



Atom ve Molekül Fiziğı Laboratuvarı
Deney Föyü

İçindekiler

Bölüm	Sayfa
1. Amaç	4
2. Tek Yarıktaki Kırınım	4
3. Çift Yarıktaki Girişim (Young Deneyi)	12
4. Deney Düzenekleri	21
5. Deneyin Yapılışı	23
DENEY-1: Tek Yarıktaki Kırınım	23
DENEY-2: Çift Yarıktaki Girişim (Young Deneyi)	30
6. Deney Raporu	36
7. Heisenberg Belirsizlik İlkesi	40
8. Deneyin Yapılışı	47
DENEY-3: Heisenberg Belirsizlik İlkesinin Doğrulanması	47
9. Deney Raporu	52
10. DENEY-4: Franck-Hertz Deneyi	55
11. Kaynaklar	58

1. Amaç

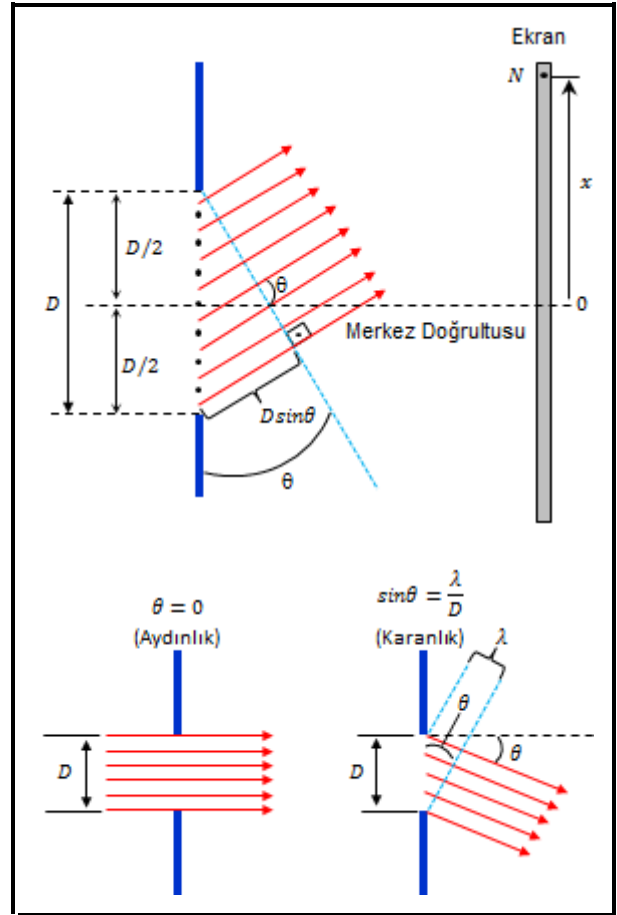
Bu deneyde,

- (1) Işığın **tek yarıktaki** kırınımının incelenmesi ve kırınım deseninde ışık şiddeti dağılımının ölçülmesi,
- (2) Işığın **çift yarıktaki girişiminin** incelenmesi ve girişim deseninin şiddetinden deneyde kullanılan tek renkli ışığın dalgaboyunun deneysel olarak belirlenmesi,
- (3) Tek yarıktaki kırınım olayı yardımıyla **Heisenberg belirsizlik ilkesinin** doğrulanması,

amaçlanmıştır.

2. Tek Yarıktaki Kırınım

Tek yarıktaki kırınım ve çift yarıktaki girişim olayları ışığın dalga yapısı ile açıklanır. Girişim, iki veya daha fazla kaynaktan çıkan dalgaların üst üste binerek, yeni bir dalga oluşturmaktır. Kırınım ise dalgaların bir engel kenarından veya dar bir aralıktan geçerken bükülerek yayılma yönünü değiştirmesi olayıdır. Işığın dalga özelliği göstermesi tek yarıktaki kırınım deneyi ile açıklanabilir. **Şekil (1)**'de genişliği D olan bir yarığa gelen λ dalgaboylu ışığın kırınımı şematik olarak gösterilmiştir. Işığın D genişliğindeki bir yarık üzerine düşmesiyle oluşan kırınım olayını, **Huygens ilkesi** ile inceleyebiliriz. Buna göre, yarık aralığında ilerleyen bir dalganın her noktası, yeni bir dalga kaynağı (noktasal ışık kaynağı) gibi davranır ve bu noktasal ışık kaynaklarından her yöne ışık dalgaları yayılır. Yarığın farklı noktalarından her yönde yayılan ışık dalgaları ekran üzerindeki herhangi bir N noktasına düştüğünde aldıkları **yol farkına** (δ) bağlı olarak o noktada yapıcı veya söndürücü girişim yapar ve bir **kırınım deseni** oluştururlar. Ekranda bazı noktalarda karşılaşan dalga tepeleri ve çukurları birbirlerini güçlendirirken (**yapıcı girişim**) bazı yerlerde ise birbirlerini tamamen veya kısmen söndürür (**yıkıcı girişim**). Dalgaların ekranda birbirlerini güçlendirdiği bölgelerde **aydınlık**, söndürdükleri yerlerde ise **karanlık** saçaklar oluşur. Yapıcı girişim oluşan noktalarda dalga genliği her bir dalganın genliğinin toplamına eşittir, dalgalar birbirlerini güçlendirirler. Yıkıcı girişim durumunda oluşan genlik ise iki genliğin farkıdır, genlikler eşit ise toplam genlik sıfırdır.



Şekil-1: Tek yarıktaki kırınım. Yarık genişliği " D " olan bir yarığın iki ucu arasından gözlem noktasına (N noktasına) ulaşan dalgalar arasında $\delta = D \sin \theta$ kadarlık bir yol farkı vardır.

Karanlık saçak için;

$$D \sin \theta = m \lambda \quad (m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots) \quad (1)$$

koşulu geçerlidir. Burada " m " sayısı, ekran üzerindeki herhangi bir noktanın (yol farkı verilen " N " noktasının) kaçınıcı karanlık saçak üzerinde olduğunu gösterir. **Eşitlik (1)**'de kullanılan diğer değişkenler aşağıda verildiği şekilde tanımlanır;

- (m): Yarık genişliği,
 $\lambda(m)$: Işık kaynağının dalga boyu,
 $\theta(der)$: Yarık merkezinden çizilen dik bir çizgi ile yarık merkezini ekran üzerinde bulunan N noktasına birleştiren çizgi arasındaki açıdır (yani, θ açısı, ekrandaki herhangi bir noktanın konumunu belirleyen **kırınım açısıdır**).

Genişliği D olan dar bir yarıık ışık dalgaları ile aydınlatılınca, bu yarıığın her bir noktası yeni bir dalga kaynağı gibi davranır. Tek yarııkta kırınım olayında yarığı, $D/2$ olacak şekilde iki eşit parçaya böldüğümüzü düşünelim. Bu durumda, birbirine göre simetrik olan bu yeni kaynaklardan çıkan dalgaların (ışık ışınlarının) yarıığın orta dikmesi (merkez doğrultusu) üzerindeki noktalara eşit yollar alarak geleceğinden, burada merkezi maksimum oluşur. Diğer bir ifadeyle, yarıığın orta dikmesi üzerindeki her bir nokta için yarıığın alt ve üst bölgelerinden gelen dalgalar arasındaki yol farkı sıfırdır. Aralarında yol farkı olmadığı için faz farkı da sıfır olur ve tüm dalgalar ekranın "0" noktasında yapıcı girişim yaparak merkez aydınlık saçığı oluşturur. Bu nedenle, $\sin\theta = 0$ durumunun **merkezi aydınlık** saçığa karşılık geldiğine dikkat edilmelidir. Dolayısıyla **Eşitlik (1)**'de verilen ifadede $m = 0$ kullanılmamalıdır. Aydınlık ve karanlık saçıklar, merkezi aydınlık saçığın altında ve üstünde simetrik olarak sıralanırlar.

Yarıık düzleminin ekrana uzak olduğu kırınım olayında (Fraunhofer kırınımı) yarııktan çıkan ışınların ekrana ulaşmadan önce birbirine paralel olduğu söylenebilir. Yarıığın iki ucu arasından (alt ve üst kenarlarından) N noktasına (gözlem noktasına) ulaşan iki ışık dalgası arasında;

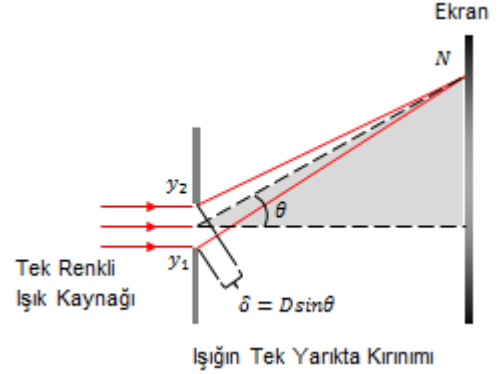
$$\delta = D \sin\theta \quad (\text{Yol Farkı}) \quad (2)$$

kadarlık bir **yol farkı** (path difference) ve bu yol farkı nedeniyle;

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} D \sin\theta \quad (\text{Faz Farkı}) \quad (3)$$

kadarlık bir **faz farkı** (phase difference) vardır. Karanlık saçıklar için yol farkı ışığın dalgaboyunun tam katlarına eşittir. Merkezi aydınlık saçık (merkezdeki parlak maksimum), yarığa gelen dalga yarııktan doğrusal yönde geçtiğinde oluşur. Bu durumda noktasal ışık kaynakları ekrana eşit uzaklıktadır ve bu nedenle dalgalar ekrana aynı fazda ulaşırlar. Ancak, dalgaların doğrusal yönde geçtiği noktadan uzaklaştığında yarıığın bir kısmının ekrana uzaklığı ile diğer bir kısmının ekrana olan uzaklığı birbirinden farklı olur ve dolayısıyla faz farkı oluşur.

Yarıığın iki ucu arasından ekranın N noktasına ulaşan dalgalar arasındaki $\delta = D \sin\theta$ yol farkı ışığın dalgaboyunun tam katları ise N noktası karanlık saçık (minimum) üzerinde bulunur. Eğer δ yol farkı, $(m + \frac{1}{2})\lambda$ ise bu nokta aydınlık (maksimum) olarak gözlemlenir;



Örneğin, N noktasının y_1 noktasına uzaklığı ile y_2 noktasına uzaklığı arasındaki δ yol farkı 2λ ise " N " noktası 2.karanlık saçık üzerinde olacaktır. Eğer bu yol farkı, ışığın dalga boyunun yarım katları ise N noktası aydınlık saçık üzerinde bir nokta olur (yani, yol farkı 2.5λ ise ekrandaki " N " noktası 2.aydınlık saçık üzerindedir).

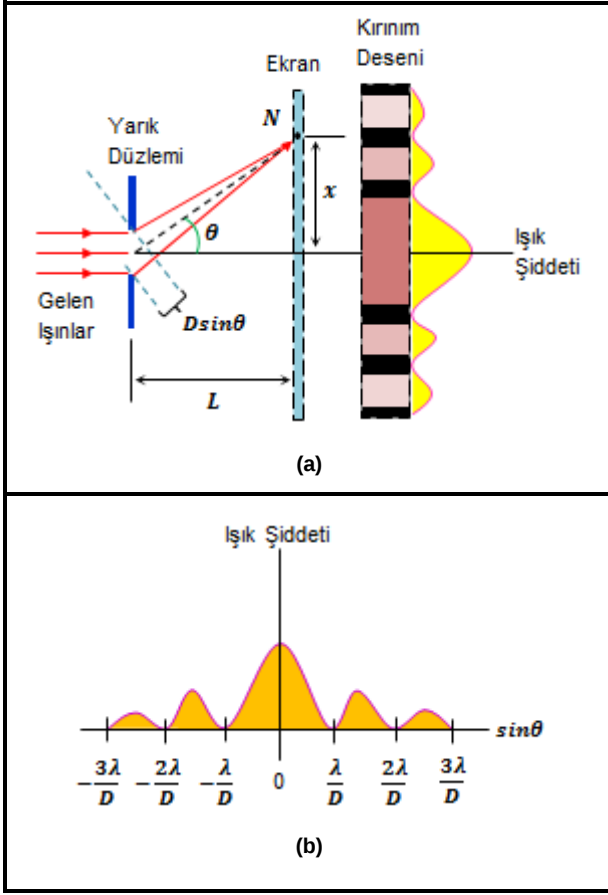
Merkezi maksimumda ($\theta = 0^\circ$) şiddet I_0 olmak üzere, tek yarııkta kırınım deseninin **şiddeti** (I_θ);

$$I_\theta = I_0 \left(\frac{\sin \beta/2}{\beta/2} \right)^2 \quad (\text{Işık Şiddeti}) \quad (4)$$

ifadesi ile tanımlıdır. **Eşitlik (4)** ve **(3)**'de verilen bağıntıları birleştirirsek;

$$I_\theta = I_0 \left[\frac{\sin \left(\frac{\pi D \sin\theta}{\lambda} \right)}{\left(\frac{\pi D \sin\theta}{\lambda} \right)} \right]^2 \quad (5)$$

sonucunu elde ederiz. **Eşitlik (5)**'de verilen ifadeye göre minimumlar (sıfır ışık şiddeti, $I_\theta = 0$), $\sin(\pi D \sin\theta / \lambda) = 0$ olduğunda oluşur. Yani, $\pi D \sin\theta / \lambda = \pi, 2\pi, 3\pi, \dots$ olmalıdır. Bu ifade bize **ışık şiddeti** sıfır olan minimumlar (görünür ışıkla yapılan deneylerde karanlık bantlar) için $\sin\theta = m\lambda$ koşulunu verir.



Şekil-2: Işığın tek yarıktan kırınımı (a) ve ekran üzerinde oluşan saçakların ışık şiddetinin merkez doğrultusundan ($x = 0$) olan uzaklığa göre değişimi (b). Kırınım deseniinde aydınlık saçakların şiddeti (parlaklık şiddeti) merkezi aydınlık saçaktan uzaklaştıkça azalır.

Şekil (2a)'da yarık genişliği " D " olan bir yarığa gelen λ dalgaboylu (tek renkli) bir ışık demeti şematik olarak gösterilmiştir. Yarıktan geçen ve ekrana düşen tek dalgaboylu ışık bir kırınım deseni (diffraction pattern) oluşturur. Kırınım deseniinde merkezdeki parlak maksimum ($m = 0$), yarığa gelen dalganın yarıktan doğrusal yönde yani sapma olmadan ($\theta = 0^\circ$) geçtiğinde oluşur. Yarık genişliğine göre yarık düzlemine çok uzakta bulunan ekrandaki " N " noktası (gözlem noktası) için iki ışık ışını arasındaki δ yol farkı $m\lambda$ ise bu N noktası **karanlık** saçak (minimum) üzerindedir. Eğer, δ yol farkı, $3\lambda/2$ 'nin tek katları ise ($m = \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \dots$) ekran üzerindeki N noktası **aydınlık** saçak (maksimum) üzerinde olacaktır.

Işığın kırınımı ve girişimi ışığın dalga özelliğini gösteren olaylardır. Işığın kırınımı yani bir engel kenarından veya dar bir aralıktan (yarıktan) geçerken bükülerek yayılma yönünü değiştirmesi ışığın dalga modeli ile açıklanır. Kırınımaya uğrayan ışık dalgaları *girişim* yaparak aydınlık ve karanlık saçaklar oluşturur. Işık dalgalarının girişimi, iki ya da daha fazla dalganın aynı anda aynı noktada üst üste gelerek birbirini güçlendirmesi veya zayıflatmasının sonucudur. Tek yarığa paralel bir ışık demeti gönderildiğinde yarıktaki her bir nokta bir ışık kaynağı gibi davranır ve bu nedenle, tek yarığın bir kısmından çıkan ışık, başka bir kısmından çıkan ışıkla *girişim* yapabilir. Işık dalgaları ekranın bir noktasında, örneğin, **Şekil (2a)**'da verilen durumda " N " noktasında yapıcı girişim (interference) yapmışsa o nokta aydınlık olarak gözlemlenir.

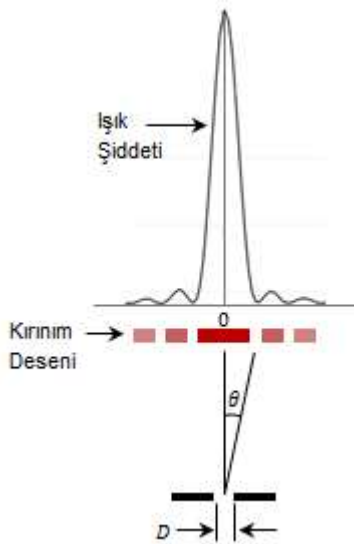
Kırınım deseniinde ışık şiddeti dağılımının $\sin\theta$ 'nın bir fonksiyonu olarak davranışı **Şekil (2b)**'de verilmiştir. Merkezi aydınlık saçak daha geniş olurken, diğer aydınlık saçakların parlaklığının şiddeti merkezi maksimumdan itibaren azaldığı görülür.

- Aydınlık saçakların parlaklığının şiddeti, merkezi aydınlık saçaktan uzaklaştıkça azalır.
- Merkezi aydınlık saçığa göre simetrik olan aydınlık ve karanlık saçaklar arası uzaklık aynıdır.

Merkezi maksimumun (merkezi aydınlık saçığının) her iki tarafında ise, $D\sin\theta = m\lambda$ koşulu ile verilen θ açılarında minimumlar (ışık şiddeti=0) oluşur¹. Burada, $m = \pm 1, \pm 2, \dots$ değerleri minimum şiddetleri (karanlık saçakları) temsil eder. Işık şiddeti, $\theta = 0^\circ$ açısında maksimum olup, $\sin\theta = 0$ durumu merkezi aydınlık saçığa karşılık gelir. Komşu minimumlar ($\pi D\sin\theta/\lambda = \pi, 2\pi, 3\pi, \dots$) arasında sadece bir tek maksimum noktası vardır.

¹**Eşitlik-(5)**'de görüldüğü gibi karanlık saçak durumunda $I_\theta = 0$ olacağından $\sin\left(\frac{\pi D\sin\theta}{\lambda}\right) = 0$ olmalıdır. Bu koşulu sağlayan $\frac{\pi D\sin\theta}{\lambda}$ değerleri $0, \pi, 2\pi, 3\pi, \dots$ 'dir. Ancak "0" alınmaz. Çünkü daha önce açıklandığı gibi bu durum merkez aydınlık saçığa karşılık gelir.

Işık, elektrik ve manyetik alan titreşimlerinden oluşan elektromanyetik bir dalgadır. Dalgaboyu λ olan tek renkli bir ışık demeti dar bir aralıktan geçerken kırınıma uğrar. Dar aralıkta kırınıma uğrayan ışık dalgaları (elektromanyetik dalgalar) ekran üzerinde **girişim saçakları** (maksimum ve minimumlar) oluşturur. Işık dalgalarının girişimi, aynı dalgaboylu ve aynı genlikli iki ışık dalgasının, yani ışık dalgasını oluşturan elektrik ($\vec{E}$) ve manyetik alan ($\vec{B}$) vektörlerinin uzayın bir noktasında üst üste gelmesinin sonucudur. Girişim sonucu, yeni elektrik ve manyetik alan vektörlerine sahip bir elektromanyetik dalga oluşur. Eğer uzayın belirli bir noktasında iki dalga arasındaki **faz farkı** $\varphi = 2\pi$ ise ışık dalgaları yapıcı girişim, faz farkı $\varphi = \pi$ (180°) ise yıkıcı girişim oluşturur. Tek yarıktan geçen λ dalgaboylu lazer ışığının kırınımı sonucu oluşan desende θ **minimum** açısı (şiddeti sıfır yapan açı) $\sin\theta = \frac{m\lambda}{D}$ ile verilir. Burada m tam sayısı, yol farkı verilen N noktasının kaçınıcı karanlık saçak (minimum) üzerinde olduğunu gösterir. Aşağıda lazer ışığının kırınım deseni (kırmızı ile belirtilen dağılım çizgisi) ve bu desene ait **konuma** karşı **ışık şiddeti** grafiği şekil üzerinde gösterilmiştir;



Burada, kırınım açısı θ , tek yarığın merkezinden yani kırınım deseninin $x = 0$ ile gösterilen merkezi maksimumundan **ilk** minimuma doğru ölçülmüştür. Dolayısıyla, m değeri bire eşittir olur ($m = 1$). Kırınım açısını belirleyebilmek için **merkezi** maksimumun her iki tarafındaki **ışık şiddeti sıfır** olan iki minimumun konum değerlerinin bilinmesi gerekir.

Tek yarıktaki kırınım deneyinde ışığın kırınıma uğraması için D yarık genişliğinin yarıktan geçen ışığın λ dalgaboyuna yakın büyüklükte veya ondan küçük olmalıdır;

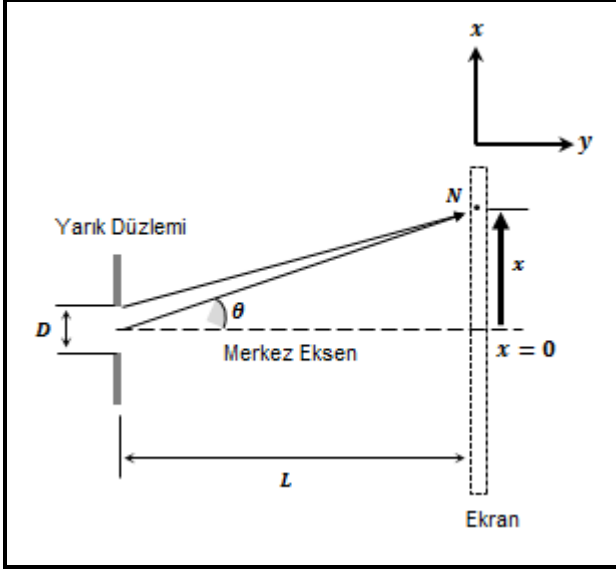
- 1) $\lambda \ll D$ olduğunda gözlenebilir bir kırınım olayı gerçekleşmez. Dalga doğrusal bir yolda ilerlerlerken, eğer yarığın karşısına bir ekran koyulursa, ekran üzerinde parlak bir noktanın (bölgenin) oluştuğu görülür.
- 2) $\lambda \approx D$ ise, kırınım olayı gözlemlenmeye başlanır. Işık, yarığı geçtikten sonra her yönde yayılır.
- 3) $\lambda \gg D$ durumunda, yani yarık genişliği dalga boyuna göre çok küçükse, ışığın tek yarıktaki kırınımı olayı net bir şekilde gözlemlenir. Yarığın farklı bölgelerinden gelen ışık ışınları, birbirleri ile **yapıcı** veya **söndürücü** girişim yaparak bir kırınım deseni oluştururlar. Tek yarık üzerine düşürülen tek renkli ışık demeti, bu yarık aralığını çok sayıda noktasal dalga kaynağı halinde getirir. Dolayısıyla, yarığın her bir noktası bir ışık (dalga) kaynağı gibi davranır. Bu noktasal kaynaklarından aynı ve zıt fazda gelen ışığın bir ekran üzerine düşmesi sonucu oluşan kırınım deseninde $\sin\theta = \frac{m\lambda}{D}$ yıkıcı girişim şartını sağlayan açılarda minimumlar (karanlık saçaklar) oluşur.

Işığın dalgaboyunun ölçülebilmesi için kırınım açısı θ 'nın bilinmesine gerek duyulur. Ekran üzerinde bir noktanın konumunu belirleyen **açı** (θ);

$$\theta = \arctan\left(\frac{x}{L}\right) \quad (6)$$

eşitliği kullanılarak hesaplanabilir. Bu bağıntıda;

- $x(m)$: **m.KARANLIK** saçığının MERKEZİ aydınlık saçığının orta noktasına olan uzaklık,
- $L(m)$: Yarık düzlemi ile ekran arasındaki uzaklık,
- $\theta(der)$: **m.KARANLIK** saçak (minimum) ile merkezi aydınlık saçığının merkezini yarığın orta noktasına birleştiren doğru arasındaki açıdır.



Şekil-3: Tek yarıktaki kırınım olayında bir karanlık çizginin orta aydınlık çizgiye olan x uzaklığı ve θ minimumun açısı. Ekrandaki merkezi ($x = 0$) aydınlık noktası için $\theta = 0^\circ$ 'dir.

Şekil (3)'de ışığın tek yarıktaki kırınımı şematik olarak gösterilmiştir. Ekranın N noktasında **karanlık saçak** (yıkıcı girişim) oluşumu için $D \sin \theta = m\lambda$ koşulunun sağlanması gerekir². Kırınım deseninde şiddet minimumları $\sin \theta = m\lambda / D$ koşulunu sağlayan θ açılarında gerçekleşir. Ekrandaki karanlık saçakların merkeze olan $x_m (= x)$ uzaklığı, L mesafesinden çok küçüktür. Bu nedenle, tek yarıktaki kırınımı incelerken θ açısı küçük açı olarak kabul edilir. Küçük açı yaklaşımından $\sin \theta \approx \theta$ olacağından aşağıdaki bağıntıyı yazabiliriz;

$$\theta = \frac{m\lambda}{D} \quad (7)$$

Yarık düzlemi ile ekran arası mesafe " L " ve m .karanlık çizginin kırınım deseninin merkezine uzaklığı " x_m " olarak verilmektedir. Dolayısıyla, ekrandaki karanlık saçakların merkeze olan x_m uzaklığı;

$$\tan \theta = \frac{x_m}{L} \quad (8)$$

ile verilir.

²Aydınlatılan yarık aralığında yarığın uç kısımlarındaki noktasal ışık kaynaklarının yol farkı ışığın dalga boyunun tam katlarına eşit olduğu durumlarda N noktası karanlık saçak üzerinde bulunacaktır.

