındaki faz farkı her iki durum içinde aynıdır:

$$t_1 = t_2 + \frac{k}{f}; \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (11)$$

buradan ortamın kırılma indisi

$$n = \frac{c_{hava}}{c_{ortam}} = \frac{2\Delta x}{l_{ortam}} + 1 + \frac{k c_{hava}}{f l_{ortam}} \quad (12)$$

olarak bulunur. Işığın su ve sentetik reçine ortamlarında hızı sırasıyla,  $2,248 \times 10^8$  m/s ve  $1,87 \times 10^8$  m/s olarak bilinmektedir. Ayrıca suyun kırılma indisi 1,333; sentetik reçinenin kırılma indisi 1,597 dir.

## Deneyin Yapılışı:

1. Hava ortamında ışık hızının ölçümü için Şekil 1’de verilen deney düzeneği kurulur. Hareketli ayna ve mercekler yardımıyla gelen ve yansıyan ışık ışınlar yatay zemine paralel olacak şekilde ayarlanarak, alıcı diyota maksimum sinyalin ulaşması sağlanır.

2. Işık hızı ölçüm ünitesi kırmızı ışık yayan diyot lamba (LED) sahiptir. Alıcı ve verici sinyallerinin osiloskopta gözlenebilir hale getirmek için lambanın modülasyon frekansı 50.1 MHz’den yaklaşık olarak 50 kHz’e kadar düşürülür.

3. Hareketli ayna, ışık hızı ölçüm ünitesine mümkün olduğunca yaklaşacak şekilde yerleştirilir (Cetveli optik düzlemin 0 noktasına).

4. Işık yayıcı sinyali ile alıcı sinyali arasındaki faz farkı Lissajous şekli olarak osiloskopta XY modunda gözlenir.

5. Işık hızı ölçüm ünitesinin faz ayar düğmesi ile Lissajous şekli, düz bir çizgi haline getirilir.

6. Faz farkı  $\pi$  oluncaya kadar hareketli ayna cetveli optik düzlem üzerinde kaydırılarak, aynanın  $\Delta x$  yer değiştirmesi ölçülür (Şekil 2). Ölçümler tekrarlanarak, Tablo 1’e işlenir.

$$\Delta x_1 =$$

$$\Delta x_2 =$$

$$\Delta x_3 =$$

$$\Delta x_{ortalama} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3}{3} =$$

7. Işığın hava ortamındaki hızı, (6) bağıntısı kullanılarak hesaplanır. Burada kırmızı ışık için modülasyon frekansı  $f = 50.1$  MHz’dir.

$$c_{hava} = 4 \cdot f \cdot \Delta x_{ortalama} =$$

8. Hava ortamında ışık hızının gerçek değeri kullanılarak bağıl hata hesabı yapılır ve Tablo-1’e işlenir.

$$\text{Bağıl Hata } c_{hava} \text{ için } \Rightarrow \frac{|\Delta c|}{c_{gerçek}} =$$

**Tablo-1**

$\Delta x$ (hava)	$c_{hava}$	Bağıl hata $ \Delta c /c_{gerçek}$
$\Delta x_{ortalama} =$		

9. Işığın su içinde hızının bulunması için, su ile doldurulmuş 1 m uzunluğundaki silindirik tüp yansıyan ışık ışınlarının yoluna yatay olarak yerleştirilir. Böylelikle her iki ucunda cam pencereler bulunan tüpten ışığın paralel geçmesi sağlanır (Şekil 3).

10. Hareketli ayna silindirik tüpün hemen arkasına yerleştirilir.

11. Işık hızı ölçüm ünitesinin faz ayar düğmesi ile osiloskop ekranında yine düz bir çizgi elde edilir.

12. Işık yoluna yerleştirilen tüp kaldırılır ve ayna Lissajous şekli tekrar aynı faz farkını verinceye kadar kaydırılır (Şekil 3).

