

# AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ

## FİZİK BÖLÜMÜ

### İLERİ FİZİK LABORATUVARI DENEY FÖYÜ

## TERMAL İŞINIM DENEYLERİ

**Amaç** : Termal Işınımın farklı ortamlardan geçerken gösterdiği davranış ve Stefan-Boltzmann yasasının yüksek sıcaklıklardaki davranışı incelenecektir.

**Teorik Bilgi** : T sıcaklığına sahip olan herhangi bir cisimden birim alandan birim zamanda yayınlanan termal enerji R, Stefan-Boltzmann yasasına göre aşağıdaki denklem ile verilir.

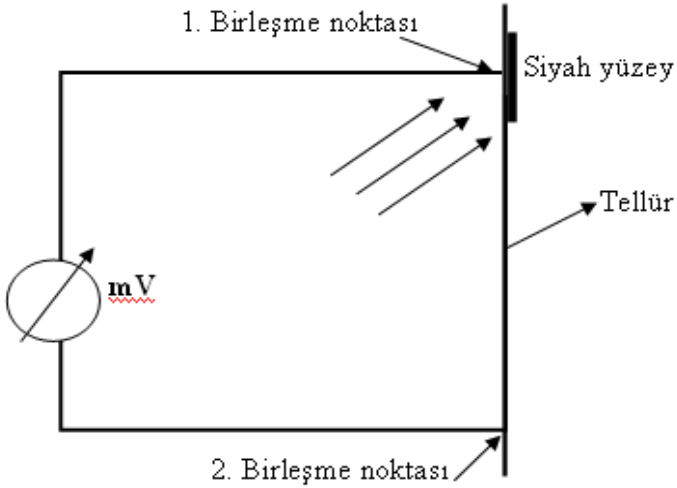
$$R = e\sigma T^4 \quad (1)$$

Burada ,  $\sigma = 5.670 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$   
e = yayınlama faktörü

Yayınlama faktörü yüzey özelliklerine göre 1 ile 0 arasında bir değer alır. e ideal siyah cisim için 1 olarak alınır. İdeal siyah cisim için geçirgenlik katsayısı  $t = 1$ , yansıma katsayısı  $r = 0$  olarak alınır. İdeal siyah cisim, üzerine düşen bütün ışınımı soğurduğundan ( bu anda yayınlama olmaz; bütün spektrum bölgesinde siyah olarak görülür ) belli bir süre sonra sıcaklığı artacak ve soğurulan enerjiyi bütünü ile yaymaya başlayacaktır (  $e=1$  ). İdeal parlak cisim için de e, 0 olarak alınır ( $r=1$ )

### Işınım sensörü :

Bu deneyde, belirli sıcaklığa sahip cisimlerden yayınlanan fotonlara duyarlı olan termopil ışınım sensörü olarak kullanılmaktadır. Termopil bir çok termoelektrik çiftin (termal çifti, ısı çifti, termokupl) seri bağlamasından oluşur. Termoelektrik çift; birer uçları birleştirilen farklı iki iletken telin (konstantan-bakır, konstantan-tellur vb.) birleşme noktasının sıcaklığın artırılması sonucu iki telin serbest kalan uçları arasında mV basamağında potansiyel farkı oluşmasıdır (termoelektrik emk).



**Şekil - 1**

Termopil sıcaklık sensörü olarak kullanıldığında iki tane birleşme noktası bulunur. Bunlardan biri oda sıcaklığında yani sıcak cisimden yayınlanan kızılötesi ışınları görmeyecek şekilde, diğeri ise ışınlıma açık olacak şekilde bulunur. Gelen ışınlımın soğurulma miktarını artırmak için bu bölge siyah bir zemin üzerine yerleştirilmiştir.(Şeki1)

### **Termal Işınım Küpü ( Leslie Küpü ) :**

Her yüzeyi değişik özelliklere sahip, oda sıcaklığından 120 °C kadar ısıtılabilen küp şeklinde bir sistemdir. Bu küpün sıcaklığı, herhangi bir köşesine yerleştirilmiş **termistörün** direncinin ölçülmesiyle bulunur. Termistörler Cr, Mn, Fe, Co ve Ni gibi elementlerin oksitlerinden yapılmış yarı iletkenlerdir. Belirgin özellikleri, dirençlerinin sıcaklığa göre hızlı bir değişim göstermeleridir. Dirençlerinin sıcaklıkla artan veya azalan yönde olmalarına göre iki grupta toplanır.