Küçük açılar için $\tan \theta \approx \theta$ olacağından **Eşitlik (8)**'de verilen ifadeyi;

$$\theta = \frac{x_m}{L} \quad (8)$$

olarak yeniden yazabiliriz. Tek yarıkla yapılan kırınım deneyinde sapma açısı θ küçük açı olacağından $\tan \theta \approx \sin \theta$ alınabilir. Bu yaklaşımdan;

$$\frac{x_m}{L} = \tan \theta \approx \sin \theta = \frac{m\lambda}{D} \quad (9)$$

bağıntısını yazabiliriz. Buradan, m .karanlık saçığının, orta aydınlık çizgiye (merkez doğrultusuna) olan uzaklığı x_m ;

$$x_m = L \frac{m\lambda}{D} \quad (x_m \ll L) \quad (10)$$

bulunur. Bu eşitlikte;

- $x_m(m)$: Kırınım deseninde m .**karanlık** saçığının **merkezi** aydınlık saçığının orta noktasına olan uzaklığı,
- $L(m)$: Yarık düzlemi ile ekran arası uzaklık,
- $\lambda(m)$: Işık kaynağının dalga boyu,
- (m) : Yarık genişliğidir.

Tek yarıktan çıkan ve $x = 0$ noktasından ulaşan dalgalar arasında yol farkı olmadığı için faz farkı da sıfır olur ve tüm dalgalar bu noktada yapıcı girişim yaparak merkez aydınlık saçığı oluşturur. **Eşitlik (10)**'da belirtilen bağıntı, küçük açılarda m .**karanlık** saçığının (minimumların) merkeze olan uzaklığını yani, $x = 0$ noktasından itibaren karanlık saçakların konumlarını verir. Eğer, merkezi aydınlık saçığının ilk karanlık saçığa uzaklığı x_1 bulunmak istenirse ($m = 1$), bu durumda, tek renkli ışığın dalgaboyu (λ);

$$\lambda = x_1 \frac{D}{L} \quad (\text{DeneySEL}) \quad (11)$$

olur. Dolayısıyla, tek renk ışığın D genişliğindeki dar bir yarık üzerine düşmesiyle oluşan kırınım deseninde karanlık saçaklar (minimumlar) için L , D ve x_m değerleri bilinirse, buradan ışığın dalgaboyu (λ) deneysel olarak hesaplanabilir.

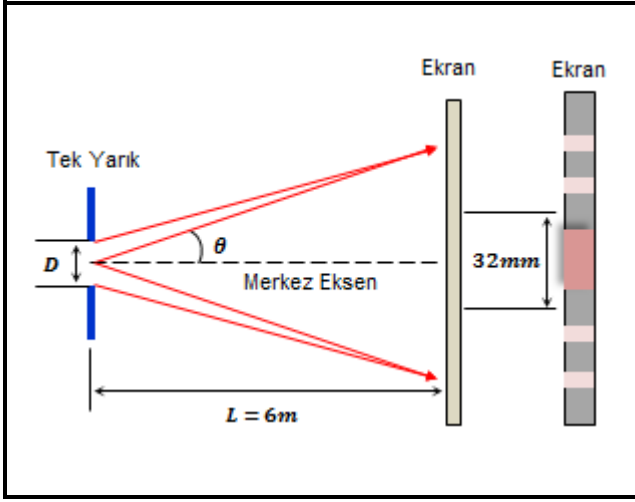
Tek yarıktaki kırınım olayında ekranda oluşan aydınlık ve karanlık bölgelerin genişliğine saçak genişliği denir. Merkezi aydınlık saçak diğer aydınlık saçaklara göre daha parlak ve iki katı genişliktedir. **Saçak aralığı** (Δx) ise, ardışık (komşu) iki aydınlık ya da iki karanlık saçakların orta çizgileri arasındaki uzaklık olarak verilir. **Eşitlik (10)**'da verilen bağıntıya göre saçak aralığı " Δx " cinsinden ışığın dalgaboyunu (λ) aşağıda verildiği şekilde yeniden yazabiliriz;

$$\Delta x = \frac{D \Delta x}{L} \quad (\text{DeneySEL}) \quad (12)$$

Tek yarıktaki kırınım deneyinde komşu iki saçak arasındaki uzaklığı $\Delta x = L \lambda / D$ bağıntısını kullanarak hesaplayabiliriz. Bu eşitliğe göre, λ ve L sabit kalmak koşuluyla, yarık aralığı D küçültülürse, saçak aralığı artar ve dolayısıyla daha geniş girişim deseni gözlemlenir³.

Işığın tek yarıktaki kırınımına uğrayarak gözlem ekranında yapmış olduğu kırınım deseninden **Heisenberg belirsizlik ilkesinin** doğrulanması **Bölüm-7**'de incelenecektir.

³Tek yarıktaki kırınım deneyinde yarık düzlemi ile ekran arasındaki L uzaklığı, saçak aralığını (Δx) etkiler. Buna karşılık, ışık (lazer) kaynağının yarık düzlemine olan mesafesi saçak aralığını değiştirmez. Sadece kırınım deseninde oluşan saçakların parlaklığını etkiler.



Şekil-4: Genişliği D olan bir yarığa gelen dalganın kırınımı. Tek yarıқта kırınımında $\sin\theta = m\lambda/D$ koşulunu sağlayan noktalar **karanlık** saçak üzerinde bulunur.

Işık dalgaları dar bir yarıktan geçerken düz ve doğrusal yollarından sapar ve geliş doğrultusundan uzaklaşarak kırınımına uğrar. Örneğin, tek yarıқта kırınım deneyinde kullanılan $\lambda = 633nm$ dalgaboyuna sahip lazer ışınının dar bir yarıktan geçtiğini ve $L = 6m$ uzaklıktaki bir ekranda, **Şekil (4)**'de gösterildiği gibi bir kırınım deseni oluşturduğunu düşünelim. Ekranda merkez doğrultusu üzerinde parlak bir saçak ve bu bölgenin iki yanında daha az parlak saçaklar sıralanır. Merkezi (orta) aydınlık çizgi dışında oluşan ilk karanlık çizgilerin (first minimum) merkezleri arası uzaklık $32mm$ ölçülmektedir. Bu verilerden yarık genişliğini (D) aşağıda verildiği şekilde hesaplayabiliriz;

- (1) Orta aydınlık çizgiden 1.karanlık çizgiye olan uzaklık için $m = 1$ alınır. Bu nedenle, orta aydınlık çizgiden 1.karanlık çizgiye olan uzaklık $x_1 = 32mm/2 = 16mm$ olur;

- (2) Işığın tek yarıқта kırınımına uğrayarak gözlem ekranında oluşturduğu girişim deseninde **1.karanlık** çizginin orta aydınlık çizgiye olan uzaklığı;

$$x_m = L \frac{m\lambda}{D}$$

olacaktır. Buradan,

$$x_1 = L \frac{\lambda}{D}$$

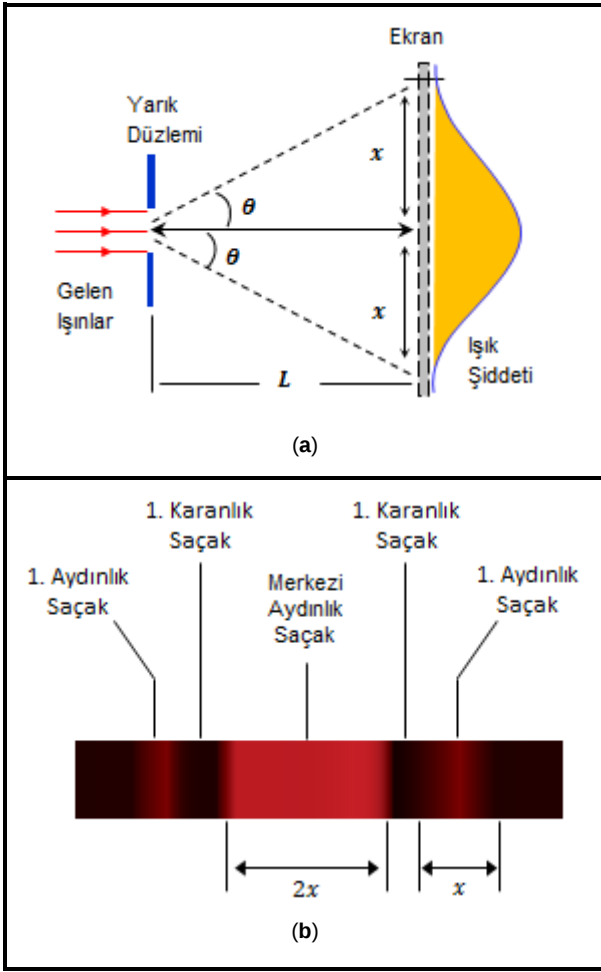
$$D = L \frac{\lambda}{x_1} = \frac{(6m)(633 \times 10^{-9}m)}{16 \times 10^{-3}m}$$

$$D = 2.4 \times 10^{-4}m = 0.24mm$$

bulunur.

Yarığın ekrana çok uzak olduğu kırınım olayında yarıktan çıkan ışınların ekrana ulaşmadan önce birbirine paralel olduğu söylenebilir. Dolayısıyla, yarığın iki ucu arasında ekrandaki herhangi bir gözlem noktasına ulaşan dalgalar arasında $\delta = D\sin\theta$ kadarlık bir yol farkı bulunur. Bir yarıktan geçerken ışığın kırınımı oluştuğunda, kırınım deseninde minimumun açısı $D\sin\theta = m\lambda$ ile verilir. Burada, θ açısı tek yarığın merkezinden (desenin merkezinden) minimuma olan açıdır. Eğer θ açısı desenin merkezinden ilk minimuma doğru ölçülürse, bu durumda m değeri bire eşit olur.

Tek Yarık			
Dalga Boyu	Ekran Mesafesi	1.KARANLIK Çizgi Uzaklığı	Yarık Genişliği
(nm)	$L(m)$	$x_1(m)$	$D(mm)$
633	6	16×10^{-3}	.....



Şekil-5: Tek yarıktaki kırınım olayında genişliği $2x$ olan merkezi aydınlık saçığın parlaklığının şiddeti (a) ve kırınım deseninde aydınlık saçıklar (b).

Diğer bir örnek olarak, 750nm dalgaboyuna sahip ışığın yarık genişliği $1.0 \times 10^{-3}\text{mm}$ olan bir aralıktan geçtiğini düşünelim (Şekil 5a). Tekli yarıktan 20cm uzaklıkta bulunan bir ekranda oluşan merkezi maksimumun (merkezi aydınlık saçığın) genişliğini derece veya santimetre cinsinden bulabiliriz;

$\lambda(\text{nm})$	$D(\text{mm})$	$L(\text{cm})$
750	1.0×10^{-3}	20

Tek yarıktaki kırınım deseni, merkezinde parlak bir maksimum ve bu merkezi maksimum etrafında çok daha düşük yoğunluklarda parlak (maksimum) ve sıfır yoğunluklarda karanlık (minimum) bölgelerden oluşur (Şekil 5b). Karanlık ve aydınlık bölgeler (saçıklar), merkezi aydınlık saçığın her iki tarafında simetrik olarak sırasıyla oluşur.

NOT

Tek yarıktaki kırınımında ekranda merkez doğrultusu üzerinde merkezi aydınlık saçık bulunur. Merkez doğrultusuna simetrik olarak her iki tarafta merkezi aydınlık saçığın yarısı genişlikte, parlaklıkları azalan diğer **karanlık** ve **aydınlık** saçıklar görülür. Yarık aralığının artmasıyla kırınım deseninde oluşan saçıkların genişliği azalır.

Işığın tek yarıktaki kırınımına uğrayarak ekranda yaptığı kırınım deseninde aydınlık saçıkların ışık şiddetleri merkezi aydınlık çizgide maksimum olurken, ekranın kenarlarına doğru zayıflar. Merkezi aydınlık saçığın genişliği ($2x$), aydınlık saçığın ilk kenarındaki 1. minimumdan (sıfır ışık şiddeti) başlar ve diğer kenarındaki 1. minimuma kadar devam eder. Dar bir yarıktan geçen tek renkli ışığın kırınım deseninde minimum açısı için $D \sin \theta = m\lambda$ bağıntısı vardır. Burada, D yarık genişliği, θ açısı ise desenin merkezinden minimuma olan açıdır. Buna göre, **birinci** minimumun ($m = 1$) açısal konumu;

$$\sin \theta = \frac{\lambda}{D} = \frac{7.5 \times 10^{-7} \text{m}}{1.0 \times 10^{-3} \text{m}} = 0.75$$

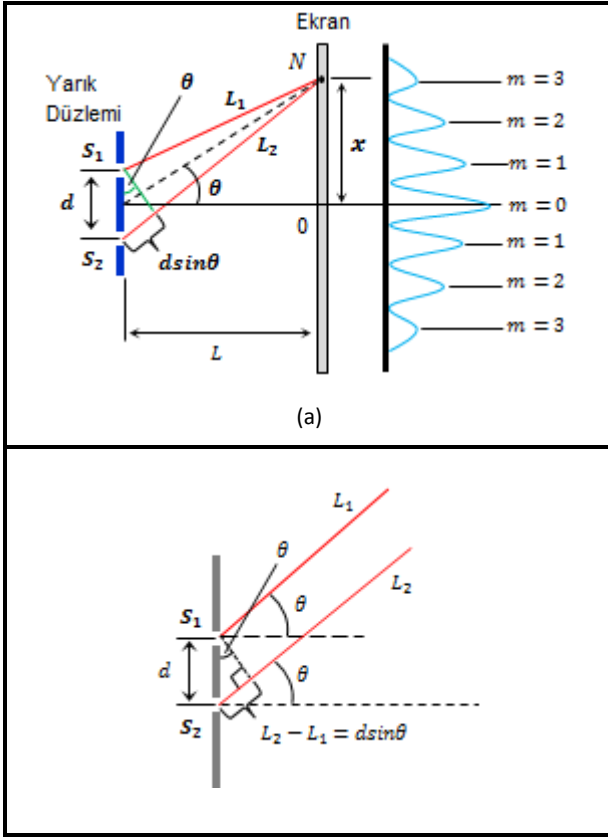
olup, buradan $\theta = 49^\circ$ bulunur. Bu açı, merkez ve ilk minimum (karanlık saçak) arasındaki açıdır. Dolayısıyla, merkezi aydınlık saçığın genişliği $\theta = 98^\circ$ bulunur. Merkezi aydınlık saçığın santimetre cinsinden **genişliği** ($2x$) ise aşağıda verildiği şekilde hesaplanır;

$$\tan \theta = \frac{x}{L} = \frac{x}{20\text{cm}} \Rightarrow x = (20\text{cm}) \tan \theta$$

$$2x = 2(20\text{cm})(\tan 49^\circ) = 46\text{cm}$$

Yarık genişliği (aralığı) D iki katına çıkartılırsa (λ dalgaboyu sabit), ilk minimumun açısal konumunun ($\sin \theta = \lambda/D$ ile verilen) azalacağına dikkat edilmelidir. Kırınım deseni, her iki tarafında birinci minimum bulunan parlak bir merkez maksimumundan oluşur. Desende, $\sin \theta = 0$ durumu diğer saçıklara göre daha parlak olan bu merkezi aydınlık saçığa karşılık gelir.

3. Çift Yarıktan Girişim (Young Deneyi)



Şekil-6: Çift yarıktan girişim (Young) deneyinde ışık şiddetinin merkez doğrultusundan x uzaklığına göre değişimi (a) ve çift yarıktan yayılan paralel ışınlar (b). Ekranın N noktasına, merkez doğrultusu ile θ açısı yapan ve yaklaşık olarak birbirine paralel giden ışınlar gelecektir.

Çift yarıktan girişim olayı ışığın dalga yapısını gösteren bir olaydır. Çift yarıktan girişim deneyi ışığın girişim olayını açıklar ve bu da ışığın dalgalar halinde yayıldığını gösterir. Işık, elektromanyetik bir dalgadır ve dalga boyuna bağlı olarak farklı miktarda enerji taşır. Işık dalgaları, foton adı verilen taneciklerden oluşur. Frekansı f olan bir fotonun taşıdığı enerji $E = hf$ ile verilir. Burada h Planck sabitidir. Işığın dalga boyu artarsa fotonların enerjisi azalır ($f = c/\lambda$ olması nedeniyle). Işık, tanecikler şeklinde doğrusal yol boyunca her yöne yayılır. Yüksüz ve kütsüz olan bu taneciklerin hareketine bir dalga eşlik eder. Bu nedenle, elektromanyetik dalgalar hem **dalga** hem de **parçacık** yapısında olma özelliği vardır yani ışık, parçacık özelliğinin yanı sıra dalga özelliği de gösterir.

Bir ışık kaynağından çıkan λ dalga boyu (tek renkli) ışık iki dar yarık üzerine düşürülürse, **Huygens ilkesine** göre bu iki yarık aynı fazda çalışan iki farklı ışık kaynağı gibi davranır. Böylece, aynı dalga boyuna sahip iki ışık kaynağı elde edilmiş olur. Bu yeni kaynaklardan yayılan ışık dalgalarının bir ekran üzerine düşmesi sonucu aydınlık (maksimum) ve karanlık (minimum) saçaklar oluşur. Girişim deseni, merkezi aydınlık saçığa göre simetrik ve birbirini takip eden aydınlık (maksimum) ve karanlık (minimum) saçaklardan oluşur. Işık dalgaları tepe+tepe veya çukur+çukur olacak şekilde üst üste binerse girişim deseninin o bölgesinde ışık şiddeti artar ve aydınlık saçak (maksimum) gözlemlenir. Eğer, dalgalarından birinin tepe noktası diğerinin çukur noktası ile örtüşürse (tepe+çukur) dalga sönümü gerçekleşir ve o bölge karanlık (minimum) olarak gözlemlenir;

- Dalga tepeleri ve çukurları dalgaların genliklerinin maksimum oldukları noktalar. İki veya daha fazla kaynaktan çıkan ışık dalgaları ekran üzerinde herhangi bir noktaya aynı fazda geldikleri zaman bu noktada oluşan dalganın genliği her bir dalganın genliğinin toplamına eşit olur. Bu olaya **yapıcı girişim** denir.
- Ekran **yapıcı girişim** oluşturulursa aydınlık, yıkıcı girişim oluşturulursa karanlık bantlar (saçaklar) görülür. Bu aydınlık (maksimum) ve karanlık (minimum) bantlardan oluşmuş desene girişim deseni denir. **Aydınlık** saçakların üzerindeki bir nokta ışık dalgasının tepe+tepe ya da çukur+çukurlarının üst üste binmesiyle oluşurken, **karanlık** saçak üzerinde bulunan noktalar ise tepe+çukurun üst üste binmesi sonucu oluşur.

Şekil (6a)'da, iki yarıktan (S_1 ve S_2 kaynaklarından) çıkan ışık dalgalarının, yarıklardan farklı uzaklıkta bulunan bir " N " noktasında oluşturduğu girişimi gösterilmiştir. Yarıkların ekrana uzaklığı " L " olup, " θ " açısı ise " N " noktasını kaynakların (S_1 ve S_2) orta noktasına birleştiren doğru ile merkezden ($x = 0$) geçen doğru arasındaki açıdır.

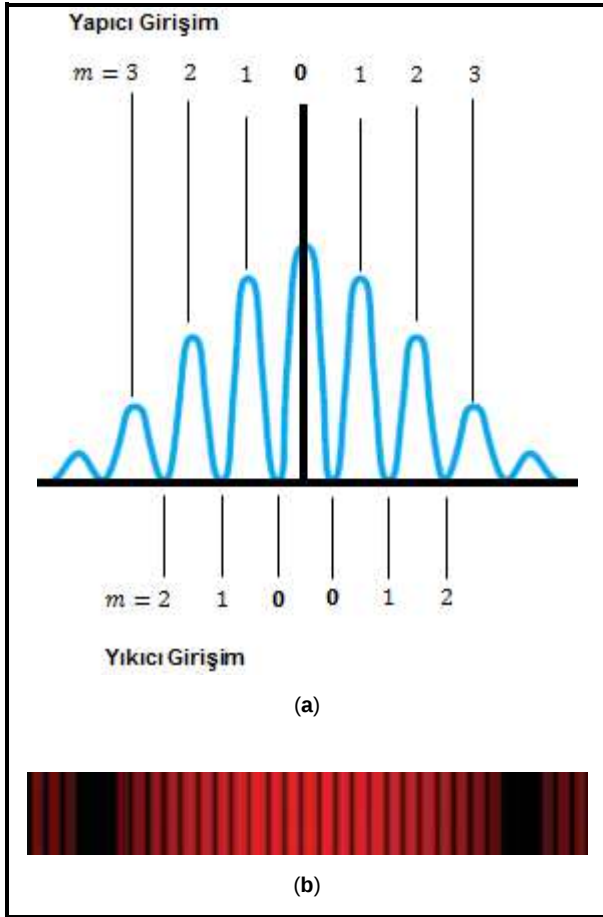
NOT

Girişim ve kırınım olayları ışığın dalga özelliği ile ilgilidir (girişim ve kırınım sadece dalgalarda oluşur). Işıkla yapılan **çift yarıktaki girişim** deneyinde yarıklardan her biri noktasal ışık kaynağı gibi davranır. Bu iki kaynaktan yayınlanan ışık dalgalarının üst üste gelmesi sonucu girişim olayı (yapıcı ve yıkıcı girişim) gerçekleşir. **Tek yarıktaki kırınım** ise, yarığın kendisinin bir ışık kaynağı gibi davranması yerine, yarık üzerindeki her bir nokta bir ışık kaynağı gibi davranır. Böylece, yarığın farklı noktalarından yayılan ışık dalgaları birbirleri ile yapıcı veya söndürücü girişim yaparak bir kırınım deseni oluştururlar.

Ekran üzerindeki N noktasına, S_1 ve S_2 kaynaklarından çıkan ışık dalgaları " L_1 " ve " L_2 " yollarını alarak ulaşırlar. Alt yarıktan çıkan bir dalga üst yarıktan çıkan bir dalgadan daha fazla yol alır. S_1 ve S_2 kaynakları arasındaki d uzaklığı, L_1 ve L_2 uzaklıkları ile karşılaştırdığında çok küçüktür. Eğer N noktası S_1 ve S_2 ışık kaynaklarına (yarıklarına) çok uzakta ve bu kaynaklar birbirine çok yakın ise (yani, $L \gg d$), bu durumda L_1 ve L_2 yolları birbirine paralel olarak düşünülebilir (**Şekil 6b**). Çift yarıktaki girişim deneyinde yarıkların ekrana olan L uzaklığı, yarıklar arası uzaklık olan d 'den çok büyük olduğu kabul edilirse ($L \gg d$) dalgalar arası (iki ışın yolu arasındaki) **yol farkını** (δ);

$$\delta = L_2 - L_1 = d \sin \theta \quad (13)$$

olarak yazabiliriz. Ekran üzerindeki merkezi aydınlık noktası için $\theta = 0^\circ$ 'dir. Işınlardan yöneldiği doğrultu ekran üzerindeki merkezi aydınlık noktasından ($x = 0$) uzaklaştıkça yol farkı büyür. Eğer iki dalga arasındaki yol farkı δ sıfır ya da dalgaboyunun tam katları ise **yapıcı girişim** oluşur. Yani, iki yarıktan çıkarak N noktasına ulaşan dalgalar arasındaki δ yol farkı ışığın λ dalgaboyunun tam katı ise iki dalga tepesi ve iki dalga çukuru üst üste gelerek girişim deseninde **aydınlık** saçak oluşturur. Yapıcı girişim durumunda genlik maksimumdur. Bununla beraber, yol farkının (δ) dalgaboyunun yarım katlarına eşit olduğu bölgelerde ise bir dalga tepesi ile bir dalga çukuru üst üste gelecek ve girişim deseninde **karanlık** saçak (yıkıcı girişim) oluşacaktır.



Şekil-7: Çift yarıktan girişim deseni. (a) Yapıcı girişim deseni ve (b) yıkıcı girişim deseni. (a) ve kırmızı ışığın çift yarıktan girişim deseni (b).

Eğer $L \gg d$ ise, S_1 ve S_2 kaynaklarından çıkan ışık dalgaları ekran üzerinde N noktasına **Eşitlik (13)**'de tanımlanan δ yol farkıyla ulaşır. S_1 kaynağından gelen ışık dalgasının tepeleri ile S_2 kaynağından gelen ışık dalgasının tepeleri, çukurları da çukurları ile üst üste geldiğinde birbirlerini güçlendirir ve bunun sonucu aydınlık saçaklar oluşur. Diğer taraftan, S_1 kaynağından gelen ışık dalgasının tepeleri ile S_2 kaynağından gelen ışık dalgasının çukurları üst üste geldiğinde ise karanlık saçaklar meydana gelir. Girişim deseni ışık şiddeti dağılımına verilebilecek bir örnek **Şekil (7a)**'da, bu desenin ekrandaki görünümü ise **Şekil (7b)**'de verilmektedir. Girişim deseni ardışık maksimumlar arasındaki mesafe $L\lambda/d$ ile verilir. Buna göre L ve λ sabit olmak koşuluyla yarıklar arası d uzaklığı küçültülürse, saçak aralığı artar ve daha geniş bir girişim deseni bulunur.

Ekran N-noktasının Aydınlık Olma Şartı:

Çift yarıktan çıkan ışık (elektromanyetik) dalgalarının alacağı δ yol farkından dolayı ekranda yapıcı ve yıkıcı girişim oluşur. Işık dalgalarının girişimi nedeniyle ekran düzgün olarak aydınlatılmaz, bunun yerini birbirini izleyen aydınlık ve karanlık çizgilerden (saçaklardan) oluşan bir desen gözlemlenir. Gözlem ekranında herhangi bir " N " noktasının kaynaklara olan yol farkı δ , kullanılan ışığın dalga boyunun tam katlarına eşit ise, bu noktada aydınlık saçak oluşur. Maksimum (aydınlık saçaklar) oluşması için aşağıdaki yapıcı girişim şartının sağlanması gerekir;

$$d \sin \theta = m \lambda \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \quad \text{Yapıcı Girişim} \quad (14)$$

Burada, " m " tamsayı olup, ekran üzerinde alınan bir " N " noktasının merkez doğrusundan ($x = 0$ noktasından) itibaren kaçınıcı aydınlık saçak olduğunu verir. Merkezi aydınlık saçak ($m = 0, \theta = 0$) her iki tarafta ilk maksimum ($m = 1$) bulunur (**Şekil 7a**). Ekranın N noktasında yapıcı girişim oluşması için yol farkı (δ), dalga boyunun (λ) tamsayı katı olmalıdır. Yani, δ yol farkı, ışığın dalga boyunun tam katları ise ekran üzerindeki herhangi bir nokta aydınlık saçak üzerinde bulunur. Örneğin, kaynaklar arasındaki δ yol farkı 2λ ise N noktası 2. aydınlık saçak üzerindedir.