13. Aynanın  $\Delta x$  yer değiştirmesi birkaç kez ölçülerek sonuçlar Tablo 2'ye işlenir.

$$x_{ilk} = \quad x_{son} = \quad \Rightarrow \Delta x_1 =$$

$$x_{ilk} = \quad x_{son} = \quad \Rightarrow \Delta x_2 =$$

$$x_{ilk} = \quad x_{son} = \quad \Rightarrow \Delta x_3 =$$

$$\Delta x_{ortalama} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3}{3} =$$

14. Deneyde  $k = 0$  durumu için (12) bağıntısı kullanılarak ışığın sudaki hızı ve suyun kırılma indisi değerleri hesaplanır.

$$n_{su} = \frac{2\Delta x}{l_{su}} + 1 =$$

$$n_{su} = \frac{c_{hava}}{c_{su}} \quad \Rightarrow \quad c_{su} = \frac{c_{hava}}{n_{su}} =$$

15. Bağıl hata hesabı yapılarak sonuçlar Tablo-2'ye işlenir.

$$\text{Bağıl Hata } n_{su} \text{ için } \Rightarrow \frac{|\Delta n|}{n_{gerçek}} =$$

$$\text{Bağıl Hata } c_{su} \text{ için } \Rightarrow \frac{|\Delta c|}{c_{gerçek}} =$$

**Tablo-2**

$\Delta x$ (su)	$c_{su}$	Bağıl hata $ \Delta c /c_{gerçek}$	$n_{su}$	Bağıl hata $ \Delta n /n_{gerçek}$
$\Delta x_{ortalama} =$				

**16.** Işığın sentetik reçine içinde hızının bulunması için, 30 cm uzunluğundaki sentetik reçine etkin yüzeyleri yola dik olacak şekilde yerleştirilir.

**17.** Deneyin 10-15. adımları tekrarlanır. Işığın reçine ortamındaki hızı ve reçinenin kırılma indisi hesaplanır ve sonuçlar Tablo-3'e işlenir.

$$x_{ilk} = \quad x_{son} = \quad \Rightarrow \Delta x_1 =$$

$$x_{ilk} = \quad x_{son} = \quad \Rightarrow \Delta x_2 =$$

$$x_{ilk} = \quad x_{son} = \quad \Rightarrow \Delta x_3 =$$

$$\Delta x_{ortalama} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3}{3} =$$

$$n_{reçine} = \frac{2\Delta x}{l_{reçine}} + 1 =$$

$$n_{reçine} = \frac{c_{hava}}{c_{reçine}} \quad \Rightarrow \quad c_{reçine} = \frac{c_{hava}}{n_{reçine}} =$$

$$\text{Bağıl Hata } n_{reçine} \text{ için } \Rightarrow \frac{|\Delta n|}{n_{gerçek}} =$$

$$\text{Bağıl Hata } c_{reçine} \text{ için } \Rightarrow \frac{|\Delta c|}{c_{gerçek}} =$$

**Tablo-3**

$\Delta x$ (reçine)	$c_{reçine}$	Bağıl hata $ \Delta c /c_{gerçek}$	$n_{reçine}$	Bağıl hata $ \Delta n /n_{gerçek}$
$\Delta x_{ortalama} =$				



## O14-PERİYODİK OLARAK UYARILAN SÜREKLİ ENİNE DALGALARIN YAYILMASI

### Amaç:

1. Sabit uyarım frekansında farklı osilatörlerde frekansın ölçülmesi,
2. Enine dalganın faz hızının yol-zaman ölçümüyle tayini,
3. Farklı sabit uyarım frekansında dalga boyu-frekans çarpımının sabit olduğunun gösterilmesi,
4. İki ucu sabitlenmiş osilatör sisteminde doğal frekans tayini.