### **Stefan-Boltzmann Lambası:**

Yüksek sıcaklıkta nokta kaynak olarak kullanılan normal bir ampuldür. ( 12 V, 3A max.). Stefan- Boltzman yasasının incelenmesinde, ampulün filamanın sıcaklığı (T), ampülden geçen akım ve voltaj ile orantılıdır.

$$T = \frac{R - R_{ref}}{\alpha R_{ref}} + T_{ref}$$

$R = T$  sıcaklığındaki filamanın direnci

$T_{ref} =$  Akım geçmeyen filamanın sıcaklığı (Labaratuar sıcaklığı),

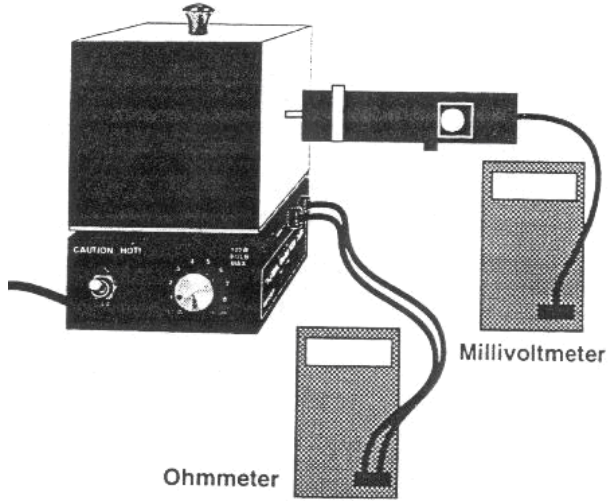
$R_{ref} = T_{ref}$  sıcaklığındaki filamanın direnci

$\alpha =$  Filaman ( Tungusten ) için, iletkenliğin sıcaklık katsayısı.

$\alpha = 4.5 \times 10^{-3} K^{-1}$

## **DENEY**

### **A - Termal Işımanın Temeli :**



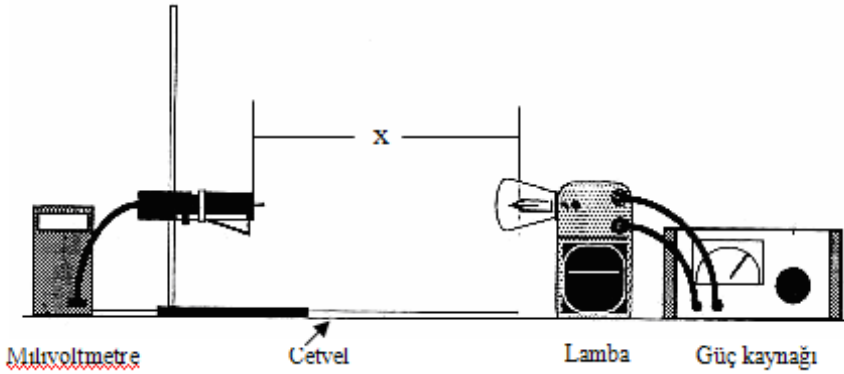
a) Şekil-2 de görülen termal ısıma- kütü ile ilgili bağlantıları yapınız.

b) Termal-ısıma kütünü açınız. Güç ayar düğmesi 5.kademeye getiriniz. Ohmmetrenin gösterdiği değeri gözleyerek kütün sıcaklık dengesine gelmesini bekleyiniz.

(Dikkat kütün yüzeyi ısınacaktır! )

Termal-ısıma kütü sıcaklık dengesine

ulaşınca **Şekil-2** olarak 40 dk) aşağıdaki işlemleri yapınız.