Ekran N-noktasının Karanlık Olma Şartı:

Yıkıcı girişim (λ dalga boylu görünür ışıkla yapılan deneylerde karanlık saçaklar);

$$d \sin \theta = (m + \frac{1}{2}) \lambda \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \quad \text{Yıkıcı Girişim} \quad (15)$$

durumunda gözlenir. Bu eşitlikte kullanılan m sayısı, N noktasının merkezden itibaren kaçınıcı **karanlık** saçak olduğunu gösterir. **Yıkıcı girişim** (karanlık saçaklar), dalgalar arasında faz farkının π (180° faz kayması) olması durumunda oluşur. Girişim deseni sonucu elde edilen toplam dalganın genliği sıfırdır.

Ekranda, iki yarığa olan uzaklıkların farkı (δ) yarım dalgaboyunun tek sayı katına ($\lambda/2, 3\lambda/2, 5\lambda/2, \dots$) eşit olan noktalarda bir dalga tepesi ile bir dalga çukuru üst üste gelerek **yıkıcı girişim** gerçekleşir ve sonuç **karanlık** bir çizgidir. Diğer bir ifadeyle, ekran üzerinde yol farkı dalga boyunun yarım katlarına eşit olan noktada girişim deseninin bir karanlık saçığı oluşur. Örneğin ekran üzerinde, iki yarığa (kaynağa) olan uzaklıklarının farkı yarım dalgaboyunun tek sayı katı ($3\lambda/2$) olan bir nokta karanlık saçak üzerindedir. Yol uzunluklarının yarım dalgaboyunun çift sayı katı ($4\lambda/2$) olduğu bir noktada ise parlak bir çizgi bulunur⁴.

- (1) Yol farkı sıfır veya dalga boyunun (λ) tam katları ise, iki yarıktan çıkan ışık dalgaları ekranın " N " noktasında **yapıcı girişime** neden olur ve bu noktada girişim deseninin bir aydınlık saçığı oluşur. Ekranın herhangi bir N noktasında **yapıcı girişim** (aydınlık saçaklar) oluşması için $d\sin\theta = m\lambda$ şartının sağlanması gerekmektedir.
- (2) Bununla beraber, " N " noktasında **yıkıcı girişim** (karanlık saçak) olması için yol farkı ($d\sin\theta$), yarım dalga-boyunun ($\lambda/2$) tek katı olmalıdır.

Şekil (6)'da gösterildiği gibi aydınlık saçakların ekrandaki konumlarını x değişkeni ile ifade edebiliriz. Bu nedenle, iki yarıklı girişim deneyinde kullanılan tek renkli ışığın dalgaboyunu bulmak için belirli bir " m " değerine karşılık gelen " x_m " değerinin bilinmesi gerekir. Çift yarıklı girişim geometrisinden;

$$\tan\theta_m = \frac{x_m}{L} \quad (16)$$

bağıntısını yazabiliriz. Yarıklardan yayılan dalgalar arasında faz farkının olmaması durumunda ekranın bu N noktasında **yapıcı girişim** gerçekleşir ve **aydınlık saçak** gözlenir. Dalgalar ekranda aynı fazda buluşur. Girişim deseni sonucu elde edilen toplam dalganın genliği iki kat artar.

Eşitlik (16)'dan, ekrandaki aydınlık saçakların merkeze uzaklığı " x_m " (yani, m .aydınlık saçığın merkezi aydınlık saçığa olan mesafesi);

$$x_m = L\tan\theta_m \quad (17)$$

bulunur. Burada, m .maksimum saçığın merkezi maksimum saçığa olan " x_m " mesafesi L mesafesine göre çok küçüktür ($x \ll L$). Küçük açı yaklaşımından;

$$\sin\theta \approx \tan\theta = \theta \quad (18)$$

$$x_m = L\sin\theta_m \quad (19)$$

bağıntısını yazabiliriz. Buradan $\sin\theta_m = x_m/L$ eşitliği elde edilir. Küçük açılar için bulunan $\sin\theta_m = x_m/L$ ifadesi, **Eşitlik (14)**'de kullanılırsa, $x = 0$ noktasından itibaren parlak (aydınlık) saçakların konumları;

$$d\sin\theta = m\lambda \quad (20)$$

$$d \frac{x_m}{L} = m\lambda \quad (21)$$

$$x_m = L \frac{m\lambda}{d} \quad (\text{DeneySEL}) \quad (22)$$

şeklinde bulunur. Buna göre, ekrandaki ardışık maksimumlar (aydınlık bantlar) arasındaki mesafenin $L\lambda/d$ ifadesi ile verileceği açıktır. Dolayısıyla;

- (1) Yarıklı düzlemi ile ekran arası uzaklık (L),
- (2) İki yarıklı arası mesafe (d) ve,
- (3) Ölçülen uzaklık (x_m) bilinirse (örneğin 1.aydınlık saçığın merkezi aydınlık saçığa uzaklığı " x_1 "),

kullanılan lazer ışığının dalga boyunu (λ) deneysel olarak hesaplayabiliriz.

⁴Aydınlık çizgiler (maksimum ışık şiddeti) $d\sin\theta = m\lambda$ durumunda gözlenir. Karanlık çizgiler (sıfır ışık şiddeti) gözlenmesi için ise, $d\sin\theta = (m + 1/2)\lambda$ şartının sağlanması gerekmektedir.

NOT

Çift yarık deneyinde ışığın λ dalgaboyunun veya yarık düzlemi ile gözlem ekranı arasındaki L mesafesinin artırılması girişim deseninde Δx saçak aralığını arttırır. Merkezi aydınlık saçığın konumu ise değişmez. Yarıklar arasındaki d mesafesi arttırıldığında saçak aralığı azalır. Ekranda aydınlık saçakların (bantların) merkeze uzaklığı $x_m = L(m\lambda/d)$ bağıntısı ile verilir. Buna göre, aydınlık saçaklar için L , d ve x_m ölçülebilir ve buradan ışığın λ dalgaboyu deneysel olarak hesaplanabilir.

Girişim deseninde komşu iki aydınlık veya iki karanlık saçığın orta çizgileri arasındaki mesafeye saçak aralığı (Δx) denir. Diğer bir ifadeyle, $(m + 1)$. saçığın merkezi aydınlık saçığa uzaklığı olan x_{m+1} ile m . aydınlık saçığın merkezi aydınlık saçığa olan uzaklığı " x_m " arasındaki fark saçak aralığını verir. Veya kısaca saçak aralığı (Δx), birinci aydınlık saçığın merkezi aydınlık saçığa uzaklığıdır;

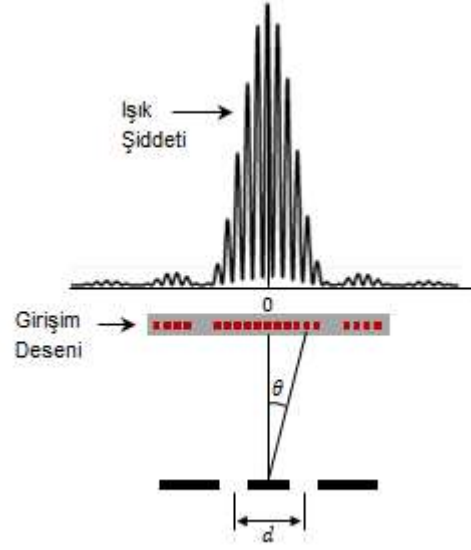


Görünür ışıqla yapılan deneylerde merkezi aydınlık saçığın (merkezi maksimumun) her iki tarafında sırasıyla karanlık (yıkıcı girişim) ve aydınlık saçaklar (yapıcı girişim) oluşur. Komşu aydınlık veya karanlık saçaklar arasındaki mesafe (saçak aralığı) aşağıda verildiği şekilde bulunur;

$$\Delta x = L \frac{\lambda}{d} \quad (\text{Saçak Aralığı}) \quad (23)$$

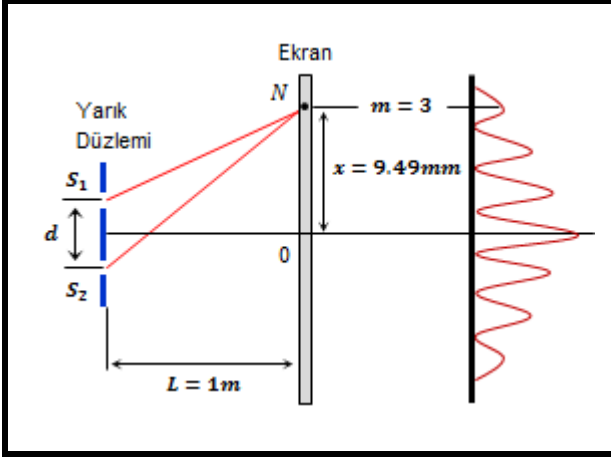
Çift yarıkla gerçekleştirilen girişim deneyinde ikinci aydınlık saçığın (2.maksimumun) merkezi aydınlık saçığa uzaklığı x_2 , birinci aydınlık saçığın (1.maksimumun) merkez aydınlık saçığa uzaklığı x_1 alınırsa saçak aralığı $\Delta x = x_2 - x_1$ olarak yazılabilir ($x_2 - x_1 = L \frac{\lambda}{d}$).

Merkezi aydınlık bandın açısı θ olmak üzere, arasında d kadar mesafe olan bir çift yarıktan geçen ışığın oluşturduğu girişim deseni ve bu desene ait ışık şiddeti dağılımı aşağıda verildiği şekilde olacaktır:



Işık dalgalarının girişim deseninde birinci aydınlık saçığın merkezi aydınlık saçığa uzaklığı göz önüne alınırsa, $m = 1$ için $\Delta x = x_m = x_1$ olur. Dolayısıyla, ekranda oluşan ardışık maksimumlar arasındaki mesafe (saçak aralığı) " $\frac{L\lambda}{d}$ " ifadesi ile verilir. Sonuç olarak, çift yarık deneyinde saçak aralığı $\Delta x = L \lambda / d$ eşitliği ile tanımlanır. Buna göre;

- 1) Ardışık maksimumlar (aydınlık bantlar) arasındaki Δx mesafesi ile λ dalgaboyu arasında $\Delta x = L \lambda / d$ bağıntısı vardır.
- 2) Çift yarıklı girişim deneyinde kullanılan ışığın frekansı artarsa, dalga boyu azalır. Dalga boyu λ azalırsa Δx saçak aralığı da azalır.
- 3) Δx 'in artması için ekranla yarık düzlemi arasındaki L uzaklığın artması gereklidir. Örneğin, ekranın yarıklara uzaklığı " $2L$ " olursa, saçak aralığı da " $2\Delta x$ " olur.
- 4) Çift yarık deneyinde, yarıkların " d " aralığı değiştirildiğinde, sadece girişim saçaklarının aralığı değişir. Yarıklar arası mesafe " d " artarsa, saçak aralığı Δx azalır. Merkezi aydınlık saçığın yeri değişmez.



Şekil-8: Çift yarıktaki girişimi deneyinde " S_1 " ve " S_2 " yarıkları aynı fazda çalışan iki noktasal kaynak gibi davranır. Bu iki yarıktan geçen ışık dalgaları yarık düzlemi ile ekran arasında gözlenebilen bir girişim deseni (aydınlık ve karanlık saçaklar) oluşturur.

Işığın dalga karakterini ortaya koyan çift yarıktaki girişim deneyinde (Young deneyinde), bir lazer kaynağından çıkan ışın demeti birbirine yakın iki yarık üzerine düşürülür. Tek kaynaktan iki dar aralığa düşen ışık demeti iki parçaya ayrılarak aynı fazda iki kaynağa (S_1 ve S_2) dönüşür. Bu yarıklardan çıkan ışık dalgaları yarık düzlemi ile ekran arasında gözlenebilen bir **girişim deseni** oluşturur. Bu girişim olayın gerçekleşebilmesi için ışığın parçacık özelliği değil dalga özelliği gerekmektedir. Girişimin maksimum (aydınlık) ve minimum (karanlık) konumları (x_m), yarıklardan " L " kadar uzaklıkta bulunan bir ekran üzerinde gözlemlenir. Ekrandaki m .aydınlık saçakların merkezi aydınlık saçığa olan uzaklıklarını x değişkeni ile ifade edebilir ve ekran üzerindeki bir ışık sensörü yardımıyla bu aydınlık saçakların konumlarını ölçebiliriz. Aydınlık saçakların konumu, $x \ll L$ olması koşuluyla, $x_m = L(m\lambda/d)$ ile verilir. Eğer, aydınlık (maksimum) saçaklar için " x_m " konum bilgisi deneysel olarak ölçülür ve aynı zamanda L ve d bilinirse, buradan ışığın dalgaboyunu (λ) deneysel olarak hesaplayabiliriz ⁵.

⁵Girişim ve kırınım deneyi ışığın dalga özelliğini gösteren olaylardır. Tek yarıktaki **kırınım** deneyine ait hesaplamalarda yarık genişliği için " D " kullanılırken, çift yarıktaki **girişim** deneyinde (**Young deneyinde**) ise iki yarık arası mesafe olan " d " kullanılmaktadır. Bu nedenle, " D " ile " d " birbirleri ile karıştırılmamalıdır.

Yarıkların ekrana olan L uzaklığının yarıklar arası d uzaklığından çok büyük olduğu durumlarda ($L \gg d$), ekran üzerinde oluşan girişim deseninden ışığın λ dalgaboyunu belirleyebiliriz. Örneğin, yarıklar arası uzaklığı 0.2mm ve bu yarıkların orta noktasının ekrana uzaklığı 1m olan bir deney düzeneğinde, 3.aydınlık saçığın (N -noktasının) merkez doğrusuna olan uzaklığı 9.49mm ölçülmektedir (**Şekil 8**).

$d(\text{m})$	$L(\text{m})$	$x_m(\text{m})$	m
0.2×10^{-3}	1	9.49×10^{-3}	3

Bu deney düzeneğinde ekranda oluşan 3.aydınlık saçığın ($m = 3$) merkezi aydınlık çizgiye uzaklığı; x_m , iki yarık arasındaki uzaklık; d , yarıklar düzlemi ile ekran arasındaki yatay uzaklık ise; L ile verilmektedir. Buna göre, kullanılan ışığın dalgaboyu aşağıda verildiği şekilde bulunur;

$$x_m = L \frac{m\lambda}{d}$$

$$\lambda = \frac{x_m d}{mL} = \frac{(9.49 \times 10^{-3}\text{m})(0.2 \times 10^{-3}\text{m})}{(3)(1\text{m})}$$

$$\lambda = 633 \times 10^{-9}\text{m} = 633\text{nm}$$

Saçak aralığı (Δx), girişim desenindeki iki aydınlık ya da iki karanlık saçak arasındaki uzaklıktır. Çift yarıktaki yapılan girişim deneyinde 1.aydınlık saçığın merkezi aydınlık saçığa olan uzaklığı ($m = 1$);

$$\Delta x = x_1$$

$$\Delta x = L \frac{\lambda}{d}$$

ile verilir. Burada, ardışık iki maksimum (aydınlık saçak) arasında $L\lambda/d$ mesafesi olduğunu tekrar hatırlatalım. Bu bağıntı yardımıyla dalgaboyu (λ) hesabı yapmak çoğu kez yeterlidir.

Elektromanyetik dalgalar (ışık dalgaları), birbirlerine dik olan elektrik ve manyetik alan bileşenlerine sahiptir ve dalganın yayılma doğrultusu bu iki alana dik olacak şekildedir. İki elektromanyetik dalga (ışık dalgası), bu dalgayı oluşturan elektrik ve manyetik alan vektörleri vektörel olarak toplanabildiği için, girişim yapabilir. Işık dalgalarının girişimi sonucu, yeni elektrik ve manyetik alan vektörlerine sahip **yeni bir dalga oluşur**. İki ışık dalgasının üst üste binmesiyle ortaya çıkan bu yeni dalganın şiddeti, bu iki dalga arasındaki faz farkına bağlı olarak sıfır veya her bir dalganın şiddetinden daha küçük ya da daha büyük olabilir. Yapıcı girişimde şiddet daha büyük, yıkıcı girişimde ise şiddet her bir dalganınkinden daha küçük ya da sıfır olur. Bir gözlem ekranı girişim bölgesine konursa, ekranda aydınlık (yapıcı girişim) ve karanlık saçaklar (yıkıcı girişim) gözlenir. Ekranın herhangi bir N noktasında iki ışık kaynağı ile oluşturulan elektrik alan vektörü $\vec{E}$, bu kaynaklardan her birinin ayrı ayrı o noktadaki alan vektörlerinin toplamına eşittir. Dolayısıyla, uzayın belli bir noktasında oluşturulan elektrik alan vektörü ($\vec{E}$), iki yarığın her birinden gelen $\vec{E}_1$ ve $\vec{E}_2$ alan vektörlerinin toplamı olacaktır.

Yarıklar arası d mesafesine göre yarık düzlemine çok uzakta bulunan N noktası için $\vec{E}_1$ ve $\vec{E}_2$ paralel kabul edilirse, bu noktanın konumunu belirleyen θ açısında elektrik alanının büyüklüğü (E_θ);

$$E_\theta = E_1 + E_2 \quad (24)$$

ile verilir. Çift yarıktan gelen bu iki dalganın girişim oluşturduğu noktada dalga denklemi her iki dalganın toplamı şeklinde ifade edilir. Elektromanyetik dalgaları dalga fonksiyonları olarak tanımlayabiliriz. Buna göre, her bir yarıktan gelen ışık için ekranın N noktasında E_1 ve E_2 dalgalarını;

$$E_1 = E_{10} \sin \omega t \quad (25)$$

$$E_2 = E_{20} \sin(\omega t + \varphi) \quad (26)$$

olarak ifade edebiliriz.

Burada, E_{10} ve E_{20} ; elektrik alanın **genliklerini** (girişim deseni oluşturan dalgaların genliklerini), ω ; açısal frekansı ($\omega = 2\pi f$) ve φ ; iki dalga arasındaki *faz farkını* (phase difference) göstermektedir. **Yapıcı girişimde**, iki dalga üst üste binerek iki dalganın genliklerinin toplamı kadar **genliğe** sahip yeni bir dalga oluşur; dalgalar birbirlerini güçlendirirler. Bununla beraber, iki veya daha fazla kaynaktan çıkan dalgalar, birinin tepesi ile diğerinin çukuru çakışacak şekilde üst üste binerse **yıkıcı girişim** yaparak birbirlerini yok ederler. Oluşan dalganın genliği bu iki dalganın genliklerinin farkıdır. Genlikler eşit ise toplam genlik sıfır olur.

Işık dalgalarında kararlı girişimler (maksimum ve minimumlar) gözlenebilmesi için kaynaklar aynı fazda ve aynı dalgaboyunda ışık yaymalıdır. Çift yarıқта girişimde, iki dar aralığa tek renkli ışık düşmektir. Böylece, tek kaynaktan gelen ışık demeti iki parçaya ayrılarak aynı fazda çalışan iki kaynağa dönüşür. Bu iki kaynaktan (yarıklardan) çıkan ışık dalgaları bir ekranda girişim deseni oluşturur. Eğer iki yarık aynı aydınlatma sağlıyorsa ve ekranın N noktası S_1 ve S_2 kaynaklarından yeterince uzakta ise, elektrik alanların maksimum değerlerini (yani S_1 ve S_2 kaynaklarından çıkan dalgaların genliklerini) eşit alabiliriz; $E_{10} = E_{20} = E_0$. Bu durumda **Eşitlik (24)**'den;

$$E_\theta = E_0 \sin \omega t + E_0 \sin(\omega t + \varphi) \quad (27)$$

$$E_\theta = E_0 [\sin \omega t + \sin(\omega t + \varphi)] \quad (28)$$

bağıntısını yazabiliriz. Aşağıda verilen trigonometrik eşitlik yardımıyla, iki dalganın toplamı (E_θ);

$$\sin A + \sin B = 2 \sin\left(\frac{A+B}{2}\right) \cos\left(\frac{A-B}{2}\right) \quad (29)$$

$$E_\theta = 2E_0 \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right) \sin\left(\omega t + \frac{\varphi}{2}\right) \quad (30)$$

$$E_\theta = E_{\theta 0} \sin\left(\omega t + \frac{\varphi}{2}\right) \quad (31)$$

bulunur.

Burada, toplam dalganın genliği ($E_{\theta} = E_1 + E_2$);

$$E_{\theta 0} = 2E_0 \cos \frac{\varphi}{2} \quad (32)$$

olarak tanımlanır. Burada görüldüğü gibi, girişim deseni sonucu elde edilen toplam dalganın frekansı sabit kalırken genliği " $E_{\theta 0}$ " olarak değişmiştir. Bileşke dalganın herhangi bir doğrultudaki " $E_{\theta 0}$ " genliği zamandan bağımsızdır. Bu genliğin sıfır olduğu yerlerde **yıkıcı girişim** (düğüm noktaları) olacaktır. Işığın girişiminde karanlık noktalarda, yani görünür ışıkla yapılan deneylerde karanlık bantlarda genlik $E_{\theta 0}$ sıfır olacağından;

$$\cos \frac{\varphi}{2} = 0 \quad (\text{Yıkıcı Girişim}) \quad (33)$$

şartı sağlanmalıdır. Bunun için, $\frac{\varphi}{2} = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2} \dots$ olması gerekir. Diğer bir ifadeyle, $\varphi/2 = (2m + 1)(\pi/2)$ olmalıdır; ($m = 0, 1, 2 \dots$). Yarıklardan çıkan dalgalar, aralarındaki δ yol farkı nedeniyle N noktasına farklı fazda ulaşırlar. Girişim olayında 2π kadarlık faz farkı, λ kadarlık yol farkına karşı geldiği için;

$$\frac{\varphi}{2\pi} = \frac{d \sin \theta}{\lambda} \quad (34)$$

eşitliğini yazabiliriz. Bu eşitliğe göre φ faz açısı, θ açısına (dolayısıyla δ yol farkına) aşağıda verilen bağıntıyla bağlıdır;

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta \quad (\text{Faz Farkı}) \quad (35)$$

Dolayısıyla, karanlık noktalar (**yıkıcı girişim**) için iki dalga arasındaki yol farkının (δ);

$$d \sin \theta = \frac{\varphi \lambda}{2\pi} = \frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \frac{5\lambda}{2} \dots \quad (36)$$

olması gerektiği ortaya çıkar. Sonuç olarak iki yarıktan çıkarak ekranın N noktasına gelen ışık dalgaları arasındaki yol farkı (δ), dalgaboyunun yarım katları ise bu noktada yıkıcı girişim (**minimum**) oluşur. Kaynaklardan gelen dalgalar arasında 180° faz farkı vardır ve bir dalga tepesi ile bir dalga çukuru aynı anda bu noktaya ulaşır. Oluşan genlik iki genliğin farkı olması nedeniyle, toplam genlik sıfır olur ($E_{\theta 0} = 0$).

Yapıcı girişimin olması için ise genlik maksimum olmalıdır;

$$\cos \frac{\varphi}{2} = \pm 1 \quad (\text{Yapıcı Girişim}) \quad (37)$$

Bunun için $\frac{\varphi}{2} = 0, \pi, 2\pi, 3\pi \dots$ olmalıdır (yani, $\varphi/2 = m\pi$, $m = 0, 1, 2, \dots$ şartı sağlanmalıdır).

Yapıcı girişim durumunda yol farkı;

$$d \sin \theta = \frac{\varphi \lambda}{2\pi} = 0, \lambda, 2\lambda, 3\lambda \dots \quad (38)$$

bulunur. Buna göre, N noktasında iki dalga arasındaki yol farkı sıfır ya da dalga boyunun tam katları ise yapıcı girişim (**maksimum**) oluşur. Ekran üzerindeki N noktasına iki dalga tepesi veya iki dalga çukuru ulaşmıştır. Dalgalar bu noktaya aynı fazda gelir. Oluşan dalganın genliği her bir dalganın genliğinin toplamına eşittir ($E_{\theta 0} = 2E_0$). Aynı dalgaboylu ve aynı genlikli ($E_{10} = E_{20}$) iki ışık dalgası arasındaki faz farkı $\varphi = 2\pi$ ise ışıklar yapıcı girişim yapar ve dalga genliği **maksimum** değerine ulaşır. Faz farkının 180° ($\varphi = \pi$) olması durumunda ise yıkıcı girişim oluşur ve genlik **sıfırdır**. Ekranın merkez noktasında faz farkı $\varphi = 0$ 'dır ve merkezde oluşan maksimum şiddet I_0 , gözlenen genliğin karesi ile orantılı bir ifadedir;

$$I_0 \propto (E_{10} + E_{20})^2 = (2E_0)^2 \quad (39)$$

Dalğanın (optikte ışığın) şiddeti, elektrik alanının veya manyetik alanın büyüklüğünün karesi ile orantılıdır ($I \propto E^2$). Ekranın merkez noktasında ($\theta = 0^\circ$) şiddet I_0 ve N noktasında şiddet I_{θ} ($I_{\theta} \propto E_{\theta}^2$) olmak üzere, I_{θ}/I_0 oranı bu iki noktadaki elektrik alanın genliklerinin karelerinin oranına eşit olacaktır;

$$\frac{I_{\theta}}{I_0} = \frac{E_{\theta 0}^2}{(2E_0)^2} \quad (40)$$

Toplam dalganın (E_θ) genliğini veren $E_{\theta 0} = 2E_0 \cos(\varphi/2)$ ifadesinden $2E_0 = E_{\theta 0} / \cos(\varphi/2)$ yazabiliriz. Bu bağıntıyı yukarıdaki eşitlikte kullanırsak;

$$\frac{I_\theta}{I_0} = \frac{E_{\theta 0}^2}{\left(\frac{E_{\theta 0}}{\cos \frac{\varphi}{2}}\right)^2} = \frac{E_{\theta 0}^2}{E_{\theta 0}^2} \left(\cos^2 \frac{\varphi}{2}\right) \quad (41)$$

$$\frac{I_\theta}{I_0} = \cos^2 \frac{\varphi}{2} \quad (42)$$

bulunur.