### BİLGİ:

**Titreşim Hareketi:** Doğada karşılaşılan olayların çoğu belirli aralıklarla tekrarlanan hareketlerdir. Eşit zaman aralıklarında kendini tekrarlayan hareketlere *periyodik veya harmonik hareket* denir. Örneğin dünyamız hem kendi hem de güneş etrafında periyodik hareket yapmaktadır. Harmonik hareket yapan cisim sabit bir nokta etrafında doğrusal bir yörüngede ileri geri yer değiştiriyorsa bu harekete *basit harmonik hareket* denir.

**Dalga Hareketi:** Fizikte dalga hareketi, ortamın veya uzayın bir noktasında oluşan titreşim hareketinin ortamda veya uzayda yayılması olarak tanımlanır. Ancak bu yayılma esnasında, teorik olarak ortamın veya uzayın bir parçasının taşınması söz konusu değildir. Tel, ses, su gibi maddesel ortamın hareketini gerektiren dalgalara *mekanik dalga* denir.

Dalga hareketi, dalganın titreşim yönü ile yayılma doğrultusu arasındaki ilişkiye göre ikiye ayrılır:

1. Ortamın parçacıkları dalganın hareket doğrultusuna dik hareket ediyorsa bu tür dalgalara *enine dalga* denir. Örn: ışık, tüm elektromanyetik dalgalar,..
2. Ortamın parçacıkları dalganın hareket doğrultusuna paralel hareket ediyorsa bu tür dalgalara *boyuna dalga* denir. Örn: ses dalgaları,..

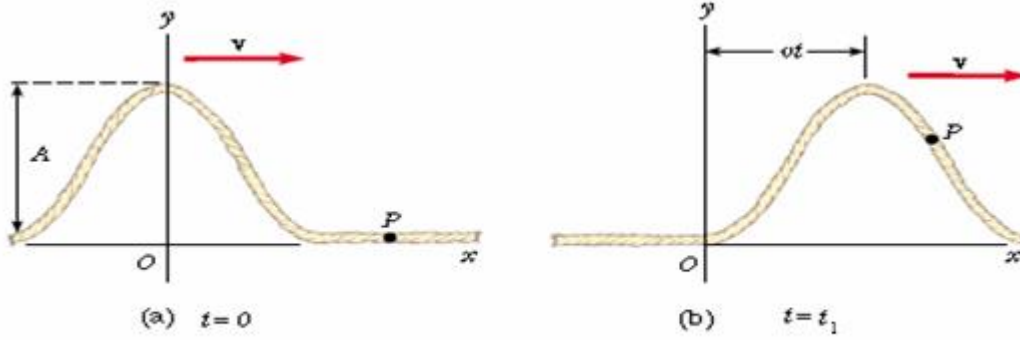
Diğer bir sınıflandırmaya göre;

1. Bir ucu bir yere sabitlenmiş uzun bir ip düşünelim. Serbest ucundan ani hareket ettirdiğimizde tek bir dalga atması meydana gelir ve belirli bir hızla hareket eder. Bu tür dalgaya *ilerleyen dalga* denir.

2. Zıt yönde yayılan iki özdeş dalganın üst üste binmesinden meydana gelen dalgalara *kararlı dalga* denir. Ortamda ilerlemek yerine sabit duran noktalara düğüm noktaları denir ve bunlar enerji taşımazlar. Bu noktalarda dalganın genliği sıfırdır.

### I. İlerleyen Dalga:

Ortamın bir noktasındaki titreşim hareketinin başka bir noktasına aktarılma süresine bağlı olarak dalganın yayılma hızı belirlenir.



Şekil 1. Dalganın yayılma hızı

Tek boyutta bir titreşim hareketi  $t=0$  anında  $y=f(x)$  ile tanımlı olsun (Şekil 1.a). Dalganın yayılma hızı  $v$  sabit ise  $+x$  yönünde  $t$  süre hareket ettiğinde (Şekil 1.b), bulunduğu noktada fonksiyon

$$y = f(x - vt) \quad (1)$$

bağıntısı ile ifade edilir.