**Şekil – 3**

c) Şekil-3 de görülen deney düzeneği kurunuz ve gerekli bağlantıları yapınız. Deney düzeneği, termal ısıma kütünden uzak bir yere kurulmalıdır.

d) Işıma sensörü ile ampül filamanının aynı doğrultuda olmasını sağlayınız. Deney sırasında yapılan ayarın bozulmamasına dikkat ediniz.

e) Güç kaynağı kapalı iken sensör ile lamba arasındaki uzaklık her defasında 10 cm artırılarak, milivoltmetrenin okuduğu değerleri aşağıdaki Tablo 1.1 'e kayıt ediniz.

f) Güç kaynağının gerilimini belirli bir değere getiriniz (10 V civarı). Sensör ile filaman arasındaki uzaklığı 90 cm ye ayarlayınız ve uzaklığı her defasında 5 cm azaltarak, milivoltmetrenin (Rad) değerlerini de aşağıdaki Tablo 1.2 kayıt ediniz.

$I_{\text{şıma}} = \text{Rad} - \text{Ort. Çev. Işıma seviyesi}$

x (cm)	Çevre Işıma Seviyesi (mV)
10	
20	
30	
40	
50	
60	
70	
80	
90	
<b>Ortalama Çevre Işıma Seviyesi:</b>	

**Tablo 1.1**

x (cm)	Rad (mV)	$\frac{1}{x^2}$	Işıma (mV)
90			
85			
...			

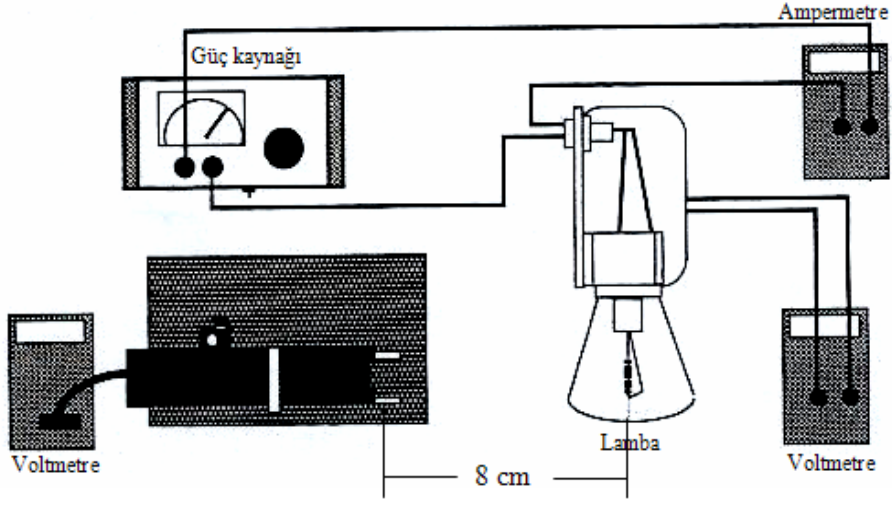
**Tablo 1.2**

g) Tablo 1.2 deki verilerle ıışmanın uzaklıkla değışiminin grafiğini çiziniz. Eğer çizilen grafik lineer değilse; ıışmanın, uzaklığın karesinin tersi ile ilişkisinin grafiğini çizerek sonuçları yorumlayınız. Ölçüm işlemleri bittiğinde termal ısıtım sensörün kapağının kapalı olmasına mutlaka dikkat ediniz. Ortamdan gelen ışınlarla sensör zamanla ısınmaktadır. Bu da hatalı ölçümlere yol açmaktadır.

h) Termal dengedeki Leslie küpün bir yüzeyinin orta noktasına karşılık gelene kadar sensörü ayarlayınız, ve her yüzey için ısıma değerlerini alınız. Sensör ile küpün yüzeyi arasında uzaklık her ölçüm değerinde aynı kalmalıdır. Bunun için minimum uzaklığı kullanabilirsiniz. Sonuçları yorumlayınız.

### **B- Stefan - Boltzmann Yasası ( Yüksek sıcaklık)**

a) Stefan-Boltzmann lambasının oda sıcaklığındaki direncini ölçtükten sonra, aşağıda Şekil-4 görülen deney düzeneğini kurunuz.