Sonuçta, girişim desenin herhangi bir noktasında gözlenen ışınım şiddeti I_θ , merkezdeki maksimum şiddete aşağıda verilen bağıntıyla bağlıdır;

$$I_\theta = I_0 \cos^2 \frac{\varphi}{2} \quad (43)$$

Bu ifade bize çift yarıklı girişim deneyinde aydınlık saçakların (maksimumların), faz farkları $\varphi = 0, 2\pi, 4\pi \dots$ değerlerini aldığından oluştuğunu gösterir. $\varphi = (2\pi/\lambda) d \sin\theta$ ifadesinden, φ bu değerlere $d \sin\theta = m\lambda$ olduğunda sahip olacağı açıktır ($m = 0, 1, 2, \dots$). Diğer taraftan, girişim deseninin karanlık saçakları (minimumlar) ise, $\varphi = \pi, 3\pi, 5\pi \dots$ değerini aldığından yani $d \sin\theta = (m + 1/2)\lambda$ olduğunda gerçekleşir.

Eşitlik (43)'de $\varphi = (2\pi/\lambda) d \sin\theta$ kullanılarak ekrandaki herhangi bir noktadaki şiddeti;

$$I_\theta = I_0 \cos^2 \left(\frac{\pi d \sin\theta}{\lambda} \right) \quad (\text{Işık Şiddeti}) \quad (44)$$

şeklinde yazmak mümkündür. Burada görüldüğü gibi girişim deseninde maksimum şiddetler, $\cos(\pi d \sin\theta/\lambda)$ ifadesi " $+1$ " veya " -1 " değerini aldığından yani yol farkı $d \sin\theta = m\lambda$ olduğunda gerçekleşir ($m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$).

Çift yarık arasındaki d uzaklığı, yarık düzlemi ile ekran arasındaki L uzaklığından çok küçükse ($L \gg d$),

$$\tan\theta \approx \sin\theta = \frac{x}{L} \quad (45)$$

yaklaşımı kullanılabilir. Bu ifade **Eşitlik-(35)**'de yerine konursa, faz farkını (φ);

$$\varphi = \frac{2\pi d}{\lambda L} x \quad (46)$$

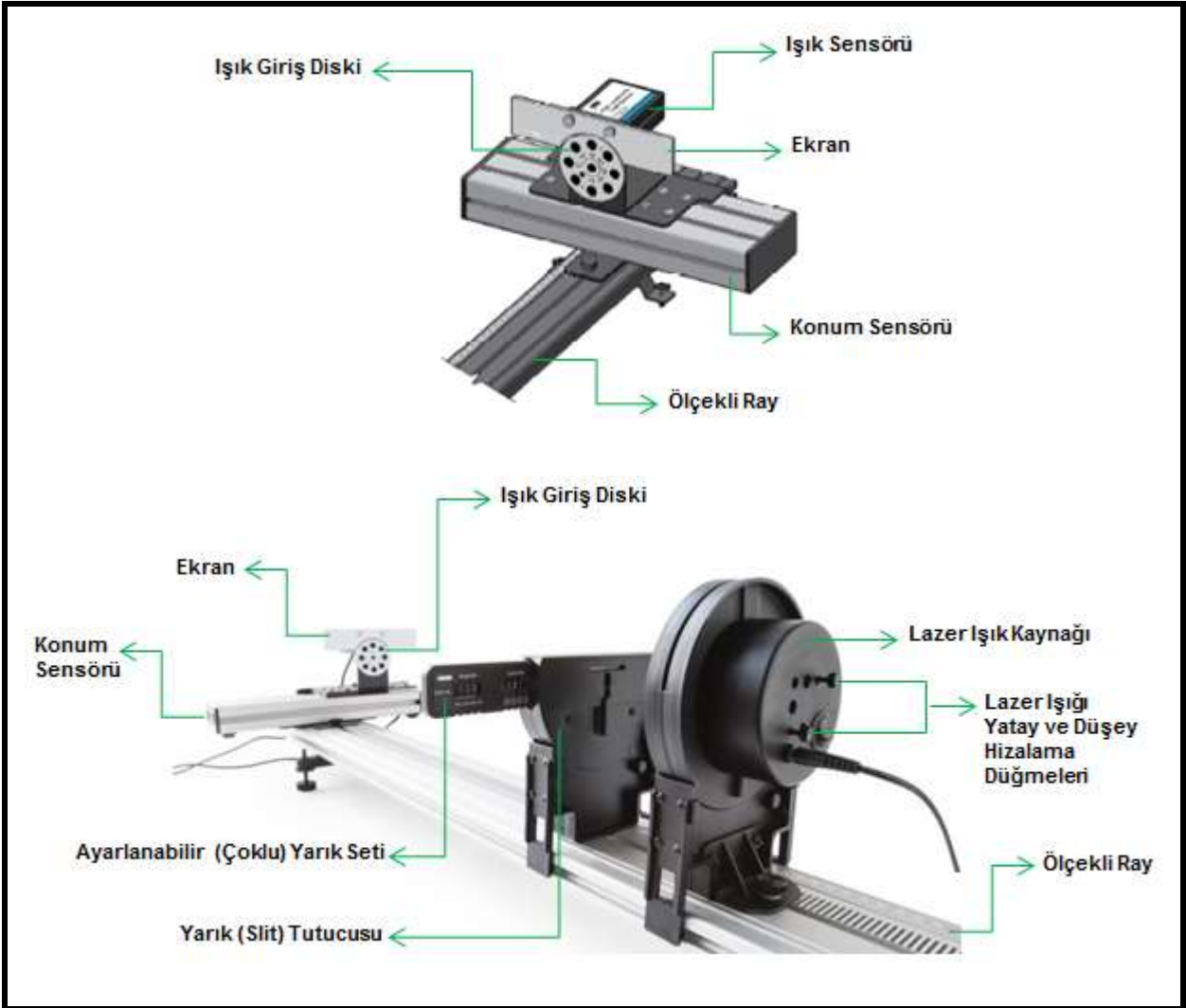
şeklinde yazabiliriz.

Bu bağıntıya göre, **Eşitlik (43)** aşağıda verildiği şekilde yeniden düzenlenebilir;

$$I_\theta = I_0 \left[\cos \left(\frac{\pi d}{\lambda L} x \right) \right]^2 \quad (x \ll L, d \ll L) \quad (47)$$

Bu, ekrandaki herhangi bir noktadaki şiddeti x 'in fonksiyonu olarak verir.

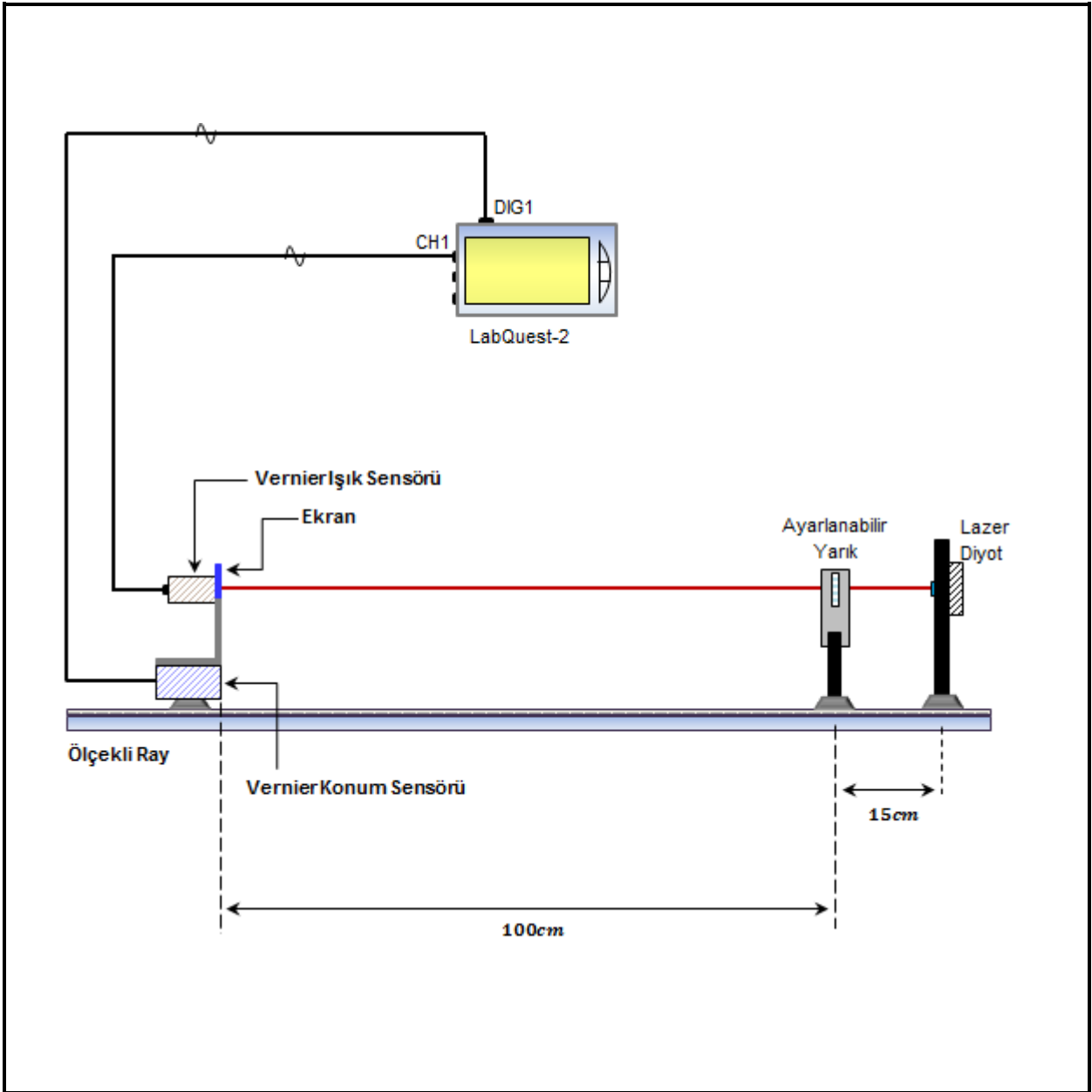
4. Deney Düzeneği



Şekil-9: Deney düzeneğini oluşturan bileşenler.

Kırınım ve girişim deney seti, farklı yarıklardan geçen lazer ışınının oluşturduğu girişim desenini (saçaklarını) incelemek için kullanılan bir düzendir. Işık dalgalarıyla oluşturulan kırınım ve girişim desenlerinde şiddet değişim grafiği Vernier konum ve ışık sensörü kullanılarak elde edilmekte ve bu grafiklerden aydınlık ve karanlık saçakların konumları hassas bir şekilde belirlenmektedir. Işık sensörü, üç farklı ölçüm aralığına (1, 10, ve 100 μW) sahiptir ve konum sensörü üzerine monte edilmiştir. Yarıklı tutucusu, ölçekli ray üzerine lazer ışık kaynağından yaklaşık 15 santimetre ileride olacak şekilde yerleştirilir.

Deneylerde monokromatik ışık kaynağı olarak kırmızı ($\lambda = 635nm$) lazer diyot kullanılır. Lazer ışınının yarıklı üzerine hizalanması (merkezlenmesi), ışık kaynağının yatay ve düşey hizalama düğmeleri kullanılarak yapılır. Veri toplama işlemi LabQuest-2 kullanılarak yapılır. Bu işlem bir yarıklı (tek veya çift yarıklı) seçilerek, lazer ışını bu yarıklı yönlendirilerek ve ışık sensörü için bir giriş aralığı seçilerek gerçekleştirilir.



Şekil-10: Tek yarııkta kırınım ve çift yarııkta girişim şiddetinin belirlenmesi için hazırlanan deney düzeneği. Lazer ışığı kullanılarak oluşturulan kırınım ve girişim desenleri (aydınlık ve karanlık saçaklar) ışık sensörü önündeki ekran üzerinde gözlemlenir.

Tek yarııkta kırınım ve çift yarııkta girişim deneyleri ışığın dalga özelliği ile ilgilidir. Kırınım ve girişim olayları **Şekil (10)**'da verilen düzenek yardımıyla incelenir. Lazer ışığının tek veya çift yarııktan geçerek ekran üzerinde oluşturduğu girişim desende maksimumun (aydınlık saçakların) ve minimumun (karanlık saçakların) konumları bir ışık sensörü yardımıyla ölçülür. Konum ölçmek için, ışık sensörü konum sensörüne monte edilmiştir. Işık sensörü, konum sensörü üzerinde elle hareket ettirilerek kırınım ve girişim desenleri izlenir.

Tek veya çift yarıık sisteminin lazer ışınıyla aydınlatılmasıyla oluşturulan kırınım ve girişim desenlerinde, şiddetin konuma göre değişim grafikleri (ışık şiddeti dağılımı) LabQuest-2 kullanılarak çizilir. Şiddet grafikleri çizilmiş kırınım ve girişim desenlerinden, düzenekte kullanılan lazer ışığının λ dalgaboyu deneysel olarak bulunur. Bulunan deneysel değer beklenen değerle karşılaştırılarak yüzde hata oranı hesaplanır. Düzenekte ışık kaynağı olarak kırmızı lazer ışığı kullanılır. Lazerdan yayılan tek renkli bu ışığın beklenen dalgaboyu $\lambda = 635 \pm 5nm$ 'dir.

5. Deneyin Yapılışı

DENEY-1: Tek Yarıkta Kırınım

Bu bölümde tek yarıktan geçen lazer ışığının oluşturduğu kırınım deseninde karanlık saçakların (minimumların) konumları LabQuest-2 yardımıyla belirlenecek, ölçüm verilerinden ışık kaynağının λ dalgaboyu DENEYSEL olarak hesaplanacaktır.

1. Deney düzeneğini oluşturan bileşenler Şekil (9)'da, düzeneğinin kurulumu ise Şekil (10)'da verilmiştir.

- 1.1. Deneyde kullanılan ışık sensörü, konum sensörü üzerinde yatay doğrultuda, ölçekli raya dik doğrultuda hareket edecek şekilde tutturulmuştur.
- 1.2. Işık sensörü kablosu LabQuest-2 veri toplama cihazının CH1 girişine, konum sensörü kablosu ise DIG1 girişine takılır.
- 1.3. Ayarlanabilir çoklu yarık seti, yarık tutucusu yardımıyla, lazer kaynağının karşısına gelecek şekilde ölçekli ray üzerine yerleştirilir. Yarık düzlemi ile **lazer diyot** arasındaki mesafenin 15cm olması yeterlidir.
- 1.4. Yarık düzlemi ile ışık sensörü ön ekranı (giriş disk) arası mesafe 1m ($= 100\text{cm}$) olacak şekilde ayarlanır.
 - $L = 1\text{m}$

2. LabQuest-2 cihazı çalıştırılır. Açılış ekranı;

CH1: Yoğunluk
DIG1: Konum

olarak görüntülenecektir.

3. Şimdi, ışık sensörü (algılayıcı) üzerindeki üç kademeli anahtar, $10\mu\text{W}$ olarak seçilir.
4. Işık sensörü önündeki ışık giriş disk 0.3mm giriş aralığına getirilir.



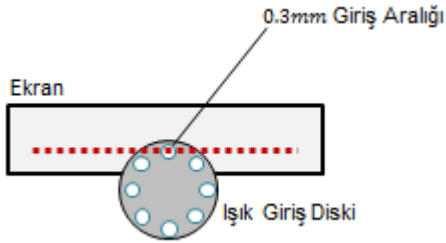
Şekil-11: Lazer ışığının hizalama ve konum sıfırlaması sonrası LabQuest-2 ekran görüntüsü.

5. Ölçümler öncesi ışık sensörü (ışık giriş disk) ile lazer ışığının ray üzerinde **hizalanması** gerekmektedir. Bu işlem için;
 - 5.1. Yarık tutucusu ölçekli ray üzerinden çıkartılır.
 - 5.2. **Lazer ışık kaynağı** (lazer diyot) açılır.
 - 5.3. Giriş aralığı 0.3mm seçilen ışık giriş disk, lazer ışığının karşısına gelecek konuma getirilir. Lazer kaynağı arkasında bulunan hassas yatay ve düşey ayarlama düğmeleri yardımıyla, lazer ışığının 0.3mm giriş aralığına düşmesi sağlanır. Lazer ışını iyi bir şekilde ayarlandığında, LabQuest-2 ekranında **CH1:Yoğunluk** bölümü 100% olarak görüntülenecektir (Şekil 11).
 - 5.4. Yoğunluk 100% durumunda, konum sensörü sıfırlanır. Sıfırlama işlemi, LabQuest-2 ekranında **DIG1:Konum** bölümü tıklanarak açılan pencereden "SIFIRLA" komutu verilerek yapılır. Böylece ekran üzerinde merkez doğrultusu $Konum = 0$ olarak tanımlanmış olacak ve bu konum maksimum ışık yoğunluğuna (100%) karşılık gelecektir.
6. Konum sıfırlama işlemi sonrası yarık tutucusu, lazer kaynağının önüne gelecek şekilde ölçekli ray üzerine tekrar takılır.
7. Ayarlanabilir yarık setinde bulunan 0.08mm aralıklı tekli yarık seçilir ve lazer ışığının hizasına gelecek şekilde yarık tutucusuna yerleştirilir.
 - $= 0.08\text{mm}$ ($= 8 \times 10^{-5}\text{m}$)



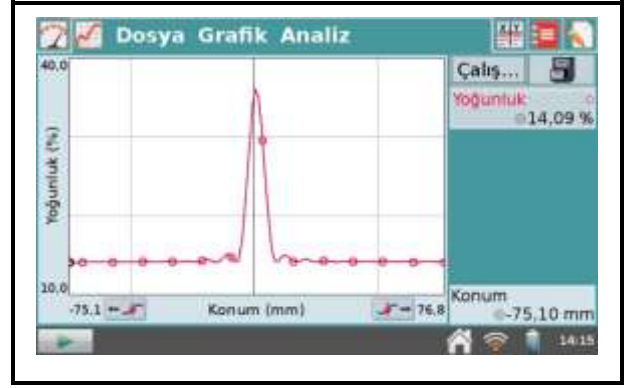
Şekil-12: Işık sensörü önündeki "0.3mm" giriş aralıklı diske düşen ışığın yoğunluğu.

- 7.1. Tekli yarıktan geçen lazer ışığının, ışık sensörü önündeki 0.3mm giriş aralıklı ışık giriş diskine düşmesi sağlanır;



- 7.2. Kırınım deseni, ışık sensörü önündeki 0.3mm aralıklı ışık giriş diskisi üzerinde merkezlenmiş olarak bulunacaktır. Ekranda merkez doğrultusu (Konum = 0) üzerinde parlak bir saçak ve bu bölgenin iki yanında daha az parlak saçaklar oluşacaktır.
- 7.3. Şimdi, tek yarıktan geçen ve 0.3mm aralıklı ışık giriş diskine düşen lazer ışığının yoğunluğu "35%" civarında görüntülenecektir. Bu değer, ışık sensörü önündeki ekranda Konum = 0 durumuna karşılık gelen **merkezi** aydınlık saçığın yoğunluk değeridir (Şekil 12).

8. Lazer ışığının yoğunluğu ayarlandıktan sonra, ışık sensörü yatay doğrultuda hareket ettirilerek herhangi bir uca getirilir.
9. LabQuest-2 grafik ekranı açılır ve BAŞLAT [] tuşuna basılarak veri toplama işlemi başlatılır.

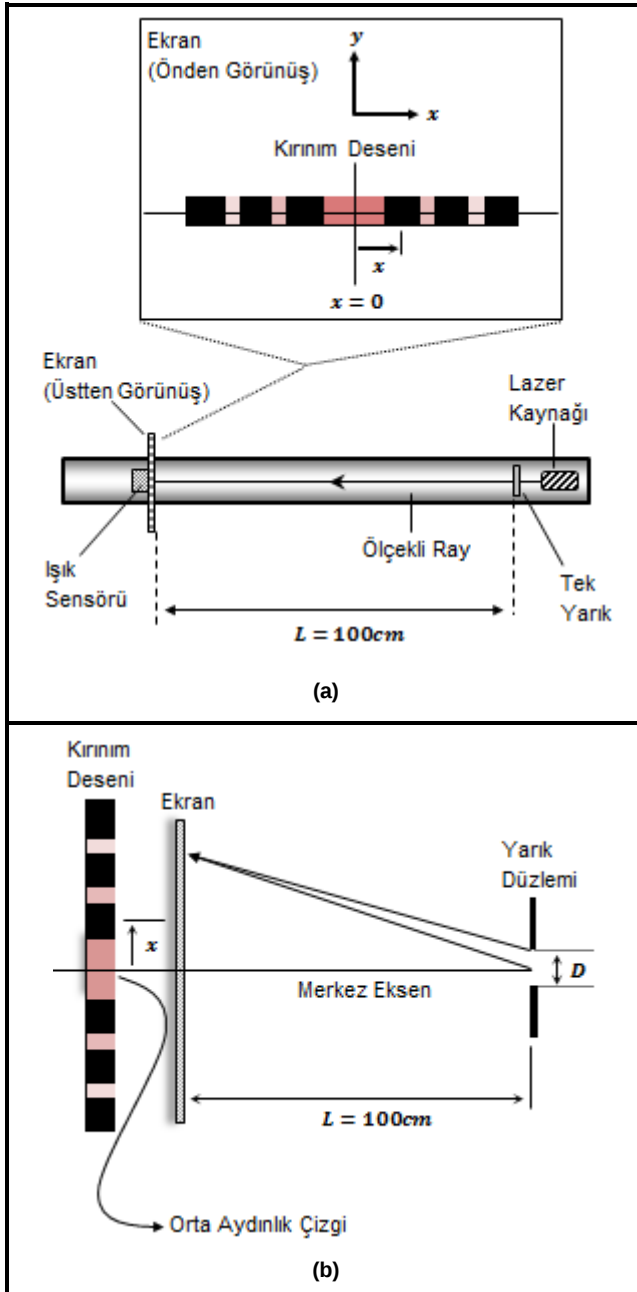


Şekil-13: Tek bir yarığın oluşturduğu kırınım deseninde konuma karşı ışık şiddeti (ışık yoğunluğu) grafiği.

Deney Notu:

Dalgaboyu " λ " olan tek renkli bir ışık ışını, " D " genişliğindeki tek bir yarıktan geçtiğinde bir orta aydınlık çizgi (merkezi aydınlık saçak) ekranda belirir. Ekrandaki aydınlık saçakların ışık şiddetleri ekran kenarlarına doğru zayıflar. Bu nedenle, ışık şiddetinin merkezi aydınlık çizgide maksimum olduğu, kenarlara doğru ise şiddetin zayıfladığı görülecektir.

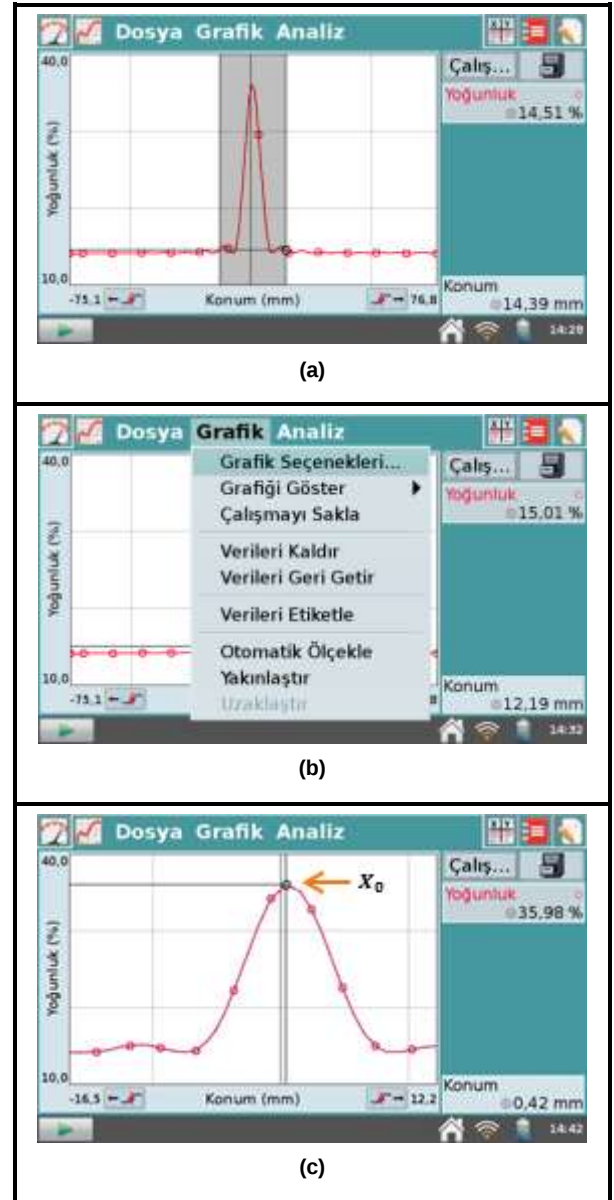
- 9.1. Veri toplama işleminin başlatılmasıyla beraber, ışık sensörü kırınım desenin bir ucundan diğer ucuna doğru çok yavaş bir şekilde **sabit** hızla hareket ettirilir.
- 9.2. Işık sensörünün diğer uca hareketi tamamlandığında, DURDUR [] tuşu ile veri toplama işlemine son verilir.
- 9.2.1. Veri toplama sonrasında, **konuma** (mm) karşılık **ışık şiddeti** (yoğunluk) değişimi grafiği LabQuest-2 grafik ekranında Şekil (13)'de verildiği görüntülenecektir.
- 9.2.2. Tek yarıktaki kırınım deseninin şiddeti incelendiğinde merkezde (Konum = 0) parlak bir maksimum (merkezi aydınlık saçak) ve merkezden itibaren çok daha düşük şiddetlerde parlak ve **karanlık** saçaklar görülür. Aydınlık saçakların şiddeti kırınım deseninin merkezinden uzaklaştıkça azalır.
- 9.2.3. Kırınım deseninde minimumlar (yani **karanlık** saçaklar) $D \sin \theta = m \lambda$ koşulunun sağlandığı noktalarda oluşur ($m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$).



