



T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ

FEN EDEBİYAT FAKÜLTESİ

Fizik Bölümü

Modern Fizik Laboratuvarı

TEK ve ÇİFT YARIKTA KIRINIM ve Heisenberg Belirsizlik İlkesi

7.DENEY



T.C. ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ

1 TEK YARIKTA KIRINIM

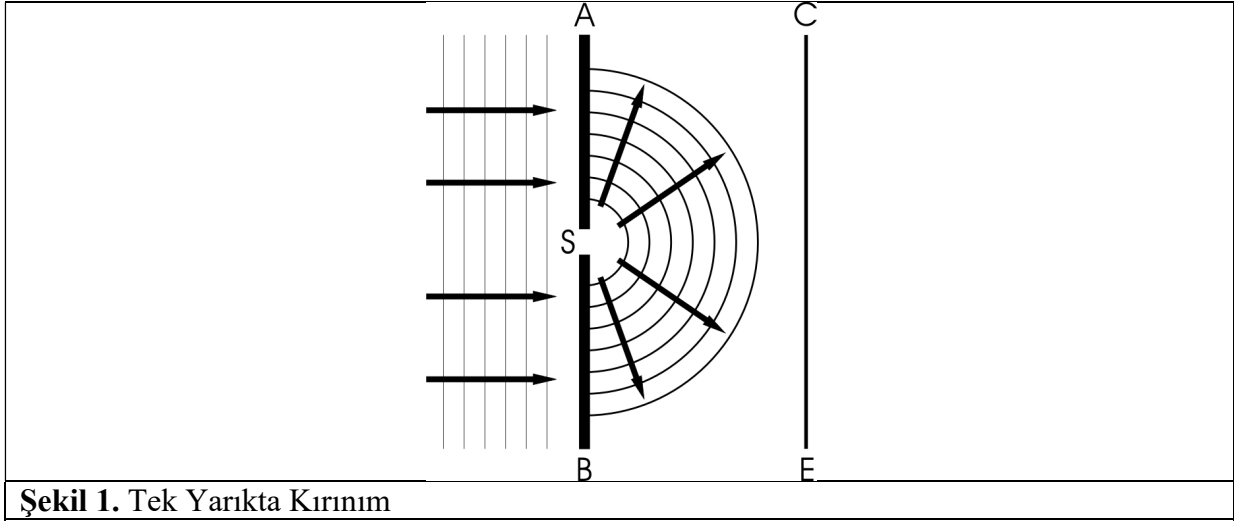
AMAÇ:

1. Tek ve Çift yarıкта kırınım olayının öğrenilmesi.
2. Kullanılan yarıkların genişliklerinin hesaplanması
3. Heisenberg Belirsizlik ilkesinin doğrulanması

2 GENEL BİLGİLER:

İki ya da daha fazla dalganın aynı anda aynı noktaya ulaştıklarını düşünelim. Bu iki dalganın kesişim noktasında oldukça ilginç ve karmaşık olaylar meydana gelmektedir. Bu iki dalganın üst üste binmesiyle oluşan dalganın şiddeti; bu iki dalganın aralarındaki faz farkına bağlı olarak sıfır, her bir ışık demetinin şiddetinden daha küçük veya daha büyük olabilir. İki ya da daha fazla dalganın üst üste binme ilkesince sağlanan şiddet değişimi *girişim* olarak adlandırılır. Yapıcı ve yıkıcı girişim olmak üzere iki çeşit girişim vardır. Yapıcı girişim durumunda oluşan dalganın şiddeti daha büyük, yıkıcı girişim durumunda oluşan dalganın şiddeti her bir dalganınkinden daha küçük veya sıfır olmalıdır.

Işığın girişimi ilk olarak 1801 yılında Thomas Young tarafından gösterilmiştir. Bu olguyu anlamak için bütün dalga hareketi tipleri için geçerli olan önemli bir prensibi ele almak gerekir. Bir yarıktan veya bir cismin keskin kenarından geçen dalgalar gelen dalganın doğrultusundan farklı olarak bütün bölgeye yayılırlar. Bu olgu *kırınım* olarak adlandırılır ve ışığın dalga özelliğini gösterir. Işığın bu saçılma olayını anlamak için üç yüzyıl önce Huygens tarafından öne sürülen bir ilkeyi göz önüne alalım. Huygens ilkesi kırınım olduktan sonra dalga cephesi üzerindeki her bir noktanın yeni bir kaynak gibi davranacağını ifade eder.