Şekil değişikliği dalganın yayılmasıyla aynen iletildiğinden  $t=0$  ile  $t$  zamanları arasında şekil değişikliklerinin eşit olması gerekir;

$$x - vt = sbt \quad (2)$$

olur. Buna göre dalganın yayılma hızı  $v$ , (2) bağıntısının zamana göre türevi alınarak

$$\frac{dx}{dt} - v = 0$$

$$v = \frac{dx}{dt} \quad (3)$$

ile belirlenir. Bu hız *faz hızı* olarak da bilinir.

Yukarıda verilen (1) bağıntısı *dalga denklemi* olarak adlandırılır ve dalga hareketinin  $+x$  yönünde, yani sağa doğru yayıldığını ifade eder.  $-x$  yönünde yani sola doğru yayılan dalga hareketinin denklemi ise,

$$y = f(x + vt) \quad (4)$$

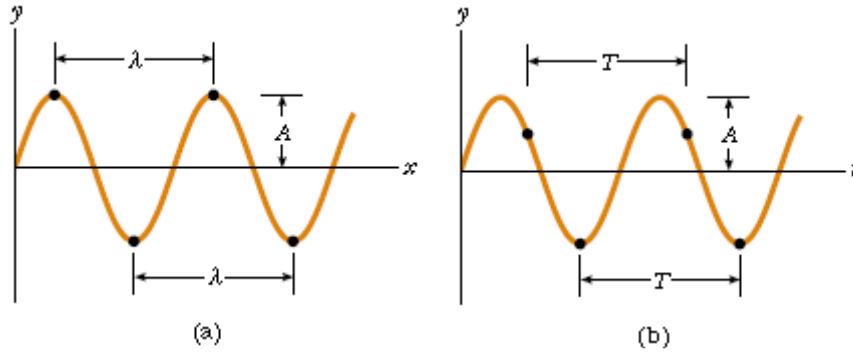
olur. Örneğin  $t=0$  anında dalga fonksiyonu

$$y = A \sin \frac{2\pi}{\lambda} x \quad (5)$$

ile verilen sinüs şeklindeki bir şekil değişimi ise,  $t$  anında fonksiyon (1) bağıntısına göre;

$$y = A \sin \frac{2\pi}{\lambda} (x - vt) \quad (6)$$

olur. Şekil 2'deki şematik dalgaya göre  $A$ : genlik,  $v$ : ilerleyen dalganın faz hızı,  $\lambda$ : dalga boyu,  $t$ : zaman,  $x$ : konum,  $T$ : periyodu göstermektedir;



Şekil 2. Şematik bir dalga

**Genlik (A):** Dalganın denge konumundan itibaren maksimum yer değiştirmesine denir.

**Periyot (T):** Tam bir titreşim için dalganın geçtiği yoldaki bir noktanın geçirdiği zamana denir veya dalganın bir dalga boyu mesafeyi alması için geçen süre olarak da tanımlanabilir.

**Dalga Boyu ( $\lambda$ ):** Dalga üzerindeki iki bitişik tepe veya çukur arasındaki uzaklığa denir.

**Frekans (f):** Bir saniyede sabit bir noktadan geçen işaretli dalga noktasının (tepe, çukur veya işaretli herhangi bir yeri) sayısıdır.

**Açısal frekans ( $\omega$ ):** Birim zamanda sabit bir noktadan geçen işaretli dalga noktasının (tepe, çukur veya işaretli herhangi bir yeri) taradığı açıdır. Bu tanımlardan dalga sayısı

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (7)$$

açısal frekans ve frekans, sırasıyla

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad f = \frac{1}{T} \quad (8)$$

harmonik dalga hızı

$$v = \frac{\omega}{k} \quad v = \lambda f \quad (9)$$

şeklinde ifade edilir. (7) ve (9), (6) bağıntısında yerine konularak

$$y = A \sin(kx - wt) \quad (10)$$

bağıntısı elde edilir. Dalga fonksiyonu  $x=0$ ,  $t=0$  da sıfırdır. Ancak dalga fonksiyonunun  $x=0$ ,  $t=0$  için sıfırdan farklı olduğu durumlarda dalga fonksiyonu genellikle şu şekilde yazılır;

$$y = A \sin(kx - wt - \phi) \quad (11)$$

Burada  $\phi$  faz sabitidir ve başlangıç şartları ile belirlenir.