Şekil-14: Kırınım deseni ve 1.KARANLIK saçığının orta aydınlık çizgiye (merkezi aydınlık saçığa) olan x uzaklığı (a) ve kırınım deseni ve orta aydınlık çizginin konumu (b). Burada, " L " tekli yarıktan ekrana (giriş diskine) uzaklığıdır.

10. Şimdi, kırınım deseni ve merkezi aydınlık saçığının ortasından, 1.karanlık saçığının ($m = 1$) ortasına olan uzaklık (x), LabQuest-2 grafik ekranı kullanılarak ölçülecektir (Şekil 14).

10.1. Grafik ekranında merkezi aydınlık saçığa karşılık gelen merkezi maksimumun çevresi seçilir (Şekil 15a).



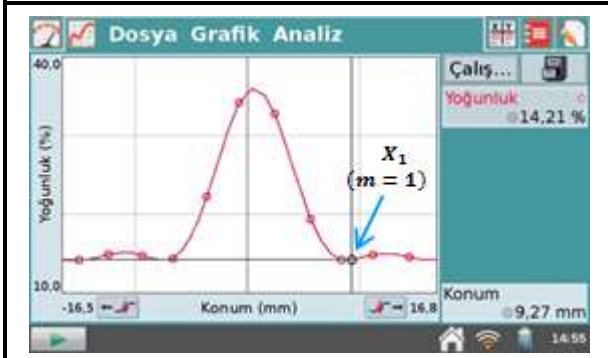
Şekil-15: Konuma karşılık ışık şiddetindeki değişim grafiğinde merkezi aydınlık (maksimum) ve karanlık (minimum) noktaları içeren belirli bir bölgenin seçilmesi (a), bu seçili bölgenin büyütülmesi (b) ve merkezi aydınlık çizginin X_0 konum bilgisi (c).

10.2. Grafik menüsünden "Yakınlaştır" komutu çalıştırılarak bu seçili bölge büyütülür (Şekil 15b).

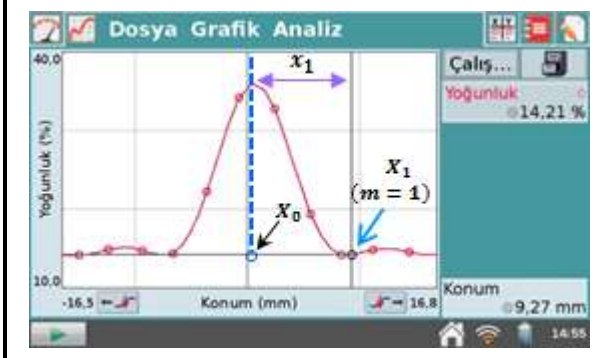
10.3. Grafikte maksimum nokta tıklanır ve bu noktanın konumu, LabQuest-2 sağ alt köşedeki Konum bölümünden okunarak X_0 olarak not edilir (Şekil 15c'deki durumda 0.42mm).

- $X_0(m): \dots\dots$

Merkezi AYDINLIK Saçağının Konumu



(a)



(b)

Şekil-16: LabQuest-2 grafik ekranında 1.karanlık saçığının ($m = 1$) konumu (a) ve bu 1.karanlık saçığının MERKEZİ aydınlık çizgiye uzaklığı (b).

- 10.4. Benzer şekilde, grafiğin ilk minimum noktası tıklanır ve okunan değer X_1 olarak not edilir. Bu nokta, 1.KARANLIK saçığının (ilk minimumun) konumunu verecektir (Şekil 16a);

- $X_1(m): \dots$

1. KARANLIK Saçığının Konumu

- 10.5. Tek yarıklı yapılan deneyde ekrandaki bir "N" noktasının yarığın kenarlarına olan uzaklıkları farkı (yol farkı), dalga boyunun tam katı ise bu noktada karanlık saçak oluşur. Girişim deseninde 1.KARANLIK saçığının ($m = 1$) MERKEZİ aydınlık saçığa uzaklığı hesaplanır (Şekil 16b);

$$x_1(m) = X_1 - X_0$$

1. KARANLIK Saçığının ($m = 1$) MERKEZİ Aydınlık Saçığa Uzaklığı

Deney Notu:

Tek yarıktan geçen lazer ışığının ekranda oluşturduğu **kırınım deseni**, merkezde parlak bir maksimum (merkezi aydınlık saçak) ve bu merkezi aydınlık saçığının her iki kenarında çok daha düşük şiddetlerde parlak (**maksimum**) ve karanlık (**minimum**) bölgelerden oluşur.

- 10.6. Yarık düzlemi ile ekran arası uzaklık ($L = 1m$), yarık genişliği ($D = 8 \times 10^{-5}m$) ve ölçülen uzaklık (x_1) kullanılarak, lazerin dalga boyu (λ) hesaplanır;

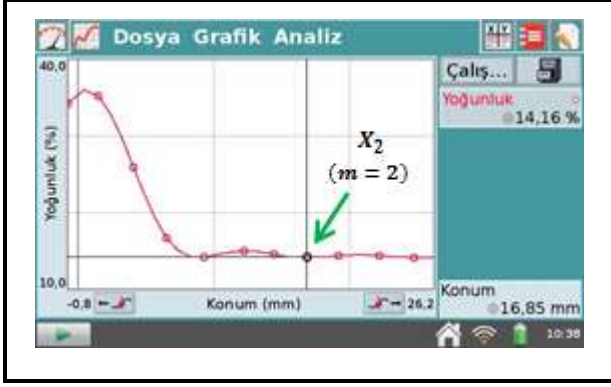
$$x_m = L \frac{m\lambda}{D}$$

KARANLIK (Minimum) Saçakların Konumu

$$\lambda = \frac{x_m D}{m L} \quad (m = 1)$$

$$\lambda = \frac{x_1}{1 L}$$

$$\lambda(nm) = \dots \quad (\text{DENEYSEL})$$



Şekil-17: LabQuest-2 grafik ekranında 2.karanlık saçığının ($m = 2$) konumu.

11. Kırınım deseninde 2.karanlık saçığının, merkezi aydınlık saçığa olan uzaklığı bulunur ve buradan ışığın dalgaboyu hesaplanır;

- 11.1. Grafik ekranında **MERKEZİ** aydınlık çizgiye (saçağa) göre 2.sıradaki minimum tıklanır ve böylece **2.KARANLIK** saçığının ($m = 2$) konumu belirlenir (Şekil 17);

- $X_2(m)$:

2. KARANLIK Saçağın Konumu

- 11.2. **2.KARANLIK** saçığının, **MERKEZİ** aydınlık çizgiye olan uzaklığı hesaplanır;

$$x_2(m) = X_2 - X_0$$

2. KARANLIK Saçağın MERKEZİ Aydınlık Saçağa Uzaklığı

- 11.3. $L = 1m$, $\lambda = 8 \times 10^{-5}m$ ve belirlenen uzaklık x_2 değerleri kullanılarak, lazerin dalga boyu (λ) aşağıda ifade edildiği şekilde hesaplanır;

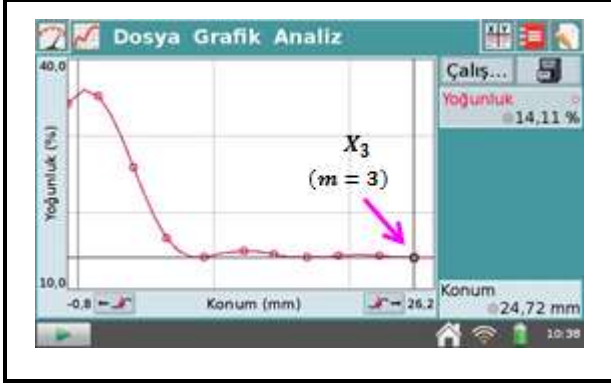
KARANLIK (Minimum)
Saçakların Konumu

$$x_m = L \frac{m\lambda}{D}$$

$$\lambda = \frac{x_m D}{m L} \quad (m = 2)$$

$$\lambda = \frac{x_2 D}{2 L}$$

$$\lambda(nm) = \dots \dots \dots \quad (\text{DENEYSEL})$$



Şekil-18: LabQuest-2 grafik ekranında 3.karanlık saçığının ($m = 3$) konumu.

12. Tek yarıktan geçen lazer ışığının oluşturduğu kırınım deseninde 3.karanlık saçığının, merkezi aydınlık saçığa olan uzaklığı belirlenir ve buradan ışığın dalgaboyu belirlenir;

12.1. LabQuest-2 grafik ekranında 3.minimum tıklanarak, 3.KARANLIK saçığının ($m = 3$) konum bilgisi not edilir (Şekil 18’de ekranın sağ alt köşesi);

• $X_3(m)$:

3.KARANLIK Saçağın
Konumu

12.2. 3.KARANLIK saçığının, MERKEZİ aydınlık çizgiye (saçağa) olan uzaklığı hesaplanır;

$$x_3(m) = X_3 - X_0$$

3.KARANLIK Saçağın
MERKEZİ Aydınlık Saçağa
Uzaklığı

12.3. $L = 1m$, $\lambda = 8 \times 10^{-5}m$ ve ölçülen uzaklık, x_3 kullanılarak, lazerin dalga boyu (λ) hesaplanır;

$$x_m = L \frac{m\lambda}{D}$$

KARANLIK (Minimum)
Saçakların Konumu

$$\lambda = \frac{x_m D}{m L} \quad (m = 3)$$

$$\lambda = \frac{x_3}{3} \frac{D}{L}$$

$$\lambda(nm) = \dots \dots \dots \quad (\text{DENEYSEL})$$

13. Tek yarıktaki kırınımında her bir karanlık saçak ($m = 1,2,3$) için hesaplanan dalgaboyu (λ) değerlerinin ortalaması alınır;

$$\lambda_{ort}(nm): \dots \dots \dots \quad (\text{DENEYSEL})$$

14. Deneyde kullanılan kırmızı lazer ışığının beklenen dalgaboyu, $\lambda = 635 \pm 5nm$ olarak verilir;

$$\lambda(nm) = 635nm \quad (\text{BEKLENEN})$$

15. DeneySEL değer beklenen değerle karşılaştırılarak "% FARK" hesabı yapılır.

16. Aynı deney, farklı yarık genişliğine (D) sahip tekli yarık ($slit$) ve farklı ekran mesafeleri (L) için tekrar edilir. Lazer ışık kaynağına farklı L uzaklıkları için karanlık saçak aralıklarının nasıl değiştiği gözlemlenir.

Deney Soruları

1. Kırınım deseninde *maksimum* ve *minimum* ışıma şiddetleri neden oluşmaktadır, kısaca açıklanır.
2. Işık dalgalarında kırınım olayının gerçekleşmesi için hangi koşulun sağlanması gerekir?.
3. Kırınım deseninin şiddeti merkezi aydınlık saçaktan uzaklaştıkça nasıl bir değişim gösterir?.
4. Tek yarıқта kırınım deseninde şiddet minimumları hangi koşullarda gerçekleşir?.
5. Saçak aralığı (Δx) bağıntısını çıkarınız?.
6. Tek yarıkla yapılan kırınım deneyinde oluşan saçaklar arası mesafe (saçak aralığı) hangi değişkenlere bağlıdır?.
7. Tek yarıktaki kırınım olayında yarık genişliği (D) küçültülürse ekran üzerinde oluşan saçak aralığı nasıl değişir?.
8. Tek yarıktaki kırınım olayında kullanılan ışığın dalga boyu (λ) arttırılırsa ekrandaki saçak aralığında (Δx) nasıl bir değişim olur?.
9. Tek yarıқта kırınım deneyinde 1.karanlık saçak için δ yol farkı nedir?.
10. Tek yarıkla yapılan kırınım deneyinde ekran üzerindeki noktasının yarığın kenarlarına olan yol farkı $7\lambda/2$ olduğunda bu nokta hangi girişim saçığı üzerinde bulunur?.

DENEY-2:**Çift Yarıktan Girişim (Young Deneyi)**

Çift yarıktan geçen lazer ışığının oluşturduğu girişim deseni bu bölümde incelenecek, ölçüm verilerinden deneyde kullanılan tek renkli ışığın λ dalgaboyu deneysel olarak belirlenecektir. Deneysel değer, beklenen dalgaboyu değeri ile karşılaştırılarak yüzde hata hesabı yapılacaktır.



Şekil-19: Konum sensörünün sıfırlama işlemi.

1. **Şekil (10)**'da verilen deney düzeneği kurulur.

1.1. Ayarlanabilir yarık seti (çoklu yarık seti) ile ışık sensörü ön ekranı (giriş diski) arası mesafe $1m (= 100cm)$ olacak şekilde ayarlanır.

- $L = 1m$

1.2. Işık sensörü, doğrusal konum sensörü üzerine monte edilmiştir. Işık sensörü kablosunu LabQuest-2 cihazının CH1 girişine, konum sensörü kablosu ise DIG1 girişine takılır.

2. LabQuest-2 veri toplama cihazı çalıştırılır.

3. Işık sensörü üzerindeki üç kademeli anahtardan $10\mu W$ seçilir.

4. Şimdi, ölçekli ray üzerinde lazer ışığının, ışık sensörü ile hizalaması yapılır. Bu işlem için;

4.1. Çoklu yarık tutucusu ölçekli ray üzerinden çıkarılır.

4.2. **Işık sensörü**, lazer kaynağının tam karşısına gelecek şekilde yerleştirilir.

4.3. Işık sensörü önündeki **ışık giriş diski**, " $0.3mm$ " giriş aralığına (deliğine) getirilir.

4.4. Lazer ışık kaynağı açılır. Lazer kaynağı arkasında bulunan yatay ve düşey hassas ayarlama düğmeleri yardımıyla, lazer ışığının $0.3mm$ giriş aralığına düşmesi sağlanır.

4.5. Lazer ışığının hizalaması tamamlandığında, LabQuest-2 açılış ekranında **CH1:Yoğunluk** bölümü 100% olarak görüntülenecektir.

4.6. Yoğunluk 100% durumunda, ışık sensörüne monte edilmiş konum sensörünün sıfırlaması yapılmalıdır. Bu işlem için LabQuest-2 ekranındaki DIG1:Konum bölümünde herhangi bir yer tıklanarak açılan menüden "Sıfırla" komutu verilir (**Şekil 19**).



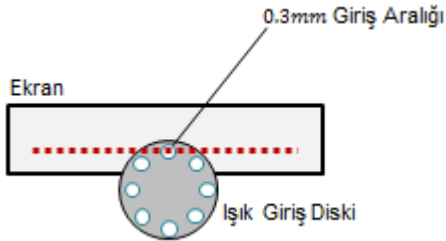
Şekil-20: Işık sensörü önündeki "0.3mm" giriş aralıklı diske düşen ışığın yoğunluğu.

5. Çoklu yarık tutucusu, lazer kaynağının önüne gelecek şekilde yaklaşık 15cm uzaklıkta ray üzerine takılır.

- 5.1. Çoklu yarık setinde bulunan çift yarıklardan, yarıklar arası mesafesi 0.25mm olan lazer ışığının hizasına gelecek şekilde, yarık tutucusuna yerleştirilir.

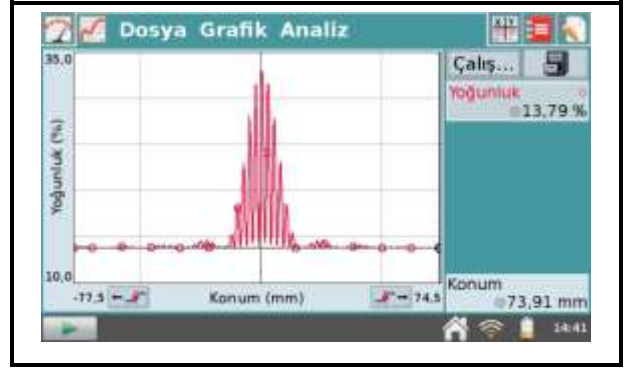
- $d = 0.25mm (= 25 \times 10^{-5} \text{ m})$

- 5.2. Çift yarıktan geçen lazer ışığının, ışık sensörü önündeki 0.3mm giriş aralıklı ışık giriş diskine düşmesi sağlanır;



- 5.3. Lazer ışığının çift yarıktan geçerek oluşturduğu kırınım deseni, yani aydınlık ve karanlık saçaklar, ışık sensörü önündeki ekranda gözlemlenir.

- 5.4. Ekranda oluşan merkezi aydınlık saçığa ($Konu = 0$) ait yoğunluk değeri LabQuest-2'de yaklaşık 25%, görüntülenmelidir. Bu değer, çift yarıktan geçen ve $Konu = 0$ için "0.3mm" aralıklı ışık giriş diskine düşen ışığın yoğunluğudur (Şekil 20).



Şekil-21: Işık yoğunluğunun (%) konuma (mm) göre değişimi.

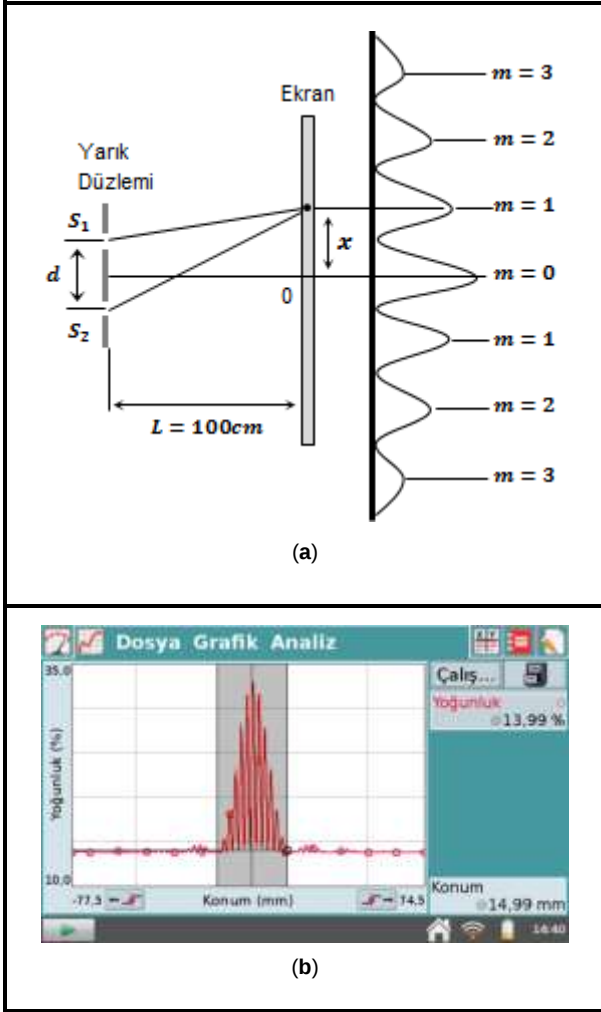
6. Konum sensörü için sıfırlama ($Konu=0$) bir kez tanımlandıktan sonra, bu sensör yatay doğrultuda (ölçekli ray düzlemine dik konumda) kaydırılarak herhangi bir uca getirilir.

- 6.1. LabQuest-2 grafik ekranı açılır ve BAŞLAT [] tuşuna basılarak veri toplam işlemi başlatılır.

- 6.2. Veri toplam işleminin başlatılmasıyla beraber, ışık sensörü girişim desenin bir ucundan diğer ucuna doğru yavaş bir şekilde hareket ettirilir. Sensörün hareketi tamamlandığında, DURDUR [] tuşu ile veri toplama işlemine son verilir.

- 6.3. Veri toplama işlemi sonrasında, KONUMA (mm) karşılık ışık şiddeti değişimi (YOĞUNLUK %) grafiği ekranda görüntülenecektir (Şekil 21).

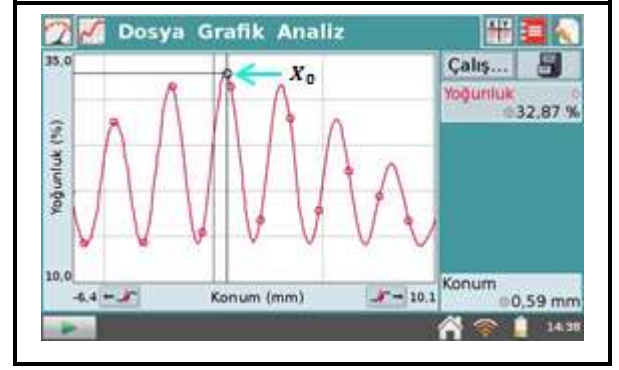
- 6.4. Işık dalgalarının girişimi için aynı veya sabit fazlı iki dalga kaynağı gereklidir. Çift yarıklı bir engel tek renkli (λ dalgaboylu) bir ışık kaynağı ile aydınlatıldığında bu yarıklar aynı fazda çalışan iki noktasal kaynak (S_1, S_2) gibi davranır. Ekrandaki herhangi bir noktanın bu kaynaklara olan yol farkı kullanılan ışığın dalga boyunun tam katlarına eşit ise, o noktada maksimum (aydınlık girişim saçığı) oluşur. Işık yoğunluğu tepelerinin girişim deseninin merkezinden uzaklaştıkça azaldıklarına dikkat edilmelidir.



Şekil-22: Çift yarıktaki girişim deseninde **1.AYDINLIK** saçığının **merkezi aydınlık** saçığa olan x uzaklığı (a) ve LabQuest-2’de merkezi aydınlık saçığı içeren bölge (b).

7. Şimdi, LabQuest-2 grafik ekranı kullanılarak **1.AYDINLIK** saçığının ($m = 1$) merkezi **AYDINLIK** saçığa olan x uzaklığı ölçülecektir (Şekil 22a). Bu işlem aşağıda anlatıldığı şekilde yapılır;

7.1. **Konuma** karşılık ışık şiddetindeki (yoğunluk) değişimi grafiğinde maksimum (girişim deseninde merkezi aydınlık saçığa karşılık gelen) nokta ve çevresi seçilir (Şekil 22b).

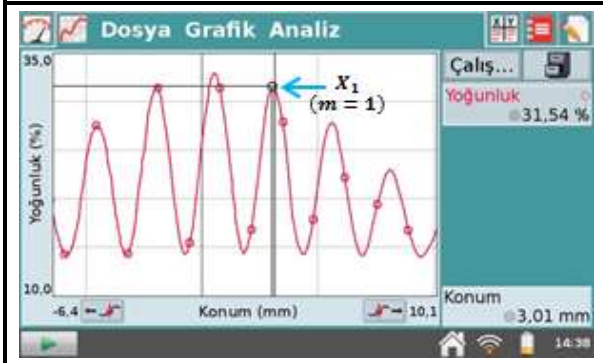


7.2. Grafik menüsünden “**Yakınlaştır**” komutu çalıştırılarak, grafiğin seçili bölgesi büyütülür.

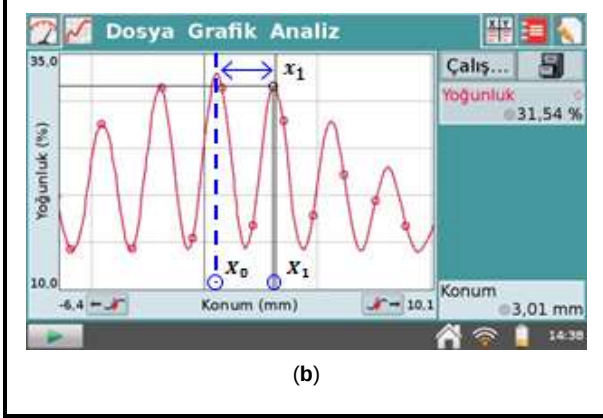
7.3. Büyütülmüş grafikte maksimum (merkezi **AYDINLIK** saçığa karşılık gelen) nokta tıklanır ve bu noktanın konumu, LabQuest-2 ekranı sağ alt köşedeki **Konum** bölümünden okunarak " X_0 " olarak not edilir (Şekil 23);

• $X_0(m): \dots$

Merkezi AYDINLIK Saçağının Konumu



(a)



(b)

Şekil-24: LabQuest-2 grafik ekranında **1.aydınlık saçığının ($m = 1$)** konumu (a) ve bu **1.aydınlık saçığının merkezi** aydınlık saçığa uzaklığı (b).

- 7.6. Yarık düzlemi ile ekran arası uzaklık ($L = 1m$), iki yarık arası mesafe ($d = 25 \times 10^{-5}m$) ve ölçülen uzaklık (x_1) kullanılarak, kullanılan lazerin dalga boyu (λ) hesaplanır;

$$x_m = L \frac{m\lambda}{d}$$

Aydınlık (Maksimum)
Saçakların Konumu

$$\lambda = \frac{x_m d}{m L} \quad (m = 1)$$

$$\lambda = \frac{x_1 d}{1 L}$$

$$\lambda(nm) = \dots \dots \dots \text{ (DENEYSEL)}$$

- 7.4. Benzer şekilde, grafiğin ilk **maksimum** noktası tıklanır ve okunan değer X_1 olarak not edilir. Bu nokta, **1.AYDINLIK** saçığının ($m = 1$) konumunu verecektir (Şekil 24a);

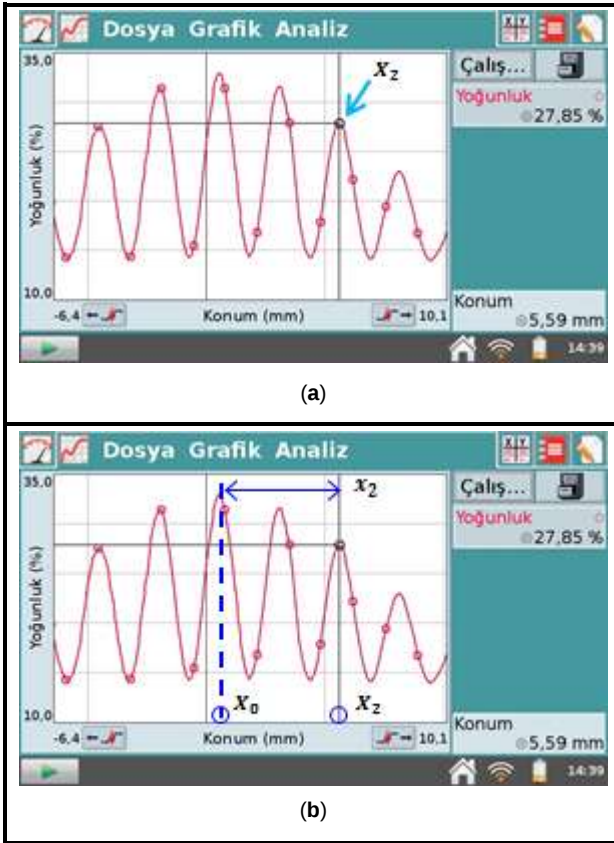
• $x_1(m): \dots \dots \dots$

1.AYDINLIK Saçağın
Konumu

- 7.5. Girişim deseninde **1.AYDINLIK** saçığının **MERKEZİ** aydınlık saçığa olan uzaklığı hesaplanır (Şekil 24b);

$$x_1(m) = x_1 - X_0$$

1.AYDINLIK Saçağın
MERKEZİ Aydınlık
Saçağa Uzaklığı



Şekil-25: LabQuest-2 grafik ekranında 2.aydınlık saçığın ($m = 2$) konumu (a) ve 2.aydınlık saçığın **merkezi** aydınlık saçığa olan x_2 uzaklığı (b).