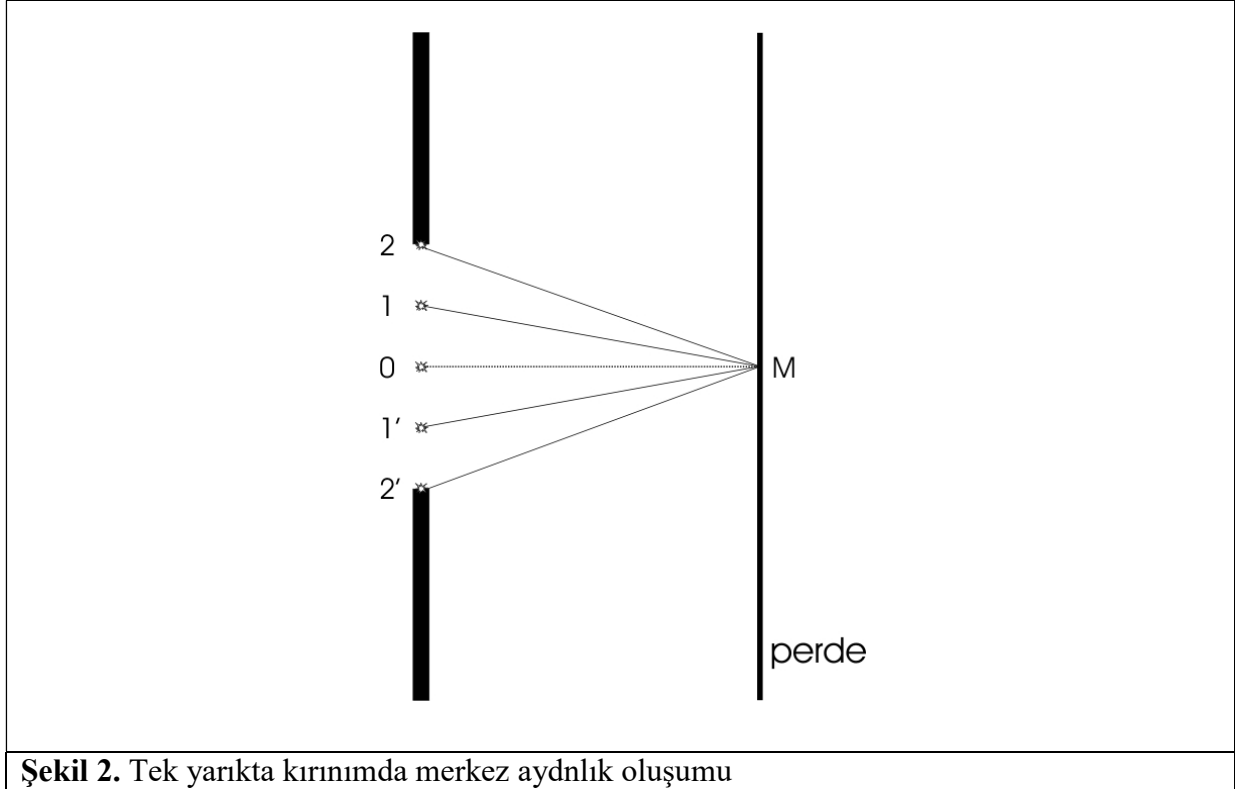


Şekil 1. Tek Yarıқта Kırınım

Tek Yarıқта Kırınım

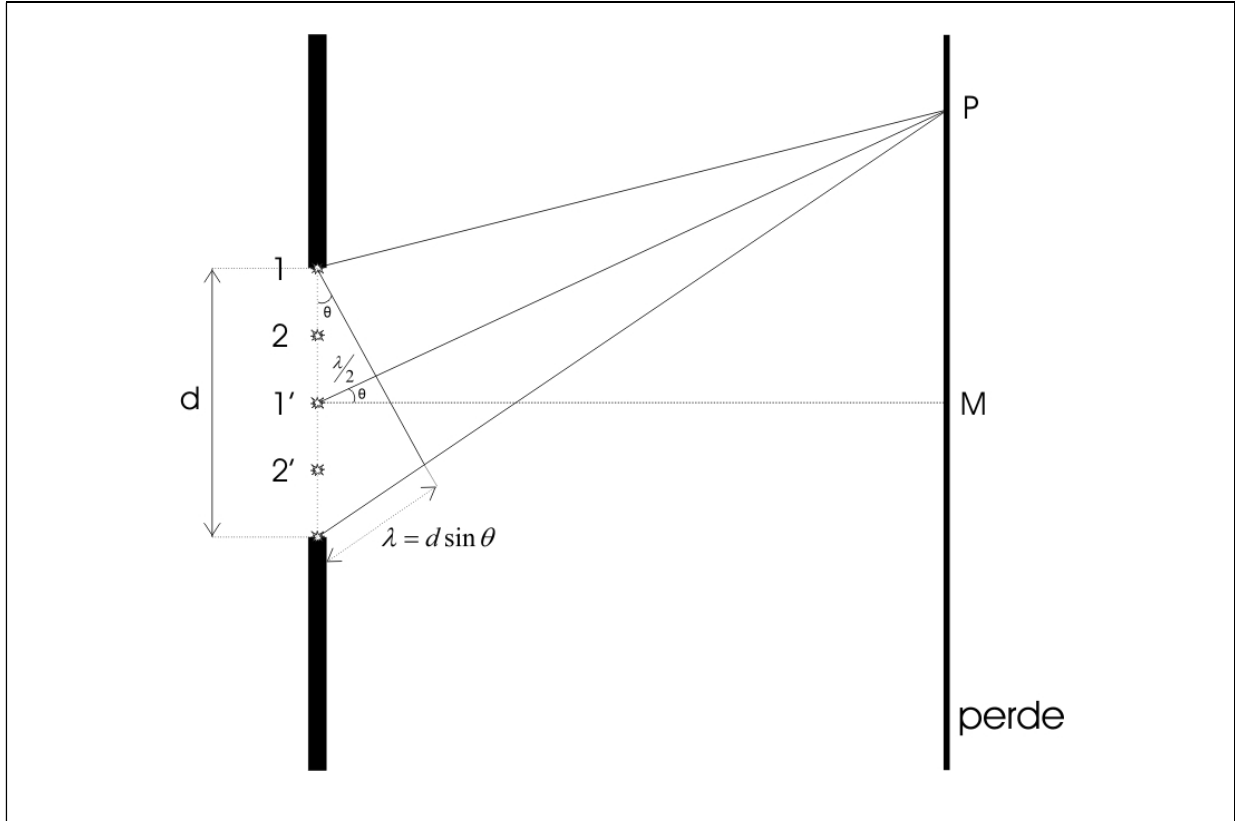
Kaynağın çok uzak ve yarık genişliğinin çok küçük olduğu durumda kaynaktan yayılan dalgalar yarık bölgesinde paralel düzlem dalgalar olarak alınabilir (Fraunhofer kırınımı). Şekil 1’de yarıktan oldukça uzakta bulunan kaynaktan çıkan dalgaların geliş doğrultularını gösteren ışınlar oklarla, dalga cepheleri ise birbirinden λ kadar uzak düzlemlerle gösterilmiştir. Kaynak yarıktan uzakta olduğu için yarığın olduğu noktaya ulaşan dalga cephelerinin yarıçaplarının son derece büyük olduğundan dolayı dalga cepheleri düzlem olarak gösterilmiştir. Bu düzlem dalgalar AB bariyeri üzerindeki “S” yarığı haricinde tüm noktalardan yansır ya da soğurulur. Huygens ilkesine uygun olarak dalgalar, kendi dalgaboyu mertebesindeki bir “S” yarığından geçtikten sonra bölgeye yarım çemberler şeklinde yayılırlar. Çünkü kırınım olayı gerçekleştiğinde, yarık üzerindeki her nokta ışık kaynağı gibi davranır.