## II. Kararlı (Durağan) Dalga:

**Üst-üste binme ilkesi:** İki ya da daha fazla dalganın aynı lineer ortamda ilerlerken, ortamda herhangi bir noktadaki toplam yer değiştirmenin (bileşke dalga) tüm dalgaların yer değiştirmelerinin cebirsel toplamına eşit olduğunu ifade eder.

Kararlı dalganın dalga fonksiyonu:

$$y = (2A \sin kx) \cos wt \quad (12)$$

şeklinde gösterilir. Genliğin maksimum yani  $2A$  olduğu karın noktalarının konumu,

$$\sin kx = \pm 1 \quad \text{yani} \quad kx = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}, \frac{7\pi}{2}, \dots \quad (13)$$

$$x = \frac{\lambda}{4}, \frac{3\lambda}{4}, \frac{5\lambda}{4}, \dots = \frac{n\lambda}{4} \quad (n = 1, 3, 5, \dots) \quad (14)$$

olmalıdır. Benzer şekilde; genliğin sıfır olduğu düğüm noktalarının konumu,

$$kx = \pi, 2\pi, 3\pi, \dots \quad (15)$$

$$x = \frac{\lambda}{2}, \lambda, \frac{3\lambda}{2}, \dots = \frac{n\lambda}{2} \quad (n = 1, 3, 5, \dots) \quad (16)$$

olmalıdır.

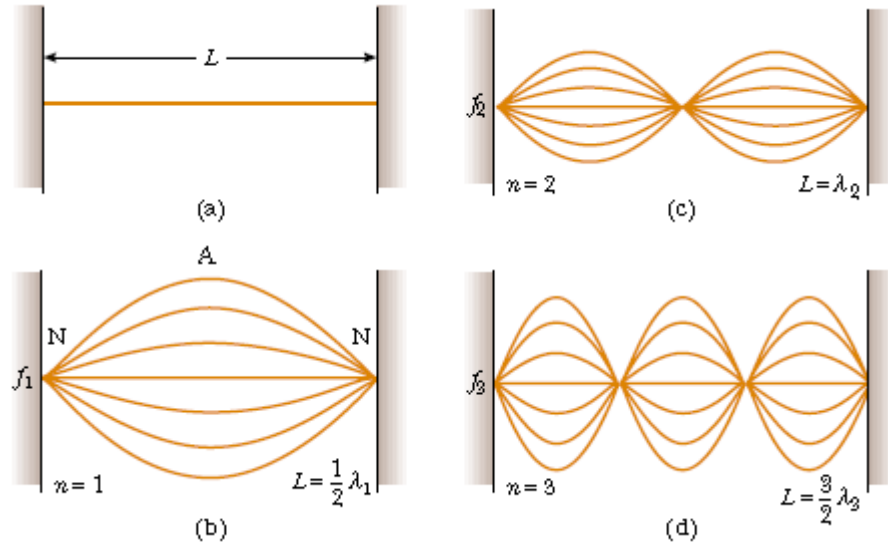
### İki Ucu Sabit Bir Telde Kararlı Dalgalar:

Şekil 3'de kararlı dalgalar, iki ucu sabitlenmiş  $L$  uzunluklu tel üzerinde ilerleyen ve uçlardan yansıyan dalgaların sürekli üst-üste binmesi ile oluşur.