8. Işığın çift yarıktaki girişim deseninde **2.AYDINLIK** saçığın ($m = 2$), merkezi aydınlık saçığa olan uzaklığı bulunur ve buradan ışığın λ dalga boyu hesaplanır;

- 8.1. LabQuest-2 grafik ekranında **2.maksimum** tıklanarak, **2.AYDINLIK** saçığın ($m = 2$) **konumu** belirlenir (Şekil 25a);

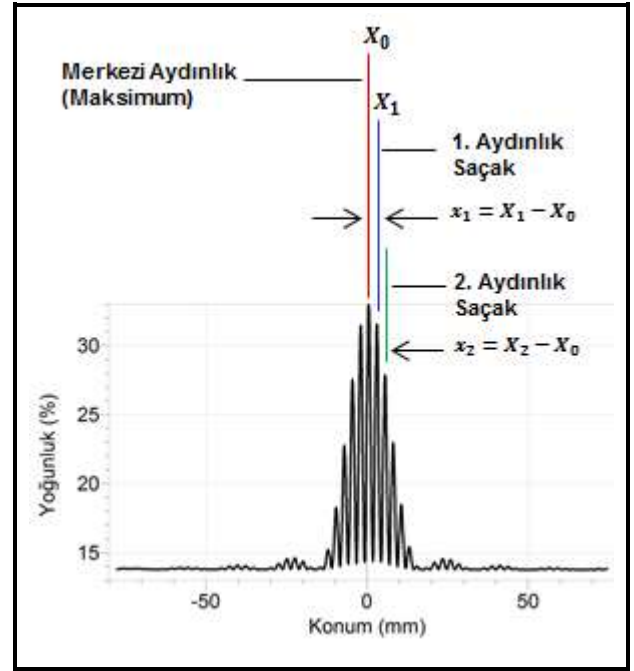
• $X_2(m): \dots\dots$

2. AYDINLIK Saçağın Konumu

- 8.2. **2.AYDINLIK** saçığın, **MERKEZİ** aydınlık saçığa olan uzaklığı hesaplanır (Şekil 25b);

$x_2(m) = X_2 - X_0$

2. AYDINLIK Saçağın MERKEZİ Aydınlık Saçağa Uzaklığı



Şekil-26: Işığın çift yarıktaki girişiminde **1. ve 2.maksimum** (aydınlık) saçığın **MERKEZİ** maksimum saçığa uzaklığı.

- 8.3. Yarık düzlemi ile ekran arası uzaklık ($L = 1m$), iki yarık arası mesafe ($d = 25 \times 10^{-5}m$) ve ölçülen uzaklık (x_2) kullanılarak, kullanılan lazer ışığının dalga boyu (λ) hesaplanır;

$$x_m = L \frac{m\lambda}{d}$$

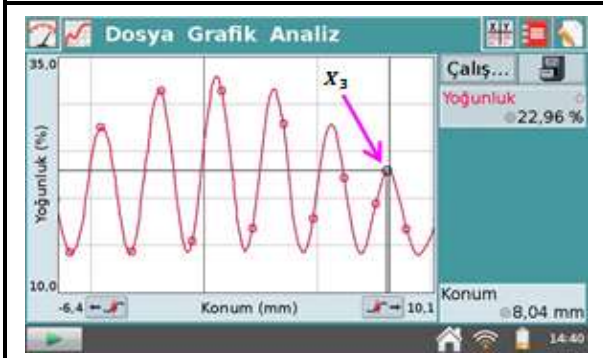
Aydınlık (Maksimum) Saçıkların Konumu

$$\lambda = \frac{x_m d}{m L} \quad (m = 2)$$

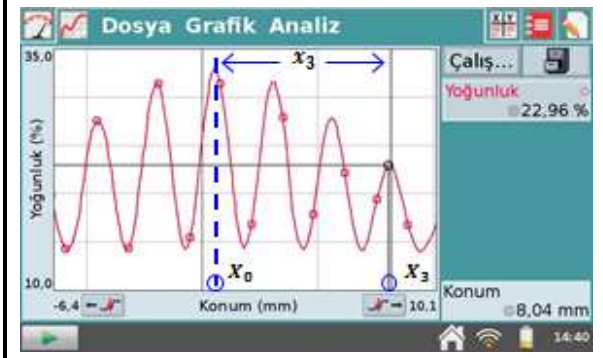
$$\lambda = \frac{x_2 d}{2 L}$$

$$\lambda(nm) = \dots\dots\dots \text{ (DENEYSEL)}$$

- 8.4. Çift yarıktaki girişim deseninde maksimum ve minimum şiddete sahip saçıklar ile maksimum saçıkların **merkezi** maksimum saçığa göre "x" uzaklıkları Şekil (26)'da gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil-27: LabQuest-2 grafik ekranında **3.AYDINLIK** saçığının ($m = 3$) konumu (a) ve **3.AYDINLIK** saçığının **MERKEZİ** aydınlık saçığa uzaklığı (b).

9. Çift yarıktan geçen lazer demetinin oluşturduğu girişim deseninde **3.AYDINLIK** saçığının, merkezi aydınlık saçığa uzaklığı bulunur ve buradan ışığın λ dalgaboyu hesaplanır;

9.1. LabQuest-2 grafik ekranında **3.minimum** tıklanarak, **3.AYDINLIK** saçığının ($= 3$) **konum** bilgisi not edilir (**Şekil 27a**);

• $x_3(m): \dots$

3. AYDINLIK Saçağın Konumu

9.2. **3.AYDINLIK** saçığının, **MERKEZİ** aydınlık saçığa uzaklığı hesaplanır (**Şekil 27b**);

$$x_3(m) = x_3 - X_0$$

3. AYDINLIK Saçağın MERKEZİ Aydınlık Saçağa Uzaklığı

9.3. Yarık düzlemi ile ekran arası uzaklık ($L = 1m$), iki yarık arası mesafe ($d = 25 \times 10^{-5}m$) ve ölçülen uzaklık (x_2) kullanılarak, kullanılan lazerin dalga boyu (λ) hesaplanır;

$$x_m = L \frac{m\lambda}{d}$$

Aydınlık (Maksimum) Saçakların Konumu

$$\lambda = \frac{x_m d}{m L} \quad (m = 3)$$

$$\lambda = \frac{x_2 d}{3 L}$$

$$\lambda(nm) = \dots \quad (\text{DENEYSEL})$$

10. Her bir aydınlık saçak ($= 1,2,3$) için bulunan dalgaboyu (λ) değerlerinin ortalaması alınır;

$$\lambda_{ort}(nm): \dots \quad (\text{DENEYSEL})$$

11. Deneyde kullanılan lazer ışığının beklenen dalgaboyu $\lambda = 635nm$ olarak verilir;

$$\lambda(nm): 635nm \quad (\text{BEKLENEN})$$

12. DeneySEL değer beklenen değerle karşılaştırılarak "% FARK" hesabı yapılır.

13. Young deneyini ilgili bağıntılar kullanarak şekil üzerinde anlatınız. Işığın çift yarıқта girişimi olayında maksimum (aydınlık) ve minimum (karanlık) şiddete sahip saçakları elde etme koşullarını yazınız.

13.1. Işığın **çift yarıқта** girişimi ile **tek yarıқта** kırınımı arasındaki benzerlik ve farklılıklar nelerdir?.

13.2. Girişim ve kırınım olaylarında ışık **tanecik** özelliği mi yoksa **dalga** özelliği mi gösterir?. Kısaca açıklayınız.

14. Çift yarıktan geçen lazer ışığının ekranda oluşturduğu desen ile tek yarıktan geçen ışığın oluşturduğu desen karşılaştırılır, sonuçlar deney raporunda yorumlanır.

6. Deney Raporu

Adı ve Soyadı: _____

Bölüm: _____

Öğrenci No: _____

Tarih: _____

DENEY-1: Tek Yarıktaki Kırınım

Tablo-1: Tek yarıktaki kırınım deseninde MERKEZİ aydınlık saçığının ve m .KARANLIK saçaklarının konumu.

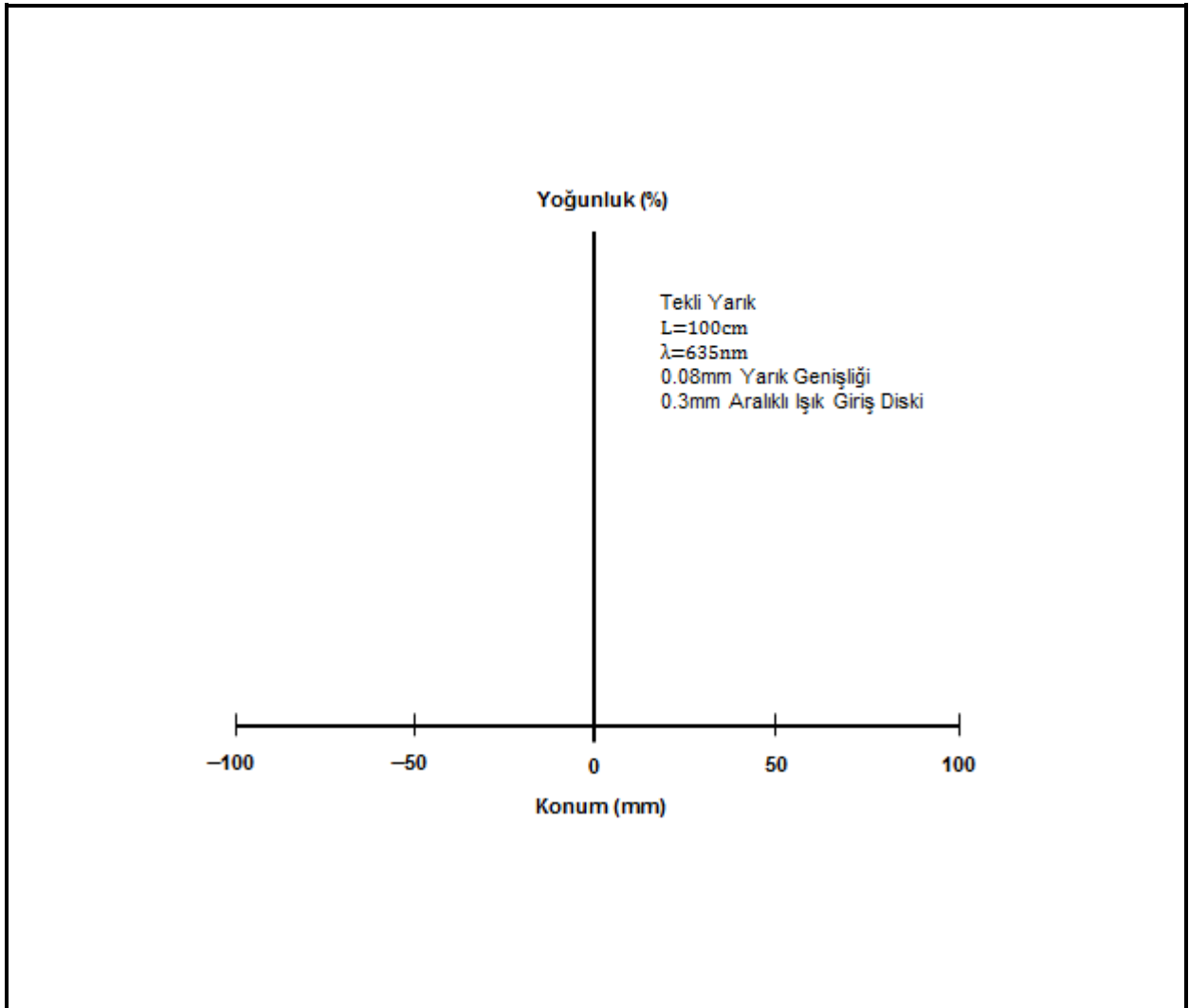
ÖLÇÜLEN	ÖLÇÜLEN	LabQuest-2	DENEYSEL	LabQuest-2
Yarık (Slit) Genişliği	Yarık Düzlemi ile Ekran Arası Uzaklık	Merkezi Aydınlık Saçağının Konumu	Karanlık Saçaklar	m .Karanlık Saçağının Konumunu
$D(m)$	$L(m)$	$X_0(m)$	m	$X_m(m)$
$8 \times 10^{-5}m (= 0.08mm)$	$1.0 (= 100cm)$	.....	1	.....
			2	.....
			3	.....

Tablo-2: Lazer ışığının deneysel bulunan dalga-boyu değeri.

ÖLÇÜLEN	ÖLÇÜLEN		DENEYSEL (LabQuest-2)	
Merkezi Aydınlık Saçağının Konumu	Karanlık Saçaklar	m . Karanlık Saçağının Konumunu	m . Karanlık Saçağının Merkezi Aydınlık Saçağına Uzaklığı	Lazer Dalgaboyu
$X_0(m)$	m	$X_m(m)$	$x_m(m)$ $x_m(m) = X_m - X_0$	(m) $= \frac{x_m D}{m L}$
.....	1	.....	.....	.....
	2	.....	.....	.....
	3	.....	.....	.....

Tablo-3: Lazer ışık kaynağının DENEYSEL değerinin BEKLENEN değerle karşılaştırılması.

Karanlık Saçaklar	DENEYSEL		BEKLENEN	FARK
	Lazer Dalgaboyu	Dalgaboyu Ortalaması	Lazer Dalgaboyu	
m	$\lambda(m)$	$\lambda_{ort}(m)$	$\lambda(m)$	$\Delta\lambda(\pm\%)$
1			$635 \times 10^{-9}(= 635nm)$	.....
2				
3				



Grafik-1: Tek yarıktaki kırınım deseninde ışık şiddeti (yoğunluk) dağılımının konuma göre değişimi. Tek yarıktan geçen ışığın büyük kısmı merkezi aydınlık saçakta yoğunlaşır. Merkezden ($x = 0$) uzaklaştıkça aydınlık saçakların ışık şiddeti azalır.

DENEY-2:**Çift Yarıktaki Girişim (Young Deneyi)****Tablo-4:** Çift yarıktaki girişim deseninde MERKEZİ aydınlık saçak ve m . AYDINLIK saçakların konumu.

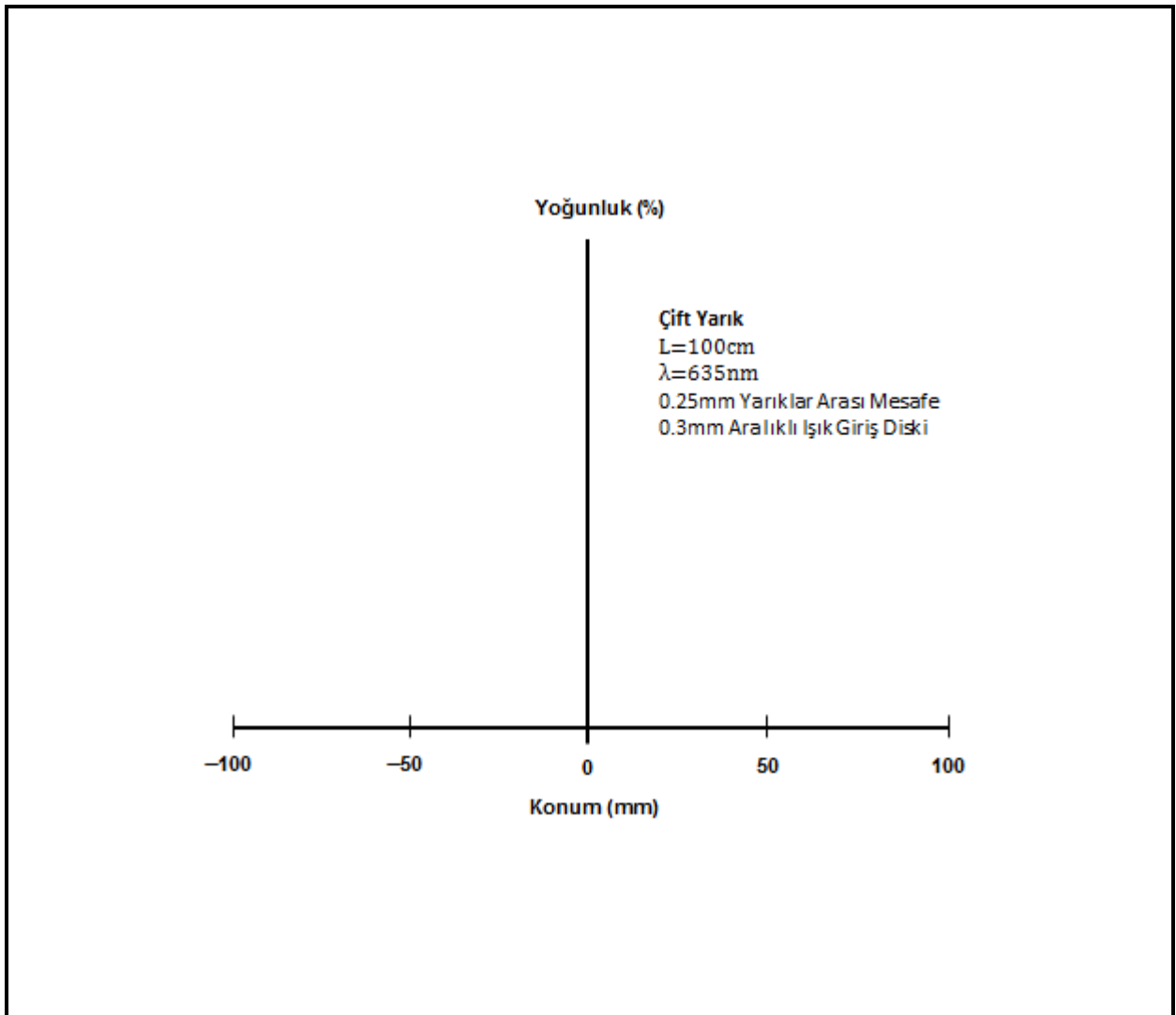
ÖLÇÜLEN	ÖLÇÜLEN	LabQuest-2	DENEYSEL	
Yarıklar Arası Uzaklık	Yarık Düzlemi ile Ekran Arası Uzaklık	Merkezi AYDINLIK Saçağın Konumu	AYDINLIK Saçaklar	m . AYDINLIK Saçağın Konumunu
$d(m)$	$L(m)$	$X_0(m)$	m	$X_m(m)$
$25 \times 10^{-5} (= 0.25mm)$	$1 (= 100cm)$	.....	1	.....
			2	.....
			3	.....

Tablo-5: Deneyisel bulunan lazer dalga-boyu değeri.

ÖLÇÜLEN	DENEYSEL		LabQuest-2	
Merkezi AYDINLIK Saçağın Konumu	AYDINLIK Saçaklar	m . AYDINLIK Saçağın Konumunu	m . AYDINLIK Saçağın Merkezi Aydınlık Saçağa Uzaklığı	Lazer Dalgaboyu
$X_0(m)$	m	$X_m(m)$	$x_m(m)$ $x_m(m) = X_m - X_0$	(m) $\lambda = \frac{x_m d}{L}$
.....	1	.....	.....	.....
	2	.....	.....	.....
	3	.....	.....	.....

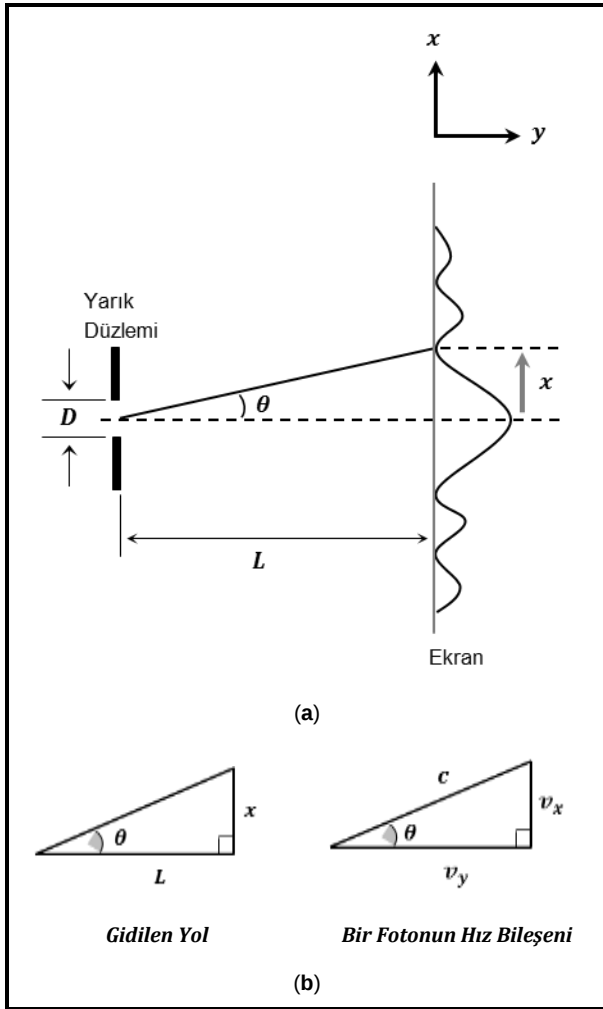
Tablo-6: Lazer ışık kaynağının DENEYSEL değerinin beklenen DEĞERLE karşılaştırılması.

Karanlık Saçaklar	DENEYSEL		BEKLENEN	FARK
	Lazer Dalgaboyu	Dalgaboyu Ortalaması	Lazer Dalgaboyu	
m	$\lambda(m)$	$\lambda_{ort}(m)$	$\lambda(m)$	$\Delta\lambda(\pm\%)$
1				
2				
3				



Grafik-2: Çift yarıklı girişim (Young) deneyinde ışık şiddetinin konuma göre değişim grafiği.

7. Heisenberg Belirsizlik İlkesi



Şekil-1: Tek yarıktaki kırınım deseni için ışın şiddeti dağılımı (a) ve kırınımın geometrisi (b).

Elektromanyetik dalga özelliği gösteren ışık, dalgaboyuna bağlı olarak farklı miktarda enerji taşır. Işık dalgaları **foton** adı verilen taneciklerden oluşur. Işık, tanecikler (fotonlar) şeklinde doğrusal yol boyunca her yöne yayılır ve her fotonun $E = hf$ denklemiyle tanımlanan bir enerjisi vardır (burada, h Planck sabitidir). Işık şiddeti foton sayısı ile orantılıdır. Yüksüz ve kütsüz olan bu taneciklerin hareketine bir dalga eşlik eder. Bu nedenle, elektromanyetik dalgalar hem dalga hem de parçacık yapısında olma özelliği vardır. Yani ışık, **parçacık** özelliğinin yanı sıra **dalga** özelliği de gösterir. Bu dalgalar maddeyle atomik seviyede etkileşime girerken parçacık, bir ortamda yayılırken dalga özelliği gösterirler.

Işığın dalga modelini gösteren üç temel olay, ışığın kırınımı, girişimi ve polarizasyonudur. Işığın dalga özelliği göstermesi tek yarıktaki kırınım deneyi ile açıklanabilir. Tek yarıktaki kırınım olayını incelersek, eğer yarık genişliği D olan dar bir yarığa ışık demetleri gönderilirse, yarıktan geçen ışığın ekranda tek bir nokta oluşturmadığı gözlemlenecektir. Bunun yerine ışık, ekranda yayılmaya başlayacak ve bir kırınım deseni (aydınlık ve karanlık saçaklar) meydana getirecektir. Tek bir yarıktan geçen ışığın oluşturduğu bu kırınım deseni, ışığın dalga özelliği göstermesidir. **Şekil-(1a)**'da tek bir yarıktan geçen ışığın izlediği yol gösterilmiştir. Bu şekilde; " θ " kırınım açısı olup, " x " ise 1.karanlık çizginin kırınım deseni merkezine olan uzaklığıdır. Tek yarığa gelen ışık dalgaları yarıktan geçtikten sonra kırınımına uğrar ve birbirlerini güçlendirdikleri noktalarda aydınlık veya yok ettikleri noktalarda karanlık saçaklar oluşturur.