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ



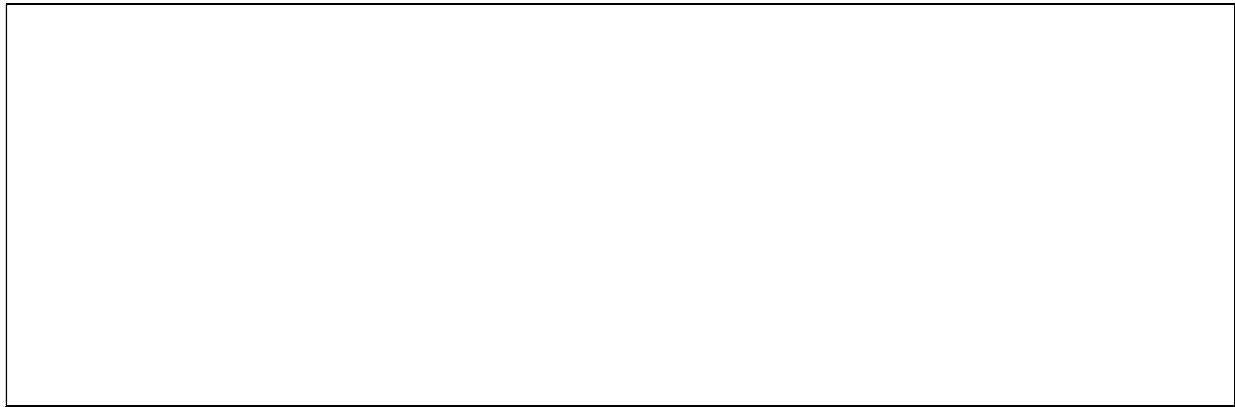
Şekil 2. Tek yarıktaki kırınımın merkez aydınlık oluşumu

Şekil 2’de paralel gelen düzlem dalga cephelerinden bir tanesinin, yarıkla etkileşimi sonucu dalga cephesi üzerinde oluşan sonsuz kaynaktan sadece 5 tanesi gösterilmiştir. Yarığı üst ve alt olmak üzere iki eşit parçaya bölersek ve birbirine göre simetrik kaynakları eşleştirdiğimizi düşünelim (1-1’, 2-2’). Bu kaynaklardan çıkan dalgaların aldıkları yollara bakarsak, 1 ile 1’ kaynaklardan çıkan ışınların, M noktasına gidene kadar aynı miktarda yol aldıkları görülür. Aynı şekilde 2-2’ kaynaklarından, çıkan ışınların, M noktasına uzaklıkları eşit olduğu için aldıkları yol arasında fark yoktur. Bu eşleştirmeyi, yarığın üst bölümündeki sonsuz nokta ile alt bölümündeki sonsuz nokta arasında devam ettirebiliriz. Sonuç olarak aralarında yol farkı olmadığı için faz farkı olmaz ve bütün dalgalar M noktasında yapıcı girişim yaparak merkez aydınlık saçığı oluştururlar.



Şekil 3. Tek yarıktaki kırınımında karanlık saçakların oluşumu

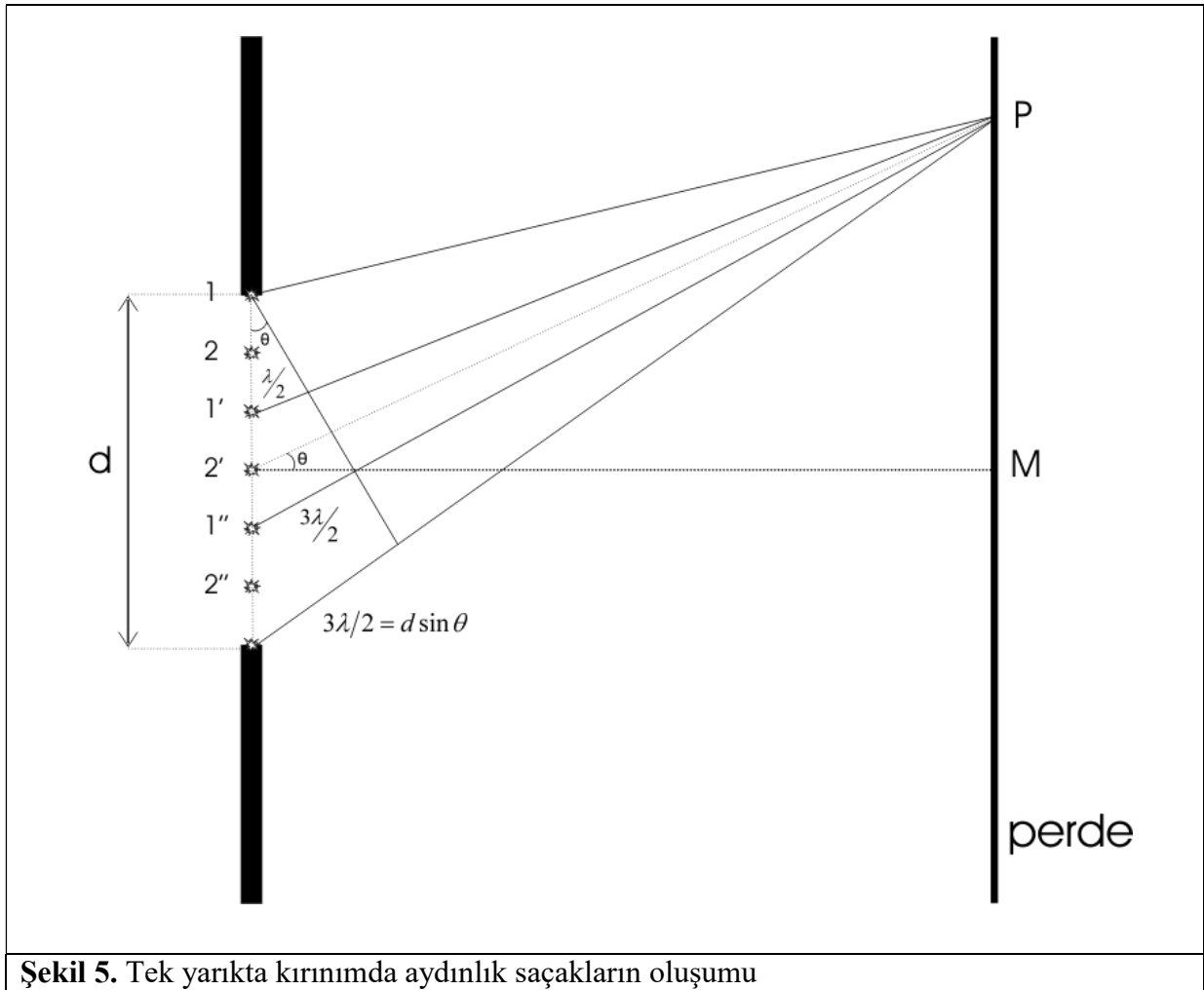
Eğer P gibi herhangi bir noktaya ulaşan ışınlar arasındaki yol farkı $d \sin \theta = \lambda$ olursa, Şekil 3’de görüldüğü gibi farklı bir durumla karşılaşılır. A ralarında λ kadarlık bir yol farkı olursa iki dalga yine yapıcı girişim yapacak şekilde üstüste gelirler ve aydınlık bir saçak oluştururlar. Aralarında $\lambda/2$ kadar yol farkı olan dalgalar ise Şekil 4’te olduğu gibi üst üste bindiklerinde birbirlerini söndürürler. Bu da ekranda karanlık saçak oluşmasına sebep olur.