**Şekil-4**

**b)** Güç kaynağının gerilimini 1 volt dan başlayarak 12 volta kadar, 1 V aralıklarla artırınız. Işıma sensöründen bunlara karşılık gelen okunan değerleri de Tablo 1.3 de gösteriniz.

V (Volt)	I (A)	Işıma ( mV)
1.00		
2.00		
....		

**Tablo 1.3**

**c)** Tablo 1.3 değerlere göre filamanın R dirençlerine karşılık gelen T sıcaklık değerlerini bulunuz. Hesaplamalarınızı tablo halinde gösteriniz ve  $T^4$  değerlerini de bu tabloya ekleyiniz.

**d)** Işıma değerleri ile bunlara karşılık gelen  $T^4$  değerleri kullanarak bir grafik çizin ve yorumlayınız.

R ( $\Omega$ )	C <sup>0</sup>
207850	10
197560	11
187840	12
178650	13
169950	14
161730	15
153950	16
146580	17
139610	18
133000	19
126740	20
120810	21
115190	22
109850	23
104800	24
100000	25
95447	26
91126	27
87022	28
83124	29
79422	30
75903	31
72260	32
69380	33
66356	34
63480	35
60743	36
58138	37
55658	38
53297	39
51048	40
48905	41

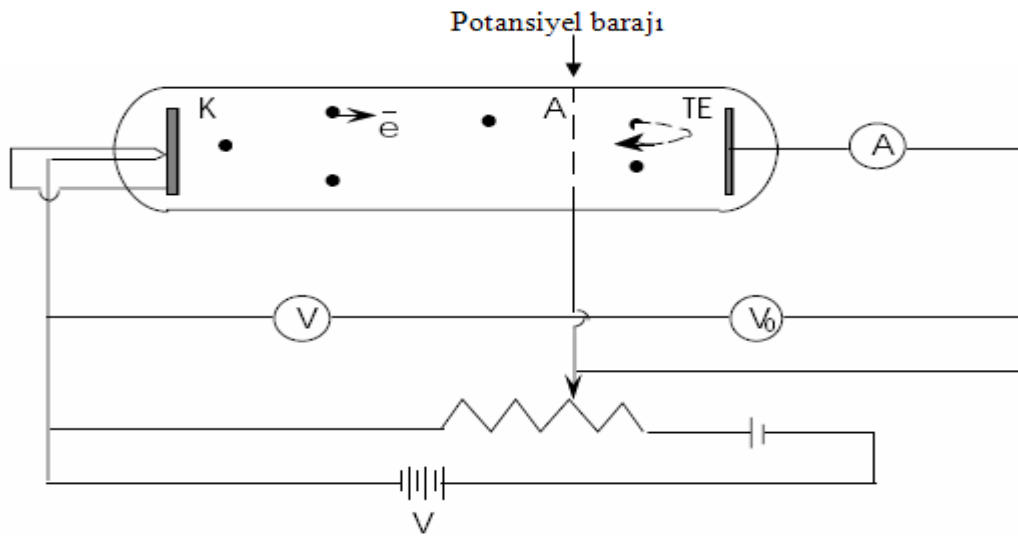
43062	44
41292	45
39605	46
37995	47
36458	48
34991	49
33591	50
32253	51
30976	52
29756	53
28590	54
27475	55
26409	56
25390	57
24415	58
23483	59
22590	60
21736	61
20919	62
20136	63
19386	64
18668	65
17980	66
17321	67
16689	68
16083	69
15502	70
14945	71
14410	72
13897	73
13405	74
12932	75
12479	76

46863	42
44917	43
12043	77
11625	78
11223	79
10837	80
10467	81
10110	82
9767.2	83
9437.7	84
9120.8	85
8816	86
8522.7	87
8240.6	88
7969.1	89
7707.7	90
7456.2	91
7214	92
6980.6	93
6755.9	94
6539.4	95
6330.8	96
6129.8	97
5936.1	98
5749.3	99
5569.3	100
4760.3	105
4082.9	110
3513.6	115
3033.3	120
2281	130
1734.3	140
1331.9	150