Normal kiplerde:

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (17)$$

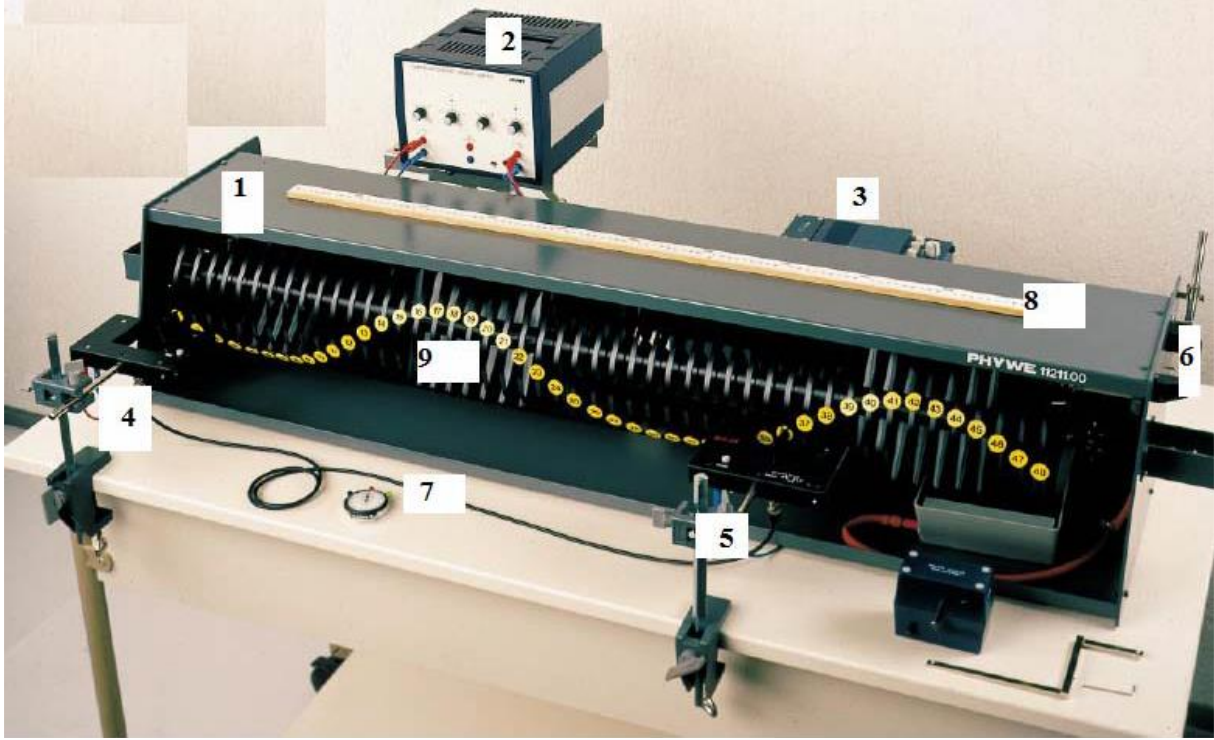
Burada  $n$ : titreşim kipiştir. Dalga hızı  $v$  tüm frekanslar için aynıdır.



Şekil 3. İki Ucu Sabit Bir Telde Kararlı Dalgalar

## Deneyin Yapılışı:

1. Deneyde aşağıdaki Şekil-1’de verilen dalga makinesini kullanılır.



Şekil-1

- |                                 |                             |
|---------------------------------|-----------------------------|
| (1) dalga kaynağı               | (6) osilasyon durdurma kolu |
| (2) güç kaynağı                 | (7) kronometre              |
| (3) deney motoru ve dişliler    | (8) cetvel                  |
| (4) dijital sayaçlı ışık kapısı | (9) osilatör                |
| (10) ışık kapısı                |                             |

2. Sabit uyarım frekansında farklı osilatörlerde frekansın ölçümü için ilk osilatör üzerine palet yerleştirilir.
3. Işık kapısını paletin önüne geçiş esnasında görülecek şekilde yerleştirilir.
4. Deney motorunu açtık ve belirli bir uyarım frekansına sabitleyerek, bir süre kararlı enine dalga oluşmasını beklenir.
5. .... atma sayısı (N) için geçen süreyi kronometre ile ölçerek Tablo-1’e işlenir.
6. Motorun dönüş hızını değiştirmeden paleti 5 farklı osilatör üzerine yerleştirerek aynı ölçümü tekrarlanır ve sonuçları Tablo-1’e işlenir.