Şekil 4. Aralarında 180° faz farkı bulunan iki dalga üst üste binmesi

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ

Aralarında $\lambda/2$ yol farkı olan kaynakları birbirleriyle eşleştirerek etkisiz hale getirmek için yarığı iki eşit parçaya ayıralım. Üst kısımdaki 1 nolu kaynak ile 1' nolu kaynak, 2 nolu ile 2' arasında $\lambda/2$ kadar yol farkı var; bu nedenle birbirlerini söndürürler. Kaynak sayısı 4 olarak seçilmesine rağmen, daha fazla sayıda kaynak seçilerek de aynı inceleme yapılabilir. Sonuçta $d \sin \theta = \lambda$ olduğunda yarığın 1. yarısındaki kaynaklar ile 2. yarısı arasındaki kaynaklar birbirlerini söndürecekler ve P noktasında karanlık saçak oluşacaktır.



Şekil 5. Tek yarıқта kırınımında aydınlık saçakların oluşumu

Şekil 5.'te görüldüğü gibi $d \sin \theta = 3\lambda/2$ olduğu zaman P noktasındaki duruma bakmak için yarığı üç eşit parçaya ayırabiliriz. İlk iki bölümdeki kaynakları birebir eşlersek 1-1', 2-2', v.b. çiftleri aralarındaki yol farkı $\lambda/2$ olur. Bunlar birbirlerini söndürdükleri için ilk iki bölümden gelen katkı yoktur. Geriye 3. bölümdeki kaynaklar kalıyor; bu da P noktasında aydınlık saçak oluşturur. Fakat şiddeti M noktasındakinden daha az şiddetli olacaktır. Çünkü yarık boyunca

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ

olan tüm kaynaklardan gelen katkı ile M noktasında yapıcı girişim oluşturmaktadır. Ancak P noktasında ise yarığın üçte biri kadar katkı gelir. Benzer irdelemeyi $d \sin \theta = 2\lambda, 5\lambda/2, 3\lambda...$ için yapılırsa sonuç olarak aşağıdaki genellemeye gideriz:

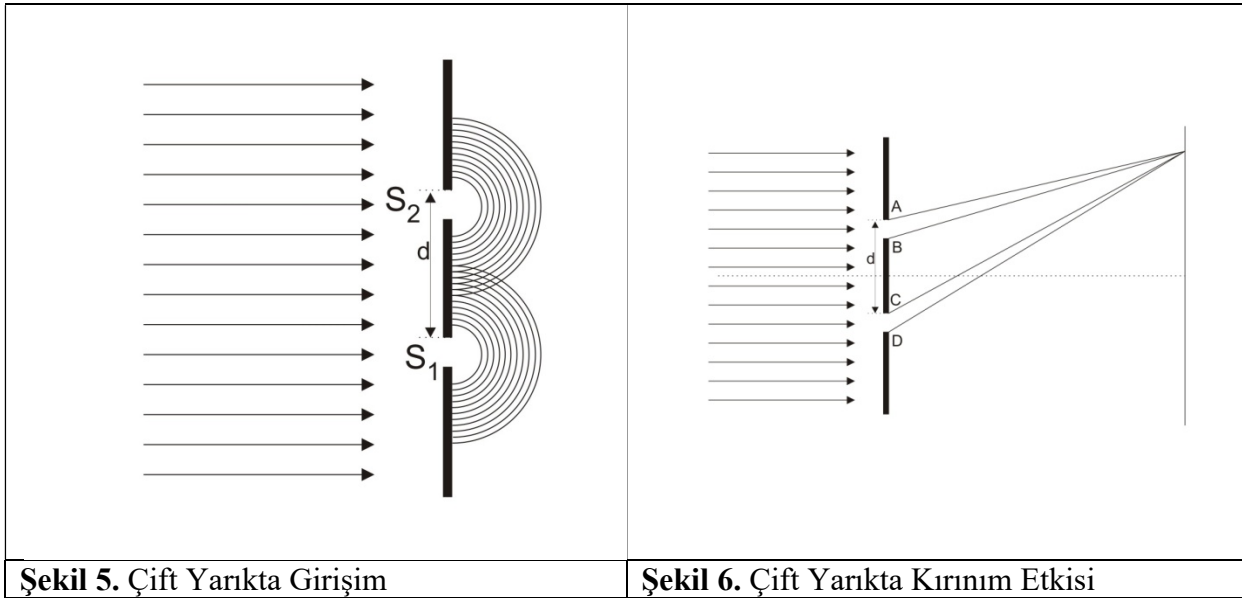
$$d \sin \theta = n\lambda \quad n = 1, 2, 3, \dots \text{Karanlık Saçak} \quad (1)$$

$$d \sin \theta = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad n = 1, 2, 3, \dots \text{Aydınlık Saçak} \quad (2)$$

Dikkat edilirse $n=0$ yerine $n=1$ 'den başlanmıştır. $n=0$ alınırsa karanlık saçak bağıntısına bakılırsa $d \sin \theta = 0$ olur, bu ise merkez saçığı ifade eder ve biz yukarıdaki incelemelerimizden merkez saçığın aydınlık olacağını biliyoruz. Benzer irdeleme aydınlık saçak için yapılırsa $d \sin \theta = \lambda/2$ olur bu ise merkez aydınlık saçak içerisinde bir noktaya karşılık gelir.