## FRANCK-HERTZ DENEYİ

**Amaç** : Elektronlar ile civa atomları arasındaki çarpışmalar sonucu üretilen enerji geçişleri incelenecektir.

**Teorik Bilgi** : Herhangi bir atomda, temel haldeki bir elektronu atomdan uzaklaştırmak veya daha üst enerji düzeylerinden birine çıkarmak için gerekli enerjilere iyonlaşma ve uyarma enerjileri, bunların volt cinsinden sayıca karşılıklarına da iyonlaşma ve uyarma gerilimleri denir. Atomların uyarma gerilimlerini ölçmek için ilk kez Franck ve Hertz tarafından geliştirilen deneysel düzeneğin devre şeması Şekil-1'de gösterildiği gibidir:



Şekil-1 : Franck-Hertz deneyinde kullanılan düzenek

İçinde alçak basınçta gaz bulunan bir tüpte, katodun ( K ) karşısına konulan kafes biçimindeki anodun ( A ) arka tarafına, toplayıcı elektrot ( TE ) denilen üçüncü bir elektrot yerleştirilmiştir. Anotla katot arasında hızlandırılan elektronlar, anot kafesinin aralıklarından kolayca geçerek toplayıcı elektrot üzerine ulaşmakta, bu durum devreye bağlı bir ampermetre üzerinden kontrol edilmektedir. Toplayıcı elektrotla anot arasına, onu anoda kıyasla daha negatif kılacak biçimde bir kaç voltluk sabit bir  $V_0$  gerilimi uygulanmıştır.  $V_0$  geriliminin uygulanışı, anodun arkasında birkaç voltluk bir potansiyel barajı meydana getirmektedir. Anodu geçen

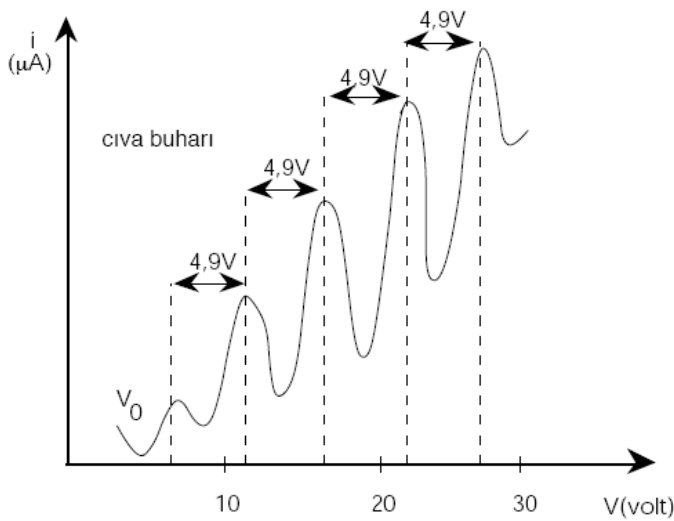


elektronlardan, kinetik enerjileri  $eV_0$ ' dan daha büyük olanlar TE üzerine ulaşabilirken, daha küçük kinetik enerjiye sahip olanların bu barajı geçişleri engellenmiş olmaktadır.

Deney düzeneğimizde kullanacağınız tüp az miktarda civa içerir. Bunun büyük kısmı tüp ısıtıldığında buharlaşır.  $180^{\circ}\text{C}$ 'de yaklaşık 20 milibarlık bir civa buhar basıncı elde edilir. Oksit kaplamalı ısıtılmış katot elektron yayar. İvmelendirme gerilimi  $U_b$  artırıldıkça bu elektronların kinetik enerjisi artar. Öyle ki, elektronlar delikli anot içerisinde ve daha sonra da 1.5 voltluk zıt gerilimden geçerek toplayıcı elektrotta ulaşırlar. Toplayıcı elektrottan anoda  $10^{-10}$  A basamağından bir akım akar ve bu akım ölçüm yükselticisinde görülür.