Osilatör numarası	1 için $\Delta t =$	Osilatör numarası	8 için $\Delta t =$
	10 için $\Delta t =$		18 için $\Delta t =$
	22 için $\Delta t =$		27 için $\Delta t =$

7. Tam salınım sayısını  $n = N/2$  bağıntısı ile hesapladık ve Tablo-1’e işlenir.

$$\begin{array}{llll}
N_1= & n_1= & N_2= & n_2= \\
N_3= & n_3= & N_4= & n_4= \\
N_5= & n_5= & N_6= & n_6=
\end{array}$$

8. Her bir osilatör için frekansı aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesapladık ve Tablo-1'e işlenir.

$$f = \frac{n}{\Delta t}$$

$$f_1 = \frac{n_1}{\Delta t} =$$

$$f_2 = \frac{n_2}{\Delta t} =$$

$$f_3 = \frac{n_3}{\Delta t} =$$

$$f_4 = \frac{n_4}{\Delta t} =$$

$$f_5 = \frac{n_5}{\Delta t} =$$

$$f_6 = \frac{n_6}{\Delta t} =$$

9. Tüm frekansların aritmetik ortalamasını alınarak ortalama frekansı ( $f_{ort}$ ) belirlenir ve Tablo-1'e işlenir.

$$f_{ort} = \frac{f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5 + f_6}{6} =$$

10.  $f = 1/T$  bağıntısı ile salınım periyodu hesaplanır ve Tablo-1'e işlenir.

$$T = \frac{1}{f_{ort}} =$$

**Tablo-1**

Osilatör numarası	1	8	10	18	22	27
Atma Sayısı (N)						
Salınım sayısı ( $n=N/2$ )						
$\Delta t$						
$n/\Delta t$						
$f_{ort} =$			$T =$			

11. Enine dalgaının faz hızının yol-zaman ölçümüyle tayini için, birinci osilatörün önüne A ışık kapısı, 36. osilatörün önüne B ışık kapısı yerleştirilir ve bu iki ışık kapısı birbirine bağlanır.

12. 1. ve 36. osilatörler arası mesafe cetvelle ölçülerek  $\Delta x$  mesafesi belirlenir ve Tablo-2'ye işlenir.

$$\Delta x =$$

13. 1. ve 36. osilatörlere paletler yerleştirilir. Deney motoru açılır ve belirli bir uyarım frekansına sabitleyerek, bir süre kararlı bir enine dalga ulaşması beklenir.

14. 1. osilatör en düşük sapmasından yukarı doğru hareketlenince sayacın sıfırlama (reset) tuşu aktif olacaktır. Bu osilatör en yüksek saptmaya ulaşınca ışık kapısı sayacı tetikler ve 36. osilatör salınım yapmaya başlayınca sayaç durur. Sayaç üzerindeki  $\Delta t$  süresi okunur ve Tablo-2'ye işlenir.

15. Ölçümler 5 kez tekrarlanarak Tablo-2'ye işlenir.

$$\Delta t_1 =$$

$$\Delta t_4 =$$

$$\Delta t_2 =$$

$$\Delta t_5 =$$

$$\Delta t_3 =$$

16. Ölçülen  $\Delta t$ 'lerin aritmetik ortalaması alınarak Tablo-2'ye işlenir.

$$\Delta t_{ort} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \Delta t_4 + \Delta t_5 + \Delta t_6}{6} =$$

17. Dalganın faz hızı aşağıdaki denklem yardımı ile hesaplanır ve Tablo-2'ye işlenir.

$$v_f = \frac{\Delta x}{\Delta t_{ort}} =$$

**Tablo-2**

	1	2	3	4	5
$\Delta t$					
$\Delta t_{ort}$					
$\Delta x$					
$v_f$					

18. Farklı sabit uyarım frekansında dalga boyu-frekans çarpımının sabit olduğunun gösterilmesi için, öncelikle ilk osilatör üzerine palet yerleştirilir.