Çift Yarıktaki Kırınım

Young deneyinde birbirine yakın iki yarıktan ışığın girişimi olayı, iki ışık demetinin girişimi olarak düşünülebilir(Şekil 5).



Yarıklarda gerçekleşen kırınım olayı nedeniyle yarıklar üzerindeki her bir nokta, noktasal ışık kaynağı olarak davranır. Şekil 6'dan her bir kaynağı ele alarak ekranda oluşan girişim olayını incelersek; 1. yarıktaki A kaynağından çıkan dalganın aldığı yol ile 2. yarıktaki C kaynağından



T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ

çıkan dalganın aldığı yol arasındaki fark $d \sin \theta$ dır. aynı diğer bütün noktasal ışık kaynakları için incelersek yol farkının aynı olduğu görülür. Bu durumda A-C kaynakları yapıcı girişim oluşturuyorsa B-D de yapıcı girişim, A-C yıkıcı girişim yaparsa B-D de yıkıcı girişim yapacaktır.

O zaman herbir yarığı bir kaynak gibi düşünmek hatalı değildir ve ekran üzerindeki girişim olayı için;

$$d \sin \theta = m \lambda \quad m = 1, 2, 3, \dots \text{Aydınlık Saçak} \quad (3)$$

$$d \sin \theta = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda \quad m = 1, 2, 3, \dots \text{Karanlık Saçak} \quad (4)$$

bağıntıları yazılabilir.

Heissenberg-Belirsizlik İlkesi

Heisenberg belirsizlik ilkesi aşağıda verilen (5). eşitsizlikle belirtilir ve aynı anda momentum ve pozisyonunun ölçülemeyeceğini doğrular.

$$\Delta y \Delta p \geq \frac{h}{2\pi} \quad (5)$$

Yukarıdaki eşitsizlikte , $h=6.6262 \times 10^{-34}$ planck sabitine Δy fotonun y eksenindeki pozisyon değişimine Δp ise momentumundaki değişimine karşılık gelmektedir.

Tek yarıқта kırınım deneyinde ışığın kırınması sonucunda perde üzerinde bir desen oluşur. Yarık aralığına (d) ve ışığın perde üzerinde bıraktığı deseni gözlediğimizde ışığın V_x bileşeni dışında V_y bileşeni olduğunuz görürüz. Buda bize şekil 7 den faydalanarak

$$V_y = c \sin \phi \quad (6)$$

dolayısı ile momentumdaki belirsizliği de

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ**

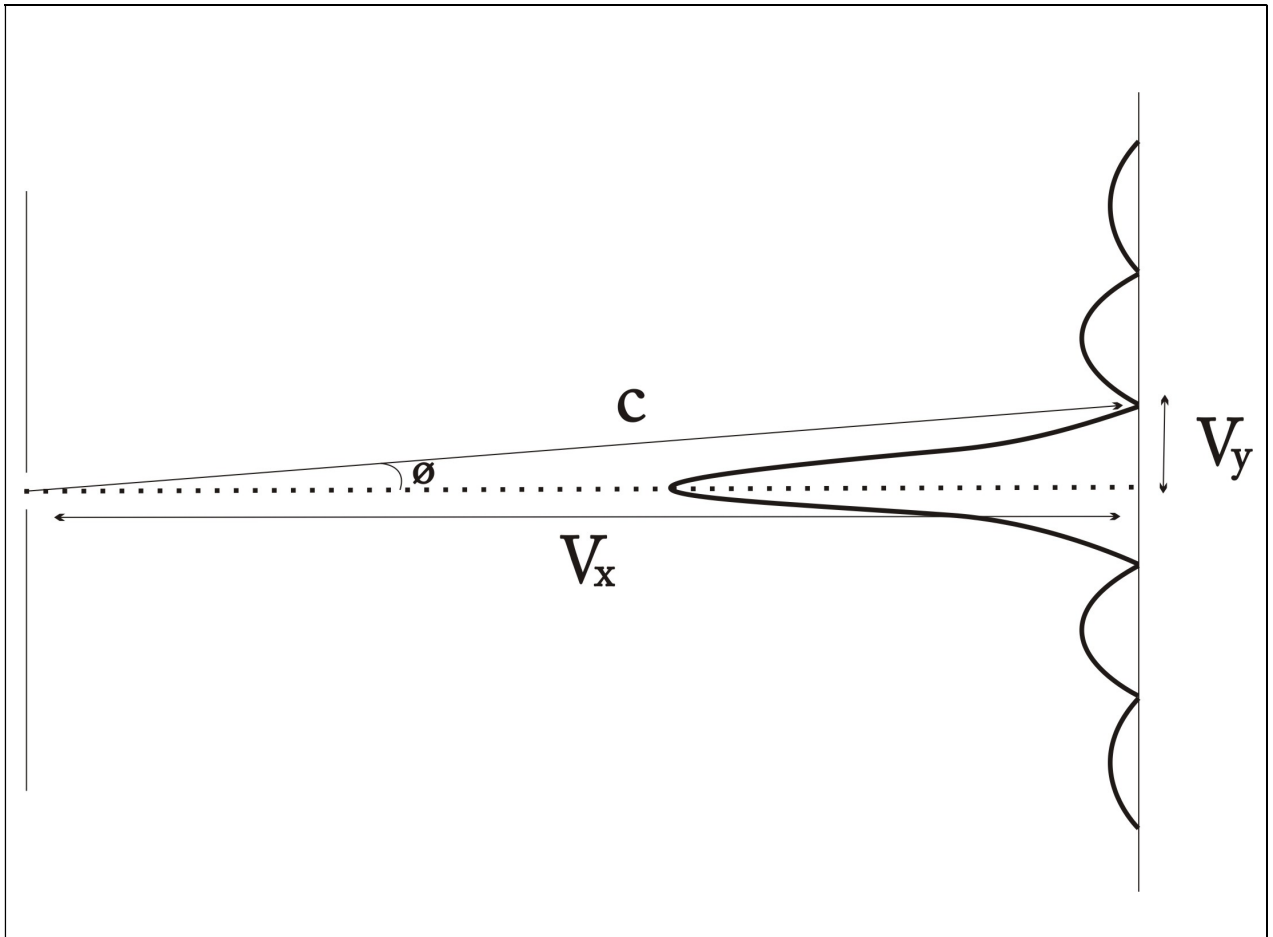
$$\Delta p_y = \Delta p \cdot \sin \phi = \frac{E}{c} \sin \phi$$