Elektronlar ve civa atomları arasındaki çarpışmalar ilk etapta civa atomlarına önemli miktarda enerji aktarımı olmaksızın esnek olarak gerçekleşir. Fakat ivmelendirme gerilimi yeterli miktara ulaştığında elektronların kinetik enerjisi delikli anodun tam önündeki civa atomlarına uyarmaya yetecek miktarda olacaktır. Böylece kinetik enerjilerini kaybeden elektronlar frenleme gerilimini aşarak toplayıcı elektrotta ulaşamazlar ve sonuçta ölçüm yükselticisinde okunan akım azalır. İvmelendirici gerilim daha da artırıldığında çarpışma bölgesi sürekli olarak katoda yaklaşır ve çarpışmalar yoluyla frenlenen elektronlar yeniden ivmelendirilerek toplayıcı elektrotta tekrar ulaşabilirler. Bu olay, elektronların kinetik enerjisinin civa atomlarıyla ikinci bir esnek olmayan çarpışmayla frenlenecek kadar büyük olmasına dek sürer. Bu enerji aktarımı, artırılan ivmelendirici gerilimle periyodik olarak tekrarlanır.

Sonuçta ivmelendirme geriliminin fonksiyonu olarak elde edilen akım eğrisi Şekil-2 ve Şekil-3' de gösterilmiştir.



**Şekil-2 : I-V Grafiği, Civa Atomundaki Elektronların Enerji Seviyeleri**

Akım minimumları civa atomlarının uyarılma enerjilerinin 4.9 eV olduğunu gösterecek şekilde, 4.9 V' luk aralıklarla oluşmuştur.

Bu enerjiye karşılık olarak gelen spektrum frekansı :

$$\nu = \frac{E}{h} , \text{ yani } \frac{4,9\text{eV}}{4,133 \times 10^{-15} \text{eV.sn}} = 1,18 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

Buna karşı gelen dalga boyu ,

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = 253,7 \text{ nm'dir.}$$

Görüldüğü gibi 253.7 nm dalga boyundaki civa rezonans çizgisi uyarıldığında, toplayıcı elektrot akımının periyodik ve eşit uzaklıklı maksimum ve minimumlarının yer aldığı Franck-Hertz deneyi (1913, Nobel Ödülü 1926) kuantum kuramını sergilemek ve doğrulamak amacını güden en etkileyici deneydir. Franck ve Hertz bir kuartz spektrograf yardımıyla bu mor-ötesi ışımının varlığını göstermişlerdir. Bu deney kuantum kuramının doğruluğunun tam bir ispatıdır.

Deney şu cihazlarla da yapılabilir:

- 1- 6,3 V' luk DC veya AC gerilim kaynağı,
- 2- Hızlandırıcı gerilimi için, 0 ile 70 V arasında sürekli değiştirilebilir bir DC gerilim kaynağı,
- 3-  $10^{-11}$  A duyarlılıkta ampermetre,
- 4- Zıt gerilim uygulamak için 1,5 V'luk bir DC gerilim kaynağı (pil veya gerilim bölmeli bir akü),
- 5- 200 °C' ye kadar okuma yapabilen bir termometre,
- 6- 3 V ve 100 V' luk DC ölçüm aralıklarına sahip voltmetre.

**Franck-Hertz Tüpü:** Isıtılan oksit kaplı katot, delikli anot ve toplayıcı elektrotla sahip üç elektrotlu bir tüptür. Elektrotlar birbirine paralel olarak düzenlenmiştir. Yüksek çarpışma olasılığı sağlamak amacıyla katot ve anot arasındaki mesafe 8 mm'dir ve bu aralık elektronun 180° C deki buhar ortamındaki ortalama serbest yoluna göre büyüktür. Anot ve toplayıcı elektrot arasında ise daha az bir mesafe vardır. Franck-Hertz tüpü Şekil-4'de gösterildiği gibidir.

**Fırın:** Boyutları 240 x 160 x 140 mm<sup>3</sup> olan bir çelik bir kabinden oluşur. Fırın, tabanına yerleştirilmiş tüp şekilli ısıtıcı elemanlar ile ısıtılır. Güç tüketimi 400 watttır. Fırın sıcaklığının ayarlanması ve stabilizasyonu dışarıdaki kontrol düğmesiyle sağlanır.

Fırın yalnız AC kaynağına bağlanabilir. Aksi halde oluşabilecek elektrik arkı ısıtıcıya zarar verebilir.