19. Işık kapısı paletin önüne geçiş esnasında görülecek şekilde koyulur.

20. Deney motoru açılır ve belirli bir uyarım frekansına sabitlenerek (3-4  $\lambda$ 'lık dalga olacak hıza ayarlanır), bir süre kararlı bir enine dalga oluşması beklenir.



**21.** Sistem sabit bir salınım durumuna ulaşır ulaşmaz hem dijital sayaç hem de kronometre aynı anda çalıştırılır.

**22.**  $\Delta t = 60s$  süre tamamlanınca sayaç üzerinden atma sayısı okunur ve Tablo-3'e işlenir.

$\Delta t = 60s$  için;  $N_1 =$   $N_2 =$   $N_3 =$

**23.** Sistem çalışır haldeyken dalga makinesi üzerinde sağ yandaki sabitleyici kol yardımıyla dalga durdurulur ve dalga boyu ölçülerek Tablo-3'e işlenir.

**24.** Deney daha düşük iki frekansta (deney motorunu azaltarak) tekrarlanır ve sonuçlar Tablo-3'e işlenir.

$\Delta t = 60s$  için ;  $N_1 =$   $n_1 = N_1/2 =$

$N_2 =$   $n_2 = N_2/2 =$

$N_3 =$   $n_3 = N_3/2 =$

**25.** Dalga frekansı  $f = n/\Delta t$  bağıntısı yardımıyla hesaplanır.

$$f_1 = \frac{n_1}{\Delta t} =$$

$$f_2 = \frac{n_2}{\Delta t} =$$

$$f_3 = \frac{n_3}{\Delta t} =$$

**26.** Dalganın faz hızı  $v_f = \omega/k$  ;  $v_f = \lambda f$  bağıntısından hesaplanır.

$$v_{f1} = \lambda_1 f_1 =$$

$$v_{f2} = \lambda_2 f_2 =$$

$$v_{f3} = \lambda_3 f_3 =$$

**27.** Hesaplanan dalga faz hızlarının aritmetik ortalaması alınarak ortalama faz hızı hesaplanır ve önceki kısımda hesaplanan değerle karşılaştırılır.

$$v_{f \text{ ort}} = \frac{v_{f1} + v_{f2} + v_{f3}}{3} =$$

**Tablo-3**

	N	n=N/2	$\Delta t$	f	$\lambda$	$\nu_f$
1						
2						
3						
$\nu_{f \text{ ort}}$	x	x	x	x	x	

**28.** İki ucu sabitlenmiş osilatör sisteminde doğal frekans tayini için, ilk osilatör üzerine palet yerleştirilir ve ışık kapısını palet önüne geçiş esnasında görülecek şekilde konur.

**29.** Dalga makinesinin sağ ucunu sabitleyici çubukla bağlanır ve iki ucu sabitlenmiş L uzunluklu kararlı dalga sistemi elde edilir.

**30.** Deney motorunu açtık ve motor hızını ayarlayarak kararlı dalgaların ilk olarak 0.38 Hz'lik bir frekansta gözlemlendiği görülür.

**31.** Bu doğal frekansla bağdaştırılan salınıma “temel frekans” denir. Bu salınımın dalga boyu  $\lambda=2L$  olmalıdır. Bundan daha yüksek doğal frekanslar  $f_k$ , en düşük doğal frekansın tam katlarıdır ( $f_k = k f_g$ ).

**Tablo-4**

N	n (N/2)	$f_k$	k	$f_k / k$	$\lambda$ (cm)	$\Delta t$	f
20	10	0.38	1		2L/1		
20	10	0.74	2		2L/2		
20	10	0.94	3		2L/3		
20	10	1.43	4		2L/4		