$$\Delta p_y = \frac{h\nu}{c} \sin \phi$$

$$\Delta p_y = \frac{h}{\lambda} \sin \phi$$

(7)

şeklinde verir.



Şekil 7

d yarıık aralığındaıan geçen bir fotonun pozisyonundaki belirsizliğı

$$\Delta y = d$$

(8)



T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ

şeklinde kabul ederiz.

Işığın parçacık ve dalga modelini bağlayan *de Broglie bağıntısını* ele alırsak ;

$$\frac{h}{\lambda} = p = m.c \quad (9)$$

ve 7. denklemi burada yerine koyarsak

$$\Delta p_y \frac{\lambda}{h} = \sin \phi \quad (10)$$

denklemini elde ederiz.

$\sin \phi$ ilk karanlık noktadaki açının sinüsü olduğuna göre **1.** ($d \sin \phi = n\lambda$ ($n=1$)) , **10.** ve **8.** denklemleri kullanarak heisenberg kararsızlık ilkesindeki bağıntıyı elde ederiz ;

$$\Delta y \Delta p_y = h \quad (11)$$

Yarık ile perde arasındaki uzaklığı L , ilk karanlık nokta ile merkez aydınlık noktanın merkezi arasındaki mesafeyi de y olarak kabul edersek (şekil 8) ,

$$\frac{y}{L} = \tan \phi \quad (12)$$

bağıntısını , bu bağıntı ile de 10. denklemi kullanarak

$$\Delta P_y = \frac{h}{\lambda} \sin(\arctan \frac{y}{L}) \quad (13)$$

denklemini elde ederiz. 13. , 11. , 8. denklemleri kullanarak

$$\frac{d}{\lambda} \sin(\arctan \frac{y}{L}) = 1 \quad (14)$$



T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ

denklemini elde ederiz.

DENEYDE KULLANILAN ARAÇLAR:

- Kişisel Bilgisayar
- Bilgisayar Arabirimi
- Optik Ray
- Lazer
- Yarıklı Seti
- Step Motor
- Işık Sensörü

PROGRAMIN KULLANIMI

Ekranda 4 adet tuş bulunmaktadır. Bunlar; Başla, Dur, Kalibrasyon ve Home.

Başla: Step motoru çalıştırarak programı veri alımına başlatır.

Dur: Program çalışırken herhangi bir anda veri alımına durdurmak için kullanılır.

Kalibrasyon: Lazer ile sensörün odaklanması için kullanılır. Bu tuşa basıldığında step motor çalışarak sensörü, rayın tam orta noktasına getirir. Bu durumda sensör hem kendi hareket ettiği yayın tam ortasında hemde lazer kaynağın hareket ettiği rayın ekseninin üzerinde olur. Sensör bu konuma geldiğinde, lazer kaynağın arkasındaki düğme sağa-sola çevirilerek aşağı-yukarı ayarı ve lazer çevirilerek sağ-sol ayarı yapılarak lazer kaynağının tam sensörün üzerine ulaşması sağlanır.

Home: Step motoru yardımıyla sensörü veri alımının başlanacağı noktaya hareket ettirir. Sistem bu noktayı başlangıç olarak veri alır ve mesafeleri bulurken bu noktayı referans kabul eder.



T.C. ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ

Deney setinde sensör o konumdaki ışık şiddetini okumaktadır. Oluşan kırınım deseninin ışık şiddetini ölçmek için fotodiyot kullanılmaktadır. Fotodiyotlar üzerlerine düşen ışıkla orantılı olarak akım oluştururlar. Oluşan akım gerilime çevrilip yükseltilir. Deney bilgisayarla yapılacağı için oluşan gerilimin arabirimle bilgisayarın anlayabileceği sayısal veriye çevrilmesi gerekmektedir. Bu işlem ise 0-5 V aralığında 14 bit çözünürlükle çalışan bir ADC (Analog-to-Digital Converter) ile yapılmaktadır. ADC devresi arabirimin içindedir. ADC ile bilgisayar arasındaki haberleşme bilgisayarın seri portu üzerinden yapılır. Fotodiyodu istenilen noktaya getirmek için ise adımli motorlar kullanılmaktadır. Adımlı motorların millerinin dönüş açısı birkaç derece hassasiyetle kontrol edilebilmektedir ve millerinin istenilen açıda kalması sağlanabilmektedir. Adımlı motor kartı arabirimin içindedir.

DİKKAT: Deney setinde kullanılan lazerin kuvvetli olması sebebiyle lazerin odaklanması sırasında deney seti ile birlikte verilen özel gözlüğü takarak sensörden yansıyan ışıkla yada direk gözünüze gelebilecek lazer ışığından korununuz. Deneyin yapımı aşamasında da bu gözlüğün kullanılmasını tavsiye ederiz. Kullanılan lazerinde bir ömrü olması sebebiyle veri alımı tamamlandığında lazeri, besleyici kutu üzerindeki düğmeyi kullanarak kapatınız.