**İşleme Birimi:** Bu birim gerekli tüm gerilimleri sağlar ve bir DC (doğru akım) yükselticisi içerir.

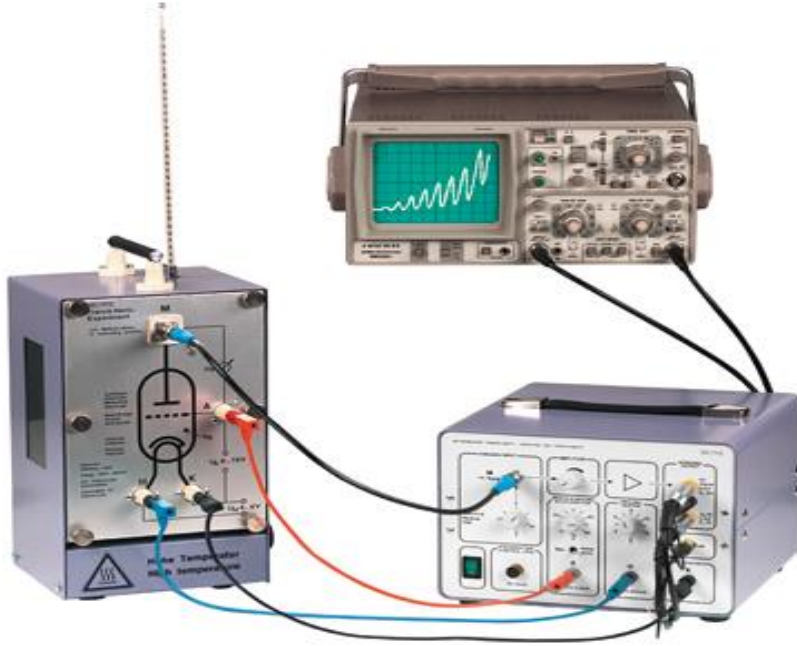
## DENEY

1. Fırını bağlayarak istenilen sıcaklığa ayarlayınız. Sıcaklık, fırının merkezine daldırılan termometreden okunabilir. 10-15 dakikalık ısıtma süresinden sonra istenen sıcaklığa (örn.  $170^{\circ}\text{C}$ ) ulaşılabilir. Bu şekilde ayarlanan sıcaklık, fırın kapatılırsa ve uzun süre sonra açılrsa bile otomatik olarak sabit tutulur. Franck-Hertz tüpü ön panelin arkasına yerleştirilmiştir. Bu sayede bağlantı kabloları da dahil olmak üzere tüpün tümü sabit bir sıcaklıkla ısıtılabilir. Civa buhar basıncı daima tüpün en soğuk noktasındaki sıcaklıkla belirlendiği için bu gereklidir.



**Şekil-3 : Franck-Hertz tüpü.**

2. Şekil-5'e ve ön paneldeki işaretlere göre işlem biriminin (gerilim kaynaklarının ve ölçüm yükselticisinin) gerekli bağlantıları yapınız. Toplayıcı elektrottan yükseltici girişine bağlantı için korumalı bir kablo kullanılmalıdır. İvmelendirici ve zıt gerilimlerinin kutuplarını kontrol ediniz. İvmelendirici gerilimin negatif kutbu K katot soketine alt sağdan bağlanmalıdır. İvmelendirici gerilim, katot ısıtma gerilimi ve zıt gerilim için farklı gerilim kaynakları kullanıyorsanız aletler topraklanmalıdır. Kullandığımız aletler ölçüm yükselticisi üzerinden topraklanmıştır.