Heisenberg belirsizlik ilkesi, bir parçacığın konum ve momentumunun aynı anda kesin bir doğrulukla ölçülemeyeceğini belirtir. Bunu ışıkla gerçekleştirdiğimiz tek yarık deneyine uygulayacak olursak, parçacık olarak ışık fotonlarını ele almamız gerekir. Heisenberg belirsizlik ilkesi;

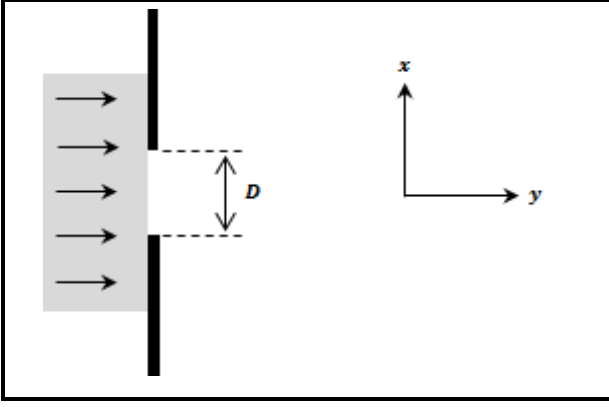
$$(\Delta x)(\Delta p_x) \geq \frac{h}{2\pi} \quad (1)$$

bağıntısıyla verilir. Burada;

$x(m)$:	Parçacığın konumu,
$p(kg.m/s)$:	Parçacığın momentumu,
$\Delta x(m)$:	Parçacığın konumundaki belirsizlik (x -ekseninde),
$\Delta p_x(kg.m/s)$:	Parçacığın momentumundaki belirsizlik,
Planck sabiti, $h(J.s)$:	$6.626 \times 10^{-34} J.s$

olarak tanımlanır.

Heisenberg belirsizlik ilkesine göre, " Δx " parçacığın konumundaki belirsizliği ve " Δp_x " momentumundaki belirsizliği ifade ediyorsa, bu iki büyüklüğün çarpımı her zaman " $h/2\pi$ " değerinden büyük ya da eşit olmak zorundadır. Parçacığın **konum** (x) ve **momentumu** (p) aynı anda, eş zamanlı ölçülmek istenirse her biri sırasıyla " Δx " ve " Δp_x " belirsizliğine sahip olur.



Şekil-2: Parçacığın (fotonun) konumundaki belirsizliği. Tek yarıktan geçebilen **fotonlar**, genişliği " D " olan yarık içinde herhangi bir yerde olabilir.

Tek yarığa gönderilen fotonlar (parçacıklar) yarığın bulunduğu düzleme dik doğrultuda (**Şekil-2**'de verilen durumda " y " doğrultusunda) hareket ederler. Fakat yarıktan geçtikten sonra fotonlar " x " doğrultusunda da hareket bileşeni kazanırlar. Bu yönde kazanılan hareketin hız bileşeni v_x ile verilir. Genişliği " D " olan tek yarıktan geçebilen fotonun x -doğrultusundaki konumu için belirsizlik " D " kadar olacaktır. Bu nedenle, parçacığın konumundaki belirsizliğini yarık genişliği belirlediği için " Δx " değerini yarığın genişliği olarak alabiliriz. Dolayısıyla, tek yarıқта kırınım deneyinde, " D " yarık aralığından geçen bir fotonun pozisyonundaki belirsizliğini;

$$\Delta x = D$$

(2)

olarak kabul edebiliriz ⁶.

Işığın ekran üzerinde oluşturduğu kırınım desenini gözlemlediğimizde ışığın v_y bileşeni dışında v_x bileşeninde olduğunu görürüz. Genişliği D olan yarığın önündeki fotonlar yalnızca yarık düzlemine dik doğrultuda (y –yönünde) hareket ederler. Tek yarık içerisinden geçtikten sonra ise bunların aynı zamanda x –yönünde (doğrultusunda) hız bileşenleri oluşur (**Şekil-1b**).

Hızdaki belirsizliği tanımlamak üzere kırınım desenindeki ilk minimum saçak kullanılırsa, **Şekil-(1b)**'de verilen kırınımın geometrisinden hız bileşeninin x -doğrultusunda olan belirsizliği için aşağıdaki bağıntıyı yazabiliriz;

$$\Delta v_x = c \sin \theta_1$$

(3)

Bu eşitlikte, " θ_1 ", birinci minimumdaki açıyı (kırınım açısını), " c " ise ışık hızını belirtir. Tek yarıktan geçebilen ve ekrana çarpan fotonlar yarık genişliğinden çok daha geniş bir alana yayılır. Buna göre fotonların, y -doğrultusundaki " p_y " momentumuna ek olarak x doğrultusunda da " p_x " momentum bileşenine sahip olmaları gerekir;

- 1) Tek yarığa gelen tüm fotonlar, $p_y = h/\lambda$ olacak şekilde momentumun " y " bileşenine sahiptir, bununla beraber momentumun x bileşeni yoktur.
- 2) Fotonlar tek yarıktan geçtikten sonra, " x " yönünde p_x momentum bileşenine sahip olarak yayılır.

Işığın parçacık özelliği göz önüne alındığında (yani, fotona karşılık gelen **parçacığın** kütlesi m alınırsa), x doğrultusunda momentumdaki belirsizlik;

$$\Delta p_x = m \Delta v_x$$

(4)

$$\Delta p_x = m c \sin \theta_1$$

(5)

olarak bulunur. Bir parçacığın toplam enerjisi (E) ve momentumu (p) arasında;

$$E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4$$

(6)

bağıntısı vardır.

⁶Fotonun konumundaki belirsizliği yarığın genişliği Δx tarafından belirlendiği için Δx büyüklüğü yarığın genişliği olan " D " olarak alınır.

Fotonlar sıfır kütleli ($m = 0$) parçacıklar olarak bilinmektedir. Dolayısıyla, **Eşitlik-(6)**'daki enerji–momentum bağıntısında $m = 0$ yerine konursa, bir fotonun enerjisi (E);

$$E^2 = p^2 c^2 \quad (7)$$

$$E = pc \quad (8)$$

bulunur. Bu bağıntı ışık hızı (c) ile hareket eden fotonlar için enerji ($E = hf$) ve momentumu (p) birbirine bağlayan ifadedir⁷. Foton, hızı olduğundan momentum da taşımaktadır. Fotonun frekansı $f = c/\lambda$ olması nedeniyle, fotonun momentumu (p);

$$p = \frac{E}{c} = \frac{hf}{c} \quad (9)$$

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (10)$$

$$p = \frac{h}{\lambda} \quad (\text{Foton}) \quad (11)$$

olarak bulunur.

Işık parçacığı olan fotonlar kütsüz parçacıklardır, enerji ve momentum taşırlar. Fotonların momentumu, ait oldukları ışığın dalga-boyuna (λ) bağlıdır. Kütleli m , hızının büyüklüğü v olan bir parçacığın momentumu (p) ve dalga-boyu (λ) de Broglie bağıntısı ile bağlıdır;

$$\frac{h}{\lambda} = p = mv \quad (12)$$

Hareketli bir parçacığa eşlik eden **de Broglie** dalga boyu $\lambda = h/p$ bağıntısından bulunur. Buna göre, **de Broglie** dalga boyu parçacığın sadece momentumuna bağlıdır.

Işığın parçacık ve dalga modelini bağlayan **de Broglie** bağıntısı, hareketli bir parçacığın (yani p büyüklüğünde momentum taşıyan bir taneciğin) dalga gibi düşünülebileceğini, dalganın da parçacık özelliği taşıyabileceğini ifade etmektedir. Fotonlar ışık hızıyla yayılır ($v = c$). Dolayısıyla, foton için parçacığın " v " hızı yerine " c " ışık hızı konursa;

$$\frac{h}{\lambda} = p = mc \quad (13)$$

eşitliği elde edilir. Burada, m ; foton enerjisinin kütle eşdeğeridir (E/c^2). Foton kütlesi değil !.

Eşitlik-(13)'de verilen bağıntı **Eşitlik-(5)**'de yerine yazılırsa;

$$\Delta p_x = mcsin\theta_1 \quad (14)$$

$$\Delta p_x = \frac{h}{\lambda} sin\theta_1 \quad (15)$$

$$\Delta p_x \frac{1}{h} = sin\theta_1 \quad (16)$$

bağıntısı bulunur. Karanlık saçak şartından **birinci minimum** ($m = 1$) için **sapma açısı** θ_1 ;

$$Dsin\theta_1 = m\lambda \quad (17)$$

$$Dsin\theta_1 = \frac{h}{\lambda} \quad (18)$$

$$sin\theta_1 = \frac{1}{D} \quad (19)$$

ile veriler. Bu ifadeyi, **Eşitlik-(16)**'da yerine yazarsak belirsizlik ilişkisini aşağıda verildiği şekilde buluruz;

$$\Delta p_x \frac{1}{h} = sin\theta_1 \quad (20)$$

$$\Delta p_x \frac{1}{h} = \frac{1}{D} \quad (21)$$

$$\Delta p_x \frac{1}{h} = \frac{1}{\Delta x} \quad (22)$$

⁷ Frekansı f olan bir fotonun taşıdığı enerji $E = hf$ tarafından verilir. Burada h Planck sabitidir. Işık dalga boyu artarsa fotonların enerjisi azalır. Işık şiddetinin artması foton sayısı artırır, fakat fotonun enerjisini değiştirmez.

$$(\Delta x)(\Delta p_x) = h$$

(Heisenberg Belirsizlik İlkesi) (23)

Bu bağıntı, bir yarıktan geçirmek koşuluyla, λ dalga-boyuna ve $p = h/\lambda$ momentumuna sahip bir dalga (veya parçacık) için x -momentumundaki belirsizlik ile x -konumundaki belirsizlik arasındaki ilişkiyi verir. Bir parçacığı temsil eden dalga paketi sonlu bir Δx aralığında yayılır. Dolayısıyla, ışığın tek yarıktaki kırınımında, yarık filtrelemesinden dolayı konumdaki belirsizliğin $\Delta x =$ olduğu unutulmamalıdır. Δx ' küçük olduğu durumlarda Δp_x daha büyük olur. Yani, bir parçacığın momentumundaki belirsizlik düşükse, konumundaki belirsizlik yüksek olmalıdır.

Tek yarıklı bir kırınımında, x koordinatındaki konum ve momentum ölçümlerindeki belirsizlikler sırasıyla Δx ve " Δp_x ile gösterilirse, Heisenberg belirsizlik ilkesini Eşitlik-(23) ile ifade edebiliriz. Deneyde, kırınım açısı $\theta = \theta_1$ ilk minimum pozisyonundan elde edilir. Yarık ile ekran arasındaki uzaklığı " L ", ilk karanlık saçak ile merkez aydınlık saçak merkezleri arasındaki mesafeyi " $x_{1min} = x$ " olarak ifade edersek (Şekil-1a);

$$\tan \theta_1 = \frac{x}{L} \quad (24)$$

$$\theta_1 = \arctan \left(\frac{x}{L} \right) \quad (25)$$

bağıntısı geçerli olur. Deneyssel olarak elde edilen kırınım deseninden, ilk minimumun sapma açısı Eşitlik-(25)'de verilen bağıntıdan elde edilir. Bu ifade, Eşitlik-(16)'da yerine yazılırsa;

$$\Delta p_x \frac{\lambda}{h} = \sin \theta_1 \quad (26)$$

$$\Delta p_x = \frac{h}{\lambda} \sin \left[\arctan \left(\frac{x}{L} \right) \right] \quad (27)$$

eşitliği bulunur.

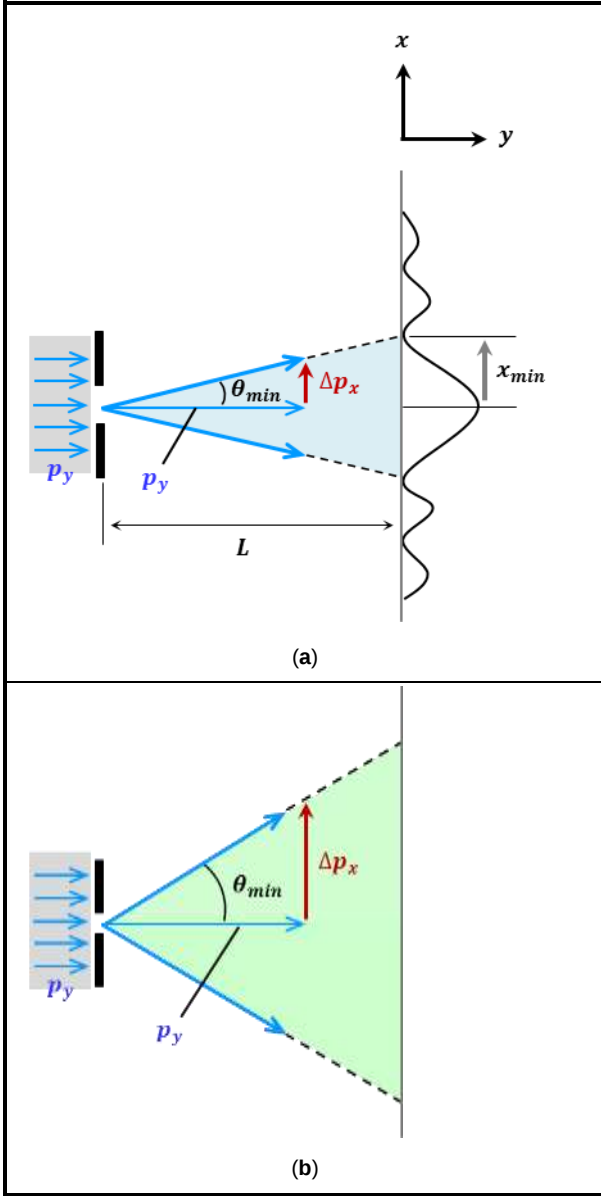
Bu ifadeyi, Eşitlik-(23)'de kullanırsak belirsizlik ilkesini aşağıda verildiği şekilde yeniden yazabiliriz ($\Delta x = D$);

$$(\Delta x)(\Delta p_x) = h \quad (28)$$

$$D \frac{h}{\lambda} \sin \left[\arctan \left(\frac{x}{L} \right) \right] = h \quad (29)$$

$$\frac{D}{\lambda} \sin \left[\arctan \left(\frac{x}{L} \right) \right] = 1 \quad (DENEYSEL) \quad (30)$$

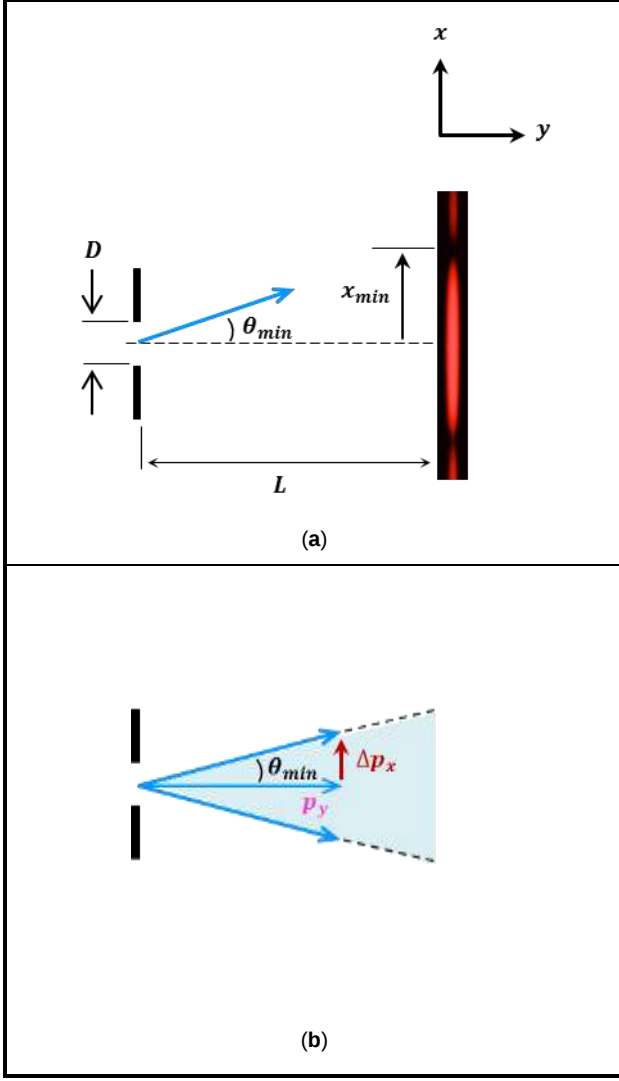
Bu deneyde elde edeceğimiz deneyssel verileri, Eşitlik-(30)'da türetilen belirsizlik ilkesini (teorik ifadeyi) doğrulamak için kullanacağız. Ölçüm sonuçlarının bu eşitliği sağlaması durumunda, Heisenberg belirsizlik ilkesi doğrulanmış olacaktır.



Şekil-3: Işığın tek yarıқта kırınımı olayında fotonun momentumundaki Δp_x belirsizliği (a). Yarık genişliğinin daraltılması durumunda momentumdaki belirsizlik Δp_x artar (b).

Heisenberg belirsizlik ilkesi tek yarıқта kırınım deneyine uygulandığında, parçacık olarak ışık fotonlarının ele alınması gerekir (Şekil-3a). Yarık genişliği D daraldıkça, fotonların (parçacıkların) geçeceği noktaların konumları daha kesin olarak belirlenir. Bu da parçacığın o andaki momentum belirsizliğini (Δp_x) artırır. Momentumdaki belirsizliğin artması ile beraber fotonlar sapmaya başlar ve bunun sonucu olarak gözlem ekranına düşen ışık çok daha geniş olur (Şekil-3b).

Kırınım desenlerinden faydalananarak momentumdaki belirsizliği (Δp_x) hesaplayabilir ve buradan Heisenberg belirsizlik ilkesini doğrulayabiliriz. Burada dikkat edilmesi gerek nokta, yarık genişliği ($D = \Delta x$) ne kadar daraltılırsa, parçacık olarak ele alınan fotonların momentumundaki belirsizlik (Δp_x) o kadar artar.



Şekil-4: Tek yarıktaki kırınım deneyinde momentumundaki Δp_x belirsizliği (a). Yarık genişliğinin daraltılması durumunda momentumdaki belirsizlik Δp_x artar (b).

Şekil-(4a)'da gösterildiği gibi, genişliği " D " olan tek bir yarıktan ışık dalgalarının geçtiğini düşünürsek, kırınım olayı sonucunda yarık düzlemine L uzaklıkta bulunan bir ekranda kırınım deseni oluşacaktır. Kırınım deseni, merkezde parlak bir maksimum olmak üzere, daha düşük şiddetlerde parlak ve karanlık bölgelerden oluşur. Ekran üzerindeki saçakların parlaklığı merkezi aydınlık saçaktan uzaklaştıkça azalır.

Tek yarıklı bir kırınımında, merkezi aydınlık saçığının 1.**karanlık** saçığa (ilk minimuma) uzaklığı (x_{min});

$$x_{min} = L \frac{\lambda}{D} \quad (31)$$

tarafından belirlenir.

Birinci minimum için θ_{min} açısı aşağıda verildiği şekilde bulunur;

$$\tan \theta_{min} = \frac{x_{min}}{L} \quad (32)$$

$$\tan \theta_{min} = \frac{(L\lambda/D)}{L} \quad (33)$$

$$\tan \theta_{min} = \frac{\lambda}{D} \quad (34)$$

Tek yarıktan geçen fotonlar, y doğrultusundaki p_y momentumuna ek olarak x yönünde de p_x momentum bileşenine sahip olacaktır (**Şekil-4b**). Bu şematik çizimden, θ_{min} açısal yayılması için aynı zamanda aşağıdaki bağıntıyı yazabiliriz;

$$\tan \theta_{min} = \frac{\Delta p_x}{p_y} \quad (35)$$

Eşitlik-(43) ve **Eşitlik-(44)** tarafından;

$$\frac{\lambda}{D} = \frac{\Delta p_x}{p_y} \quad (36)$$

eşitliği elde edilir.

Fotonlar (parçacıklar), **de Broglie** bağıntısı tarafından aşağıda verilen **momentumun** y -bileşeni ile ilerler (**Şekil-4b**);

$$p_y = \frac{h}{\lambda} \quad (37)$$

Parçacığın y -yönü momentumunu veren bu ifadeyi, **Eşitlik-(36)**'da yerine yazarsak;

$$- = \frac{\Delta p_x}{(h/\lambda)} = \frac{\Delta p_x}{h} \quad (38)$$

$$(D)(\Delta p_x) = h \quad (39)$$

bağıntısını buluruz. Tek yarıklı bir kırınımda fotonun (parçacığın) x -yönündeki konumundaki belirsizlik $\Delta x = D$ olacaktır. Böylece, λ dalgaboyuna sahip bir parçacık (veya dalga) için x -yönündeki ölçüm belirsizliği;

$(\Delta x)(\Delta p_x) = h$

(DENEYSEL) (40)

bulunur. Burada;

Δx : x -yönündeki parçacığın konumundaki belirsizlik,

Δp_x : x -momentumundaki belirsizlik.

olarak tanımlıdır. Bulunan bu ifade, **Eşitlik-(28)** tarafından verilen bağıntı ile aynıdır.

8. Deneyin Yapılışı

DENEY-3: Heisenberg Belirsizlik İlkesinin Doğrulanması

Bu çalışmada, ışığın tek yarıktaki kırınımına uğrayarak gözlem ekranında yapmış olduğu kırınım deseninden, fotonun " x " konumundaki ve " p_x " momentumundaki belirsizlikleri, **Heisenberg** belirsizlik ilkesine göre incelenecektir.

1. Tek yarıktaki kırınım olayında kullanılan deney düzeneği hazırlanır.

1.1. Deneyde kullanılan ışık sensörü, konum sensörü üzerine yatay doğrultuda, ölçekli raya dik olarak hareket edecek şekilde tutturulmuştur.

1.2. Ayarlanabilir yarık sistemi (yarık düzlemi) ile ışık sensörü ön ekranı (giriş diskisi) arası mesafe $1m (= 100cm)$ olacak şekilde ayarlanır.

- $L = 1m$

1.3. Işık sensörü kablolarını LabQuest-2 veri toplama cihazının "CH1" girişine, konum sensörü kabloları ise "DIG1" girişine takılır.

1.4. LabQuest-2 çalıştırılır. Ekranda CH1: Yoğunluk ve DIG1: Konum bölümleri görüntülenecektir.

2. Işık sensörü üzerindeki üç kademeli anahtar, $10\mu W$ konumuna getirilir.

- $10\mu W$ (Işık Sensörü)

3. Lazer ışığının hizalamasını yapmak için yarık tutucusu, ölçekli ray üzerinden çıkarılır.

3.1. Işık sensörü önündeki ışık giriş diskisi, 0.3 giriş aralığına getirilir.

- 0.3 (Işık Giriş Diskisi)



Şekil-5: Lazer ışığının hizalama ve konum sıfırlaması sonrası LabQuest-2 ekran görüntüsü.

3.2. Işık sensörü (dolayısıyla, ışık giriş diskisi), lazer ışık kaynağının tam karşısına dik gelecek şekilde ölçekli ray üzerinde hizalanır.

3.3. Lazer ışık kaynağı açılır. Bu deneyde, monokromatik ışık kaynağı olarak kırmızı ($\lambda = 635nm$) Lazer diyot kullanılmaktadır;

- $\lambda = 635nm$

3.4. Lazer kaynağı arkasında bulunan yatay ve dikey hizalama düğmeleri yardımıyla, lazer ışığının 0.3 giriş aralığına düşmesi sağlanır. Bu hizalama işlemi tamamlandığında, LabQuest-2 ekranında CH1:Yoğunluk bölümü 100% olarak görüntülenecektir.

- CH1:Yoğunluk $\rightarrow$ 100%

3.5. Yoğunluk 100% durumunda, konum sensörü sıfırlanır. Bu işlem için LabQuest-2 ekranında DIG1:Konum bölümü tıklanarak açılan pencereden "SIFIRLA" komutu verilir.

- DIG1:Konum $\rightarrow$ 0,00mm

3.6. Hizalama ve konum sıfırlama işlemleri sonrası LabQuest-2 ekran görüntüsü Şekil-(5)'de verilmiştir.

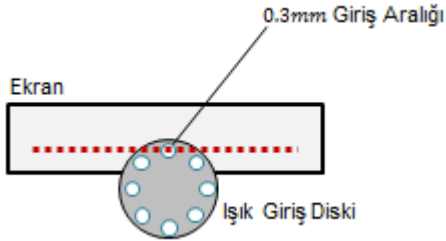


Şekil-6: Işık sensörü önündeki "0.3 mm" giriş aralıklı diske düşen ışığın yoğunluğu.

4. Yarık tutucusu, lazer kaynağı önünde olacak şekilde ray üzerine tekrar takılır. Sonrasında, ayarlanabilir yarık sisteminde 3. sırada bulunan 0.08mm aralıklı tekli yarık seçilir ve yarık tutucusuna lazer ışığına DİK olacak şekilde yerleştirilir;

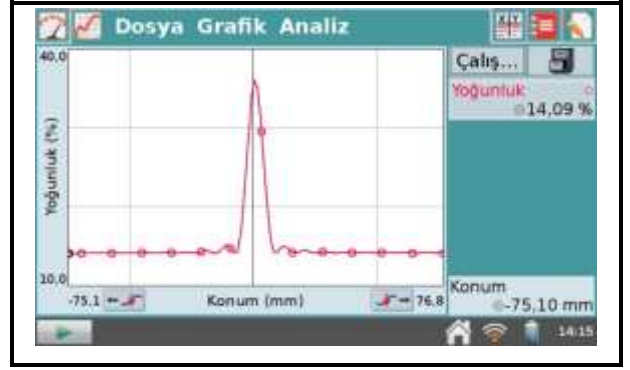
- $D = 0.08 \quad (= 8 \times 10^{-5} \text{ m})$

- 4.1. Tekli yarıktan geçen lazer ışığının, ışık sensörü önündeki 0.3mm giriş aralıklı ışık giriş diskine düşmesi sağlanır;



- 4.2. Şimdi, ışık sensörü önündeki ekranda MERKEZİ aydınlık saçığa ait ($Konum = 0$) yoğunluk değeri LabQuest-2 ekranında "35%" civarında görüntülenecektir. Bu, tekli yarıktan geçen ve $Konum = 0$ için 0.3mm aralıklı ışık giriş diskine düşen ışığın yoğunluğudur (Şekil-6).

5. Işık sensörü, yatay doğrultuda hareket ettirilerek herhangi bir uca getirilir.



Şekil-7: Işık yoğunluğunun konuma göre değişimi.