3 DENEYİN YAPILIŞI:

- Şekil 1'deki devreyi kurunuz.
- Bilgisayarınızdan “rentechv3” programını çalıştırınız.
- Bağlantı Seçimi menüsünden “RS 232(USB Çevirici)” yi seçiniz.
- Ekranda görülen “COM PORT” penceresinden en altta çıkan “COM 8” i seçiniz ve “Bağlan” tuşuna basınız. (Com Port seçiminde çeviriciyi bağladığınız USB girişine göre değişim olur. Fakat genel olarak en son çıkan “COM ..” setin Com Port’udur.)
- Herhangi bir sorun halinde bilgisayarın özellikler menüsünden bağlantılara girerek çeviricinin bağlandığı “Com” girişini öğrenebilirsiniz.
- Sistemin bulunduğu odanın veri alımı sırasında karanlık olmasını sağlayınız.
- “Bağlan” dedikten sonra çıkan ekranda kalibrasyonu ve deneyi yapabilirsiniz.



T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ

Lazerin Kalibrasyonu

- 1) Bilgisayar ekranındaki “kalibrasyon” tuşuna basınız.
- 2) Sensör tam merkeze geldiğinde lazer ışığın tam sensör üzerine düşmesini sağlayınız. Bunun için Lazer ışık kaynağının arkasındaki vidaları kullanınız. (Kaynak arkasında yukarıdaki vida aşağı-yukarı ayarını, alttaki iki vida sağ-sol ayarını yapmak için kullanılır.)

Kalibrasyon işleminin deneyin başında birkez yapılması yeterlidir.

I) Tek Yarıktaki Kırınım

1. Lazer ışık kaynağı önündeki yuvaya tek yarık slit’ini takınız.
2. Ekranda oluşan deseninin tam düz olduğundan emin olunuz.
3. Bilgisayar ekranındaki “Home” tuşuna basınız. Bu komut sensörün başlangıç noktasına gitmesini sağlayacaktır.
4. Sensör başlangıç noktasına gelip durduğunda program penceresindeki “Başla” tuşuna basınız. Sistem bu komutla veri alımına başlayacaktır. (Veri alımı sırasında bilgisayara dokunmayınız, aksi takdirde program kilitlenebilir.)
5. Sistemin veri alımı bittiğinde ekranın sağ tarafında şiddet-konum grafiği ve sol tarafında da veriler görülecektir.

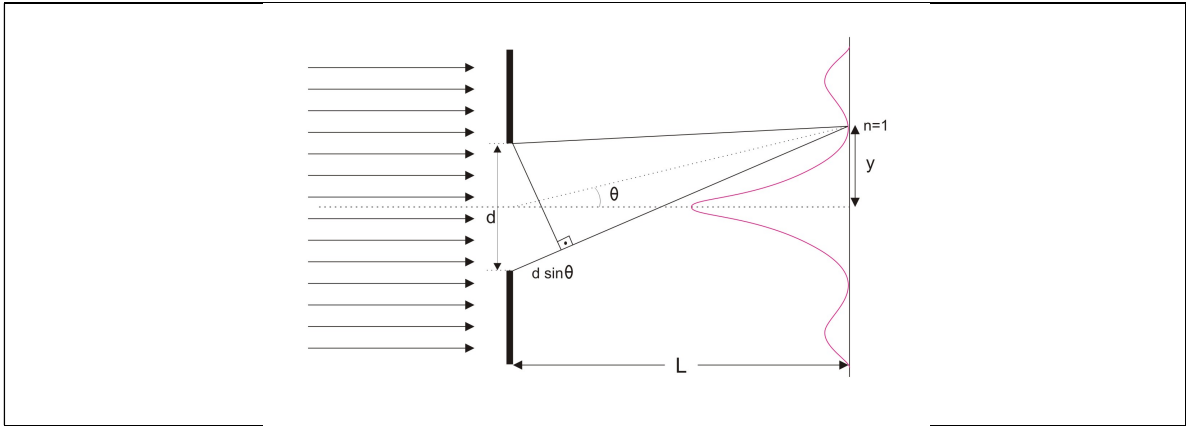
II) Çift Yarıktaki Kırınım

1. Lazer ışık kaynağı önündeki Tek yarık slit’i çıkararak yerine Çift yarık slit’i koyunuz.
2. Bilgisayar ekranındaki “Home” tuşuna basarak sensörü başlangıç noktasına götürünüz.
3. Sensör başlangıç noktasına gelip durduğunda program penceresindeki “Başla” tuşuna basınız. Sistem bu komutla veri alımına başlayacaktır. (Veri alımı sırasında bilgisayara dokunmayınız, aksi takdirde program kilitlenebilir.)
4. Sistemin veri alımı bittiğinde ekranın sağ tarafında şiddet-konum grafiği ve sol tarafında da veriler görülecektir.

4 VERİLERİN ANALİZİ

I) Tek Yarıktaki Kırınım

1. Veri alımı tamamlandıktan sonra merkezcil aydınlığın konumunun belirlenmesi gerekir. Ekranda çıkan grafikte maksimum genliğin olduğu nokta merkezcil aydınlığın konumunu verir.
2. Merkezcil aydınlığın sağ ve sol tarafındaki ilk aydınlıklar 1. Aydınlıklar, sonraki ikincisi aydınlıklardır. ($n = 1, 2, 3, \dots$)
3. Karanlık noktaları kullanacaksanız Denklem 1'i, aydınlık noktaları kullanacaksanız Denklem 2'yi kullanınız.
4. Bu denklemler de $\sin\theta$ 'yı sensör ile lazer kaynak arasındaki mesafe " L " ve aydınlık yada karanlık saçığının merkezcil aydınlıktan uzaklığı " y " yi kullanarak bulunuz (Şekil 7).