**Şekil -4: Franck-Hertz Deneyi Düzeneği ve Bağlantıları**

3. Katot için yaklaşık 90 saniyelik bir ısınma süresi gerekmektedir. Tüpteki yayılma akımı ve dolayısı ile, toplayıcı elektrot akımı, katot sıcaklığından etkilenir. Akım küçükse katot ısıtıcı gerilimi artırılabilir (örn.8 Volta ). Isıtıcı akımı 50 V' luk bir ivmelendirme gerilimi ile  $10^{-10}$  A basamağında toplayıcı elektrot akımı elde edilecek şekilde, bir reosta veya potansiyometre yardımıyla ayarlanmalıdır. Tüp ve katodun sıcaklıkların dengeye geldikten sonra 0 V' tan başlayarak ivmelendirici gerilimi yavaşça belirli adımlarla artırınız. Bu durumda toplayıcı elektrottan anoda akmaya başlayan akım ölçüm yükselticisinde görülebilir. Bu akımın büyüklüğü  $10^{-10}$  A mertebesindedir. Ölçüm yükselticisinin akım duyarlılığı buna uygun ayarlanmalıdır.

4. İvmelendirici gerilimi ve elektrot akımını kaydederek grafiğe geçiriniz. Bu işlemi farklı iki fırın sıcaklığı için tekrarlayınız.

5. Elde edilen eğrilerde gözlediğiniz özellikleri açıklayınız. Toplayıcı elektrot akımı ivmelendirici gerilimin fonksiyonu olarak eş mesafeli maksimum ve minimumlar gösteriyor mu? İlk akım minimumu neden yaklaşık 4.9 V' dan daha yüksek bir gerilimde gözlenmektedir; açıklayınız.

## e / m ORANININ ÖLÇÜMÜ

**Amaç** : Elektronun e / m oranı bulunacaktır.

**Teorik Bilgi** : Bu yöntem J.J. Thomson' un 1897' de kullandığı yöntemle benzerdir.

Elektron demeti bilinen bir potansiyel altında ivmelendirilir, böylece elektronun hızı bilinmiş olur. Bir çift Helmholtz bobini elektron demetine dik yönde düzgün ve ölçülebilir bir manyetik alan üretir. Bu manyetik alan elektron demetini dairesel şekilde saptırır. İvmelendirici potansiyel (V), Helmholtz sarmılarından geçen akım (I) ve elektron demetinin dairesel yolunun yarıçapı (r) ölçülerek e / m oranı kolayca;

$$\frac{e}{m} = \frac{2V}{B^2 r^2}$$

eşitliğinde hesaplanır.

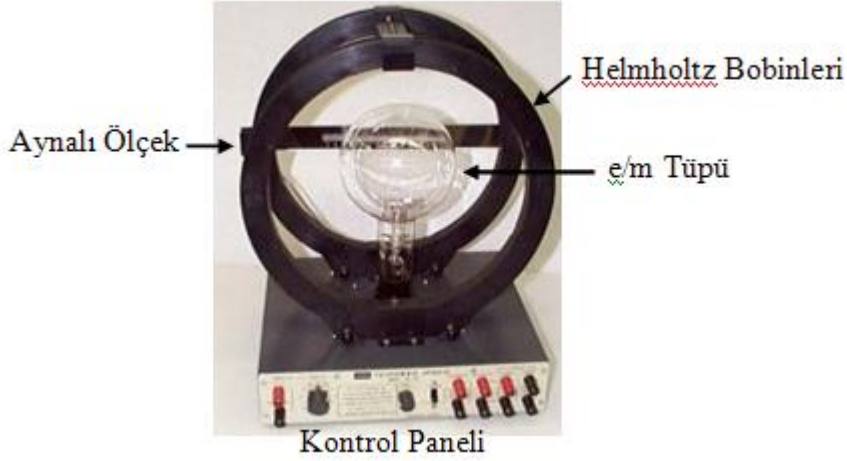
e/m düzeneği, elektrik alanının elektron demeti üzerindeki etkisini göstermek üzere saptırıcı levhalara da sahiptir. Bu elektronun eksi yüke sahip olduğunun doğrulaması olarak kullanılabileceği gibi osiloskobun nasıl çalıştığını göstermek için de uygundur.

B manyetik alanında v hızıyla hareket eden q yüklü bir parçacığa etki eden manyetik kuvvet,  $F_m$ ,

$$\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$$

ile verilir. Deneyde elektron demeti manyetik alana dik olduğundan yukarıdaki denklem skaler şekilde,

$$F_m = e v B$$



**Şekil – 1: e/m Düzenegi**