6. LabQuest-2 grafik ekranı açılır ve Başlat [] tuşuna basılarak veri toplama işlemi başlatılır.

- 6.1. Veri toplama işleminin başlatılmasıyla beraber, ışık sensörü yavaş bir şekilde kırınım deseninin bir ucundan diğer ucuna doğru sabit hızla hareket ettirilerek **ışık şiddeti** ölçülür.

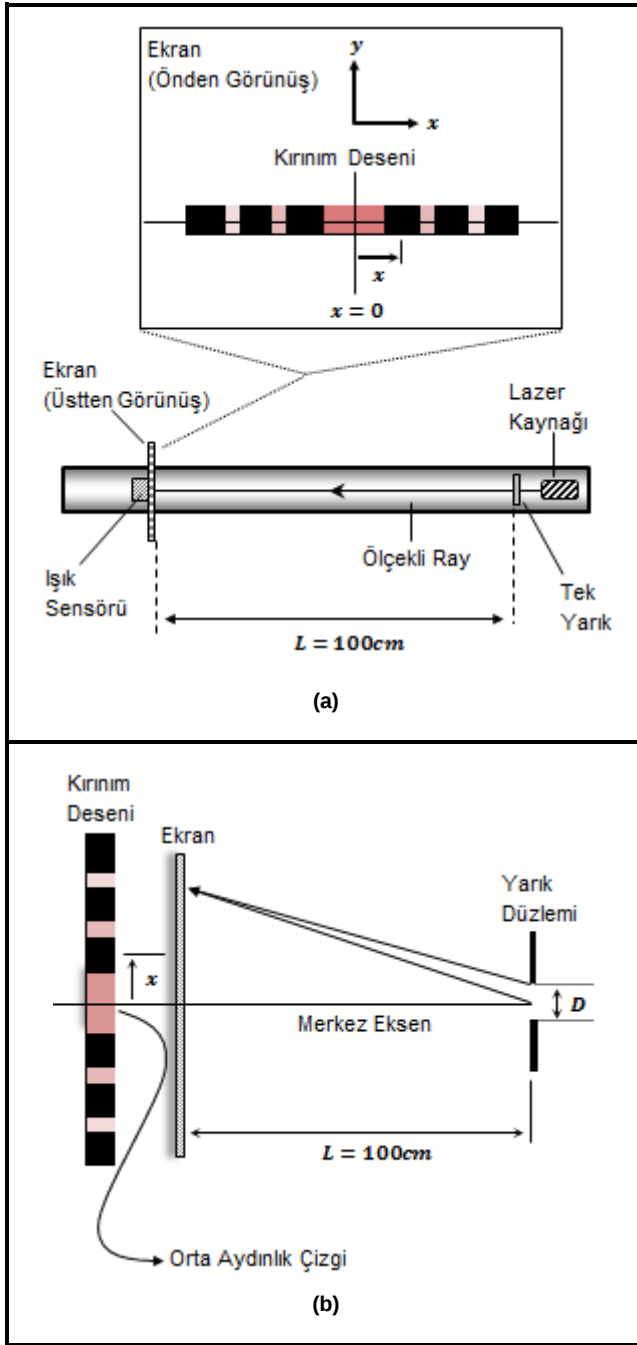
Deney Notu:

Dalga boyu " λ " olan tek renkli bir ışık ışını, " D " genişliğindeki tek bir yarıktan geçtiğinde bir ORTA aydınlık çizgi (MERKEZİ aydınlık saçak) ekranda belirir. Ekrandaki aydınlık saçakların ışık şiddetleri ekran kenarlarına doğru zayıflar. Bu nedenle, ışık şiddetinin merkezi aydınlık çizgide maksimum olduğu, kenarlara doğru ise şiddetin zayıfladığı görülecektir.

- 6.2. Işık sensörünün hareketi tamamlandığında, DURDUR [] tuşu ile veri toplama işlemine son verilir.

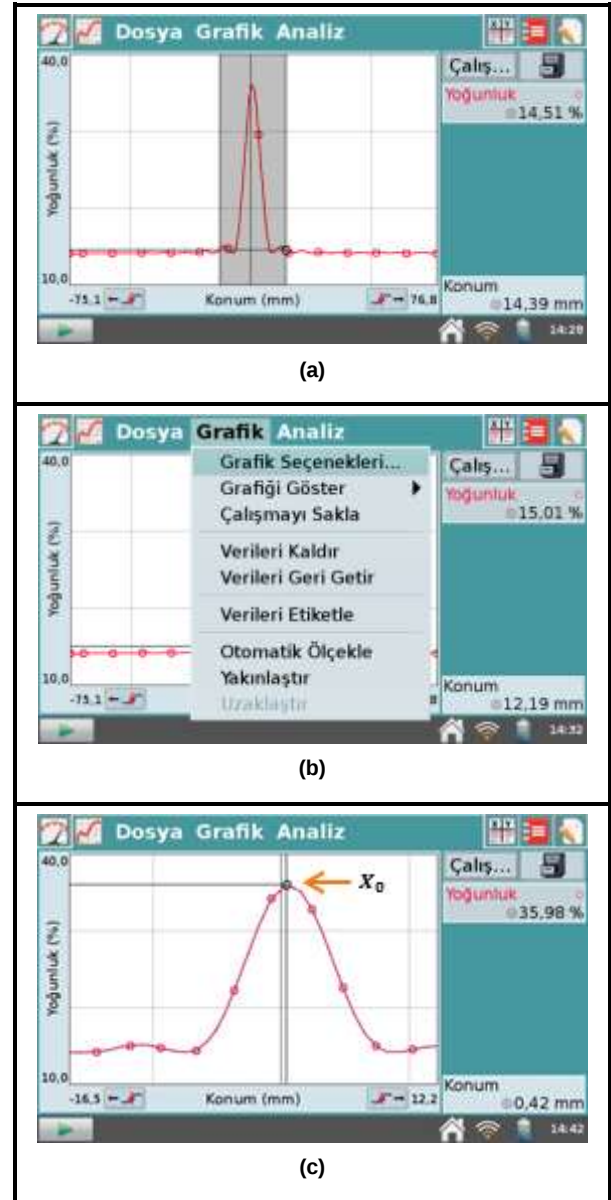
- 6.2.1. Veri toplama sonrasında, KONUMA (mm) karşılık ışık şiddeti (YOĞUNLUK) değişimi LabQuest-2 grafik ekranında görüntülenecektir.

- 6.2.2. Şekil-(7)'de görüldüğü gibi, aydınlık saçakların şiddeti (parlaklık şiddeti) merkezi aydınlık ($Konum = 0$) saçaktan itibaren (yani kırınım deseninin merkezinden uzaklaştıkça) azalır.



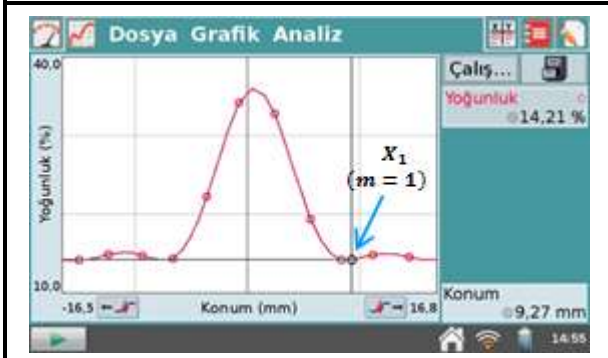
Şekil-8: Tek yarıktaki kırınım deseni. 1. KARANLIK çizginin (saçağın) ORTA aydınlık çizgiye (merkezi aydınlık saçağı) olan x uzaklığı (a), kırınım deseni. Orta (merkezi) AYDINLIK çizginin konumu (b). Burada, L tekli yarıktan ekrana (ışık giriş diskine) uzaklığıdır.

- Şimdi, merkezi AYDINLIK saçağın ortasından, 1. KARANLIK saçağın ($m = 1$) ortasına olan uzaklık (x) değeri, LabQuest-2 grafik ekranı kullanılarak ölçülecektir (Şekil-8).

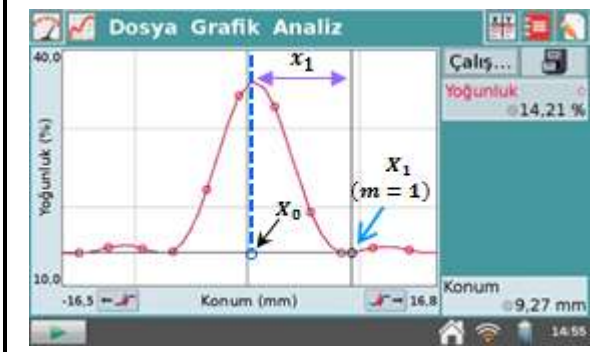


Şekil-9: Konuma karşılık ışık şiddetindeki değişim grafiğinde merkezi aydınlık (maksimum) ve karanlık (minimum) noktaları içeren belirli bir bölgenin seçilmesi (a), bu seçili bölgenin büyütülmesi (b) ve merkezi aydınlık çizginin X_0 konum bilgisi (c).

- 7.1. LabQuest-2 grafik ekranında MAKSİMUM (kırınım deseni. merkezi AYDINLIK saçağı karşılık gelen) nokta ve çevresi seçilir (Şekil-9a).
- 7.2. Grafik menüsünden "Yakınlaştır" komutu ile bu seçili bölge büyütülür (Şekil-9b).



(a)



(b)

Şekil-10: LabQuest-2 grafik ekranında 1.karanlık saçığın ($m = 1$) konumu (a) ve bu 1.karanlık saçığın MERKEZİ aydınlık çizgiye olan x_1 uzaklığı (b).

- 7.3. Grafikte, merkezi AYDINLIK çizgiye karşılık gelen nokta tıklanır ve konumu, LabQuest-2 sağ alt köşedeki Konum bölümünden okunarak X_0 olarak not edilir (Şekil-9c).

• $X_0(m): \dots\dots$

Merkezi AYDINLIK
Saçağın Konumu

- 7.4. Benzer şekilde, grafiğin ilk minimum noktası tıklanır ve okunan değer X_1 olarak **Tablo-1**'de not edilir. Bu nokta, 1. KARANLIK saçığın ($m = 1$) konumunu verecektir (Şekil-10a);

• $X_1(m): \dots\dots$

1. KARANLIK Saçağın
Konumu

Deney Notu:

Genişliği D olan tek bir yarık tarafından ekranda oluşturulan **kırınım deseni**, merkezde parlak bir maksimum (merkezi aydınlık saçak) ve bu merkezi aydınlık saçığın her iki kenarında çok daha düşük şiddetlerde parlak (**maksimum**) ve karanlık (**minimum**) bölgelerden oluşur.

- 7.5. Şimdi, girişim deseniinde **1. KARANLIK** saçığın (ilk *minimumun*) MERKEZİ aydınlık saçığa olan tam uzaklığı hesaplanır (Şekil-10b);

$$x_1(m) = X_1 - X_0$$

1. KARANLIK
Saçağın ($m = 1$)
MERKEZİ Aydınlık
Saçağa Uzaklığı

Bulunan değer **Tablo-(2)**'ye not edilir.

8. Yarık ile ekran arası mesafe (L) ve **1.karanlık** saçığın merkezi aydınlık saçığa olan uzaklığı (x_1) kullanılarak **birinci minimumun açısı** (kırınım açısı), θ_1 hesaplanır;

$$\theta_1 = \arctan\left(\frac{x_1}{L}\right)$$

- 8.1. Bulunan birinci minimumun açısı yardımıyla **momentumundaki belirsizlik** Δp_x aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanır ve **Tablo-(2)**'de yerine yazılır.

$$\Delta p_x = \frac{h}{\lambda} \sin\left[\arctan\left(\frac{x_1}{L}\right)\right]$$

- 8.2. **Heisenberg belirsizlik** ilkesi aşağıda verilen bağıntı kullanılarak doğrulanır;

$$-\sin\left[\arctan\left(\frac{x_1}{L}\right)\right] = 1$$

-
9. Aynı deney, farklı yarık genişliğine sahip (D) tekli yarık (*slit*) ve farklı ekran mesafeleri (L) için tekrar edilir.
- 9.1. Ekran farklı L uzaklıkları için (D -sabit) bulunan kırınım deseninde **karanlık saçak aralıkları** nasıl değişir?.
- 9.2. Farklı genişlikteki yarıklardan dolayı oluşan (L -sabit) kırınım deseninin şiddeti (yoğunluk dağılımı) nasıl değişir?.
10. Tek yarıқта elde edilen kırınım deseninin Heisenberg belirsizlik ilkesi ile ilişkisi deney raporunda kısaca açıklanır.

9. Deney Raporu

Adı ve Soyadı: _____

Bölüm: _____

Öğrenci No: _____

Tarih: _____

DENEY-3: Heisenberg Belirsizlik İlkesinin Doğrulanması

Tablo-1: Kırınım deseninde merkezi aydınlık saçığının 1.karanlık saçığa (ilk minimuma) uzaklığı.

Işık Kaynağı	Ölçülen	Ölçülen	1.Karanlık Saçak	LabQuest-2
Lazer Dalgaboyu	Yarık Genişliği	Yarık ile Ekran Arası Uzaklık	Birinci Minimum	1.Karanlık Saçığının Konumunu
m)	m)	$L(m)$	m	$X_1 m$)
635×10^{-9}	$8 \times 10^{-5}m$	$1.0 (= 100cm)$	.....	.....

Tablo-2: Fotonların x – yönünde momentumundaki belirsizlik.

LabQuest-2		Ölçülen	Hesaplanan	DENEYSEL
1.Karanlık Saçığının Konumu	Merkezi Aydınlık Saçığının Konumu	1. Karanlık Saçığının Merkezi Aydınlık Saçığa Uzaklığı	Birinci Minimumun Açısı (Kırınım Açısı)	Momentumundaki Belirsizlik
$X_1 m$)	$X_0 m$)	$x_1 m$)	$\theta_1 der)$	$\Delta p_x kg.m/s)$
		$x_1 m = X_1 - X_0$	$\theta_1 = \arctan(\frac{x_1}{L})$	$\Delta p_x = \frac{h}{\lambda} \sin[\arctan(\frac{x_1}{L})]$
.....				

Planck sabiti, $h = 6.626 \times 10^{-34} J.s$ olarak alınır.

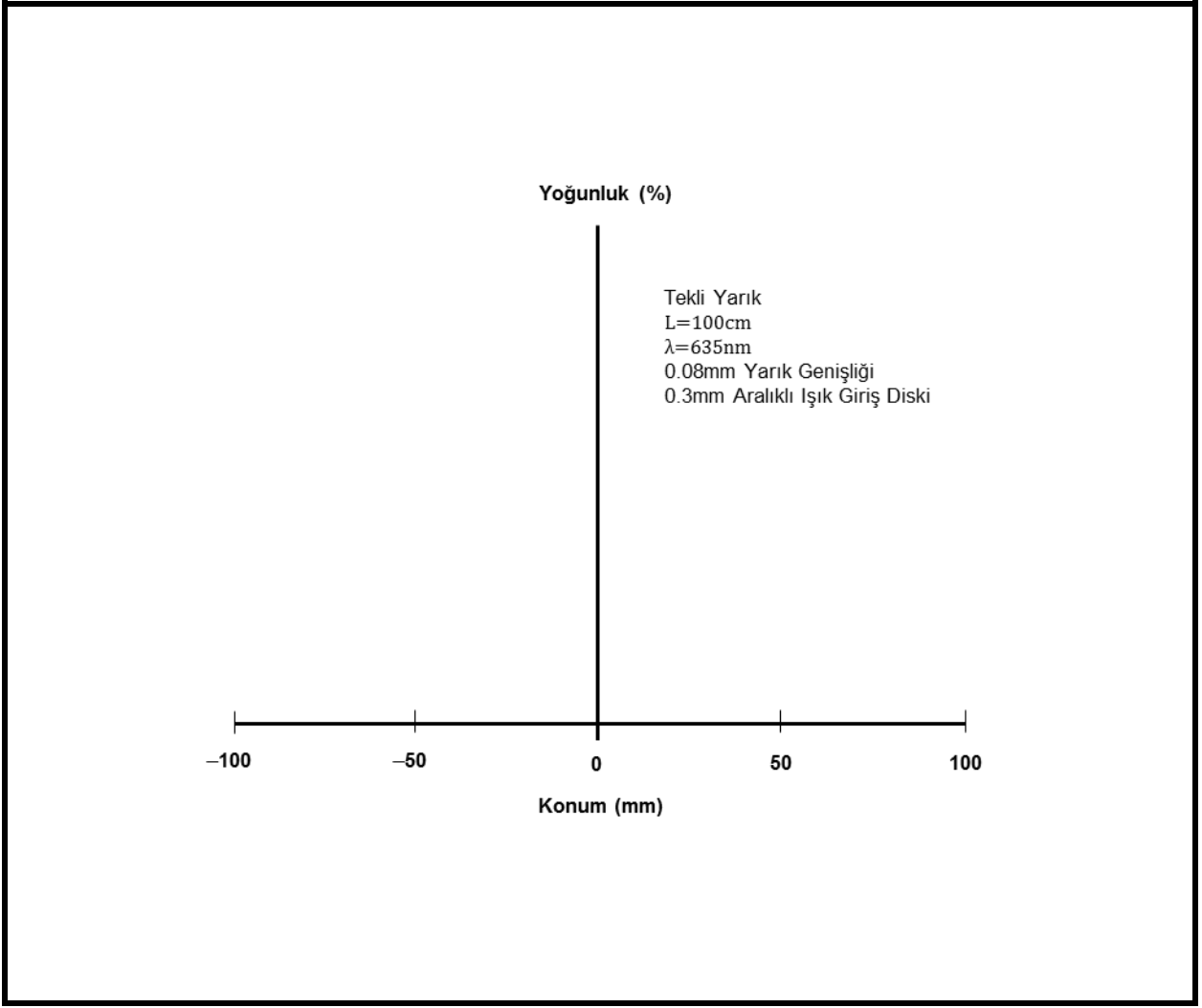
Tablo-3: Deneyssel olarak hesaplanan momentumundaki belirsizliğin **beklenen** değerle karşılaştırılması.

Ölçülen		Ölçülen	DENEYSEL	BEKLENEN	Fark
Yarık Genişliği	Ekran Uzaklığı	1. Karanlık Saçağın Merkezi Aydınlik Saçağa Uzaklığı	Momentumundaki Belirsizlik	Momentumundaki Belirsizlik	
m	$L(m)$	$x_1 \text{ m}$	$\Delta p_x \text{ kg.m/s}$	$\Delta p_x \text{ kg.m/s}$ $\Delta p_x = \frac{h}{\Delta x}$	
8×10^{-5}	1.0	.....	.....	.....	.....

Fotonun konumundaki belirsizlik yarık genişliği " D " tarafından belirlendiği için Δx büyüklüğü yarığın genişliği olan " D " olarak alınır ($\Delta x = D$).

Tablo-4: Heisenberg belirsizlik ilkesinin doğrulanması.

Ölçülen		Ölçülen	DENEYSEL	BEKLENEN	Fark
Yarık Genişliği	Ekran Uzaklığı	1. Karanlık Saçağın Merkezi Aydınlik Saçağa Uzaklığı	Heisenberg Belirsizlik İlkesi	Heisenberg Belirsizlik İlkesi	
m	$L(m)$	$x_1 \text{ m}$	$-\sin [\arctan (\frac{x_1}{L})]$	$-\sin [\arctan (\frac{x_1}{L})]$	
8×10^{-5}	1.0	.....	.....	.....	.....



Grafik-1: Heisenberg belirsizlik ilkesini doğrulamak için oluşturulan tek yarıktaki kırınım deseninde şiddet değişim grafiği.

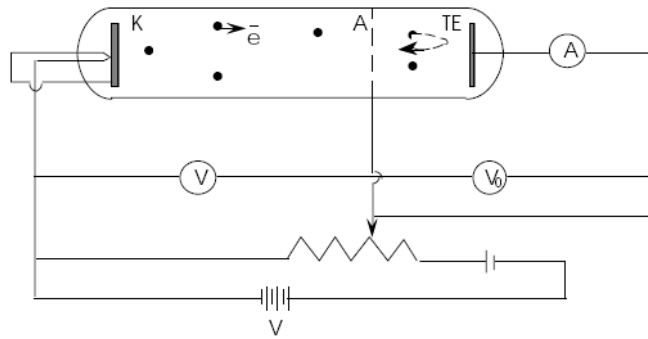
Deneyin Amacı : Elektronlar ile cıva atomları arasındaki çarpışmalar sonucu üretilen enerji ve geçişleri incelemek.

Teorik Bilgi

Bohr atom modeline göre, bir atomdaki elektronlar çekirdek etrafında belirli enerji seviyelerinde hareket ederler. Elektronların enerjilerini artırarak, temel durumda bulunan elektronu daha üst enerji seviyelerine çıkarmak veya atomdan koparmak mümkündür. Temel durumda bulunan elektronu daha üst enerji seviyelerine çıkarmak için yeterli enerjiye uyarma, atomdan uzaklaştırmak için gerekli enerjiye ise iyonlaşma enerjisi denir.

Atomların ışıma spektrumunu oluşturan çizgiler, aralıklı enerji düzeylerinin kanıtıdır. Atomların enerji düzeylerinin kesikliliğini kanıtlayan ilk deney Frank-Hertz deneyidir.

Deney düzeneği bir katot ışıını tüpünden oluşuyor. Tüpün bir ucunda, ısıtıldığında elektron saçan bir katot, diğer ucunda da, yüzeyine ulaşan elektronları toplayarak akım oluşturan bir anot bulunmaktadır. Bu ikisinin arasına ayrıca, elektronları hızlandırmak için, katoda L uzaklığında bir ızgara yerleştirilmiştir. Katotla ızgara arasına bir ‘hızlandırma gerilimi’, diyelim V uygulanmakta. Dolayısıyla, aralarında yaklaşık sabit bir elektrik alanı var: $E=V/L$. O halde, katottan ayrılan bir elektronun üzerindeki kuvvet de sabit ve $F=qE=eV/L$ kadar. Bu kuvvetin etkisiyle katottan uzaklaşıp x mesafesine ulaşan bir elektron, bu arada elektrik alanı tarafından $F.x=eV(x/L)$ kadar kinetik enerji kazanmış oluyor: ızgaraya vardığında eV kadar. Fakat anoda, ızgaraya göre biraz negatif potansiyel uygulanmış. Dolayısıyla, L mesafesi boyunca hızlandırılıp eV kadar kinetik enerji kazandırılmış olan elektronlar, ızgarayı geçtikten sonra anoda ulaşmak için, ufak bir potansiyel enerji tümseğini aşmak zorundalar. Tüpün içi düşük basınçlı, örneğin cıva buharıyla dolu. Hızlandırma gerilimi 0’dan başlatılıp, kademeli olarak artırılıyor. Katottan ayrılan elektronların, yol boyunca hızlanırken, arada bir cıva atomlarıyla çarpıştıkları oluyor. Fakat kütleleri çok küçük olduğundan, yarım tonluk beton bloğa çarpan bilyeler gibi, hemen hiç kinetik enerji kaybetmeksizin yansıyıp, tekrar yollarına ve hızlanmaya devam ediyorlar. ızgara önündeki potansiyel engelini aşabilenler anoda ulaşp, hızlandırma geriliminin fonksiyonu olarak ölçülmekte olan akıma katkıda bulunuyor.



Şekil 4.1. Frank-Hertz deney düzeneği teorik şeması

Anodun birim yüzeyine saniyede ulaşan elektron sayısı; tüp içindeki elektronların sayısal yoğunluğuyla (n), anoda ulaşınca kadar kazanmış oldukları hızın (v) olmak üzere toplam akım $i=J.A=v.n.A$. Akımı veren bu çarpanlardan A sabitken, n de yaklaşık sabit kalırken; v , hızlandırma gerilimiyle birlikte artar. Sonuç olarak, toplam akımın da artması gerekir.

Franck-Hertz tüpü

Franck-Hertz Hg tüpü (elektronların çarpıştığı t p)    kısımdan oluşur. Bunlar: Dolaylı yoldan ısıtılmış olan oksit kaplı bir katot C,  rg  şeklindeki hızlandırma elektrotu A ve toplama elektrotu S. Katot ile örgü şeklindeki hızlandırma elektrotu arasındaki mesafe, uygulanan sıcaklıkta Hg buharındaki serbest elektronların dalga boylarından daha büyük olmalı ki etkileşme olasılığı oldukça yüksek olsun.



şekil 4.3 Franck-Hertz Deney Düzeneği

1. Franck-Hertz Hg tüpü ile kontrol paneli arasındaki bağlantıyı yapınız. Kontrol paneli üzerindeki düğmeyi kullanarak fırını açınız.
2. Tüm deney sisteme bağlı olan bilgisayar üzerinden kontrol edilmektedir. Bunun için öncelikli olarak kontrol panelini PC moduna getiriniz. Bilgisayarda aşağıdaki değerleri girerek deney grağini elde ediniz

$$T=(175 \pm 10) ^\circ\text{C}$$

$$V_1=0...60 \text{ V}$$

$$V_2=(2.0 \pm 0.5) \text{ V}$$

$$V_H=(6.3 \pm 0.5) \text{ V}$$

Uyarılar!

1. V_h voltajını yukarda verilen değerden çok fazla yükseltmeyiniz. Franck-Hertz Hg tüpüne zarar verebilirsiniz.
2. İyi bir deney sonucu elde etmek için fırın sıcaklığını 160°C ile 190°C arasında tutunuz.

Deney Soruları

1. Elde ettiğiniz grafikte tepeler arası mesafelerin neden birbirine eşit olduğunu açıklayınız.
2. Deneyde cıva yerine başka bir element kullanılsaydı, deney sonucunda ne gibi değişiklikler beklerdiniz.

11. Kaynaklar

- [1] Hugh D. Young and Roger A. Freedman, University Physics with Modern Physics, 12TH EDITION, Pearson Education, Inc., 2008.
- [2] Douglas C. Giancoli, Physics for Scientists & Engineers with Modern Physics, Fourth Edition, Pearson Education, Inc., 1984.
- [3] Arthur Beiser, Concepts of Modern Physics, Sixth Edition, McGraw-Hill Companies, Inc., 2003.