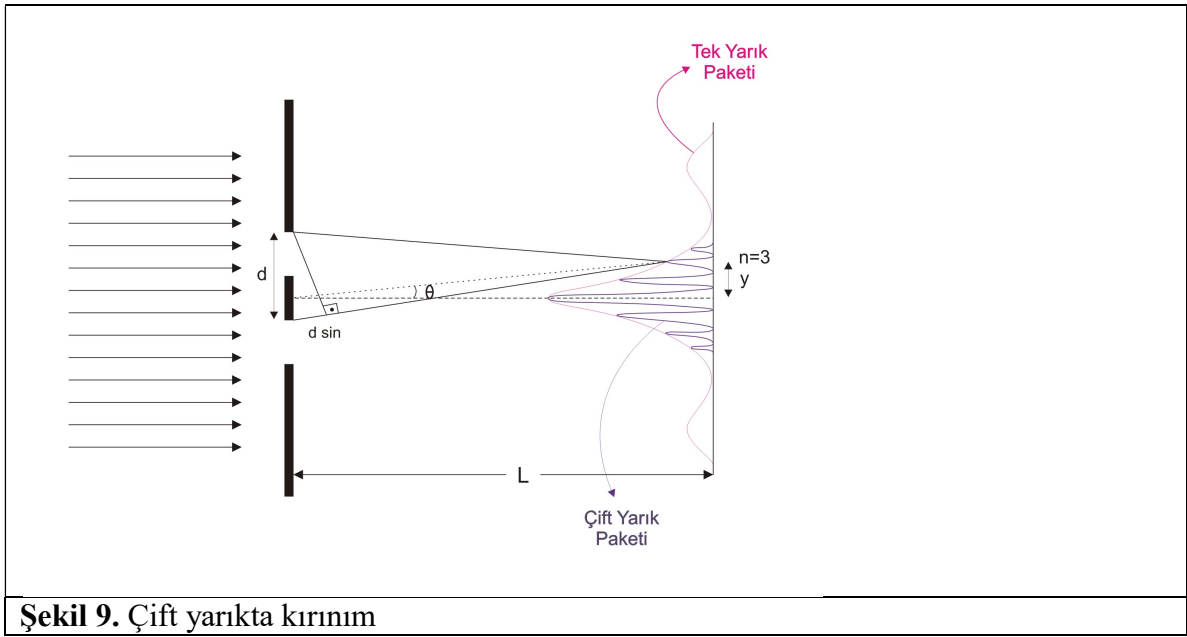


Şekil 8. Tek yarıktaki kırınım

5. Merkezcil aydınlığın 3 adet sağ tarafındaki ve 3 adette sol tarafındaki aydınlık ve karanlık saçıkların konumlarını ve bu konumlar için $\sin\theta$ değerlerini Tablo 1'e kaydediniz.
6. Denklem 2'yi kullanarak bulduğunuz dalgaboyu λ değerlerinin ortalamasını alınız.
7. Bulduğunuz λ_{ort} ile kuramsal dalgaboyunu karşılaştırınız, hata hesabı yapınız.
8. $n \cdot \sin\theta$ grafiğini çizin ve bu grafiğin eğiminden yarık genişliğini hesaplayınız, slit üzerinde yazan değer ile karşılaştırınız.

II) Çift Yarıktaki Kırınım

1. Veri alımı tamamlandıktan sonra merkezcil aydınlığın konumunun belirlenmesi gerekir. Ekranda çıkan grafikte maksimum genliğin olduğu nokta merkezcil aydınlığın konumunu verir.
2. Merkezcil aydınlığın sağ ve sol tarafındaki ilk aydınlıklar 1. Aydınlıklar, sonraki ikinci aydınlıklardır. ($n = 1, 2, 3, \dots$)
3. Karanlık noktaları kullanacaksanız Denklem 1'i, aydınlık noktaları kullanacaksanız Denklem 2'yi kullanınız.
4. Bu denklemler de $\sin\theta$ 'yı sensör ile lazer kaynak arasındaki mesafe " L " ve aydınlık yada karanlık saçığının merkezcil aydınlıktan uzaklığı " y " yi kullanarak bulunuz (Şekil 8).



Şekil 9. Çift yarıktaki kırınım

5. Merkezcil aydınlığın 3 adet sağ tarafındaki ve 3 adette sol tarafındaki aydınlık ve karanlık saçıklarının konumlarını ve bu konumlar için $\sin\theta$ değerlerini Tablo 2'e kaydediniz.
6. Denklem 2'yi kullanarak bulduğunuz dalgaboyu λ değerlerinin ortalamasını alınız.
7. Bulduğunuz λ_{ort} ile kuramsal dalgaboyunu karşılaştırınız, hata hesabı yapınız.
8. $n \cdot \sin\theta$ grafiğini çizin ve bu grafiğin eğiminden yarık genişliğini hesaplayınız, slit üzerinde yazan değer ile karşılaştırınız.



T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ

I) Tek Yarıktaki Kırınım

$$L =$$

$$d_{\text{Teorik}} =$$

$$\lambda_{\text{Teorik}} = 532 \text{ nm}$$

TABLO 1

n	Karanlık Saçaklar			Aydınlık Saçaklar		
	y (mm)	$\sin\theta = \frac{y}{\sqrt{L^2 + y^2}}$	λ (nm)	y (mm)	$\sin\theta = \frac{y}{\sqrt{L^2 + y^2}}$	λ (nm)
-3						
-2						
-1						
0						
1						
2						
3						
			λ_{ort} (nm)			

II) Çift Yarıktaki Kırınım

$$L =$$

$$d_{\text{Teorik}} =$$

$$\lambda_{\text{Teorik}} = 532 \text{ nm}$$

TABLO 2

n	Karanlık Saçaklar			Aydınlık Saçaklar		
	y (mm)	$\sin\theta = \frac{y}{\sqrt{L^2 + y^2}}$	λ (nm)	y (mm)	$\sin\theta = \frac{y}{\sqrt{L^2 + y^2}}$	λ (nm)
-3						
-2						
-1						
0						
1						
2						
3						
			λ_{ort} (nm)			



T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ

III) Heisenberg İlkesinin doğrulanması

d :

λ (ölçülen) :

y :

L :

$$\frac{d}{\lambda} \sin(\arctan \frac{y}{L}) =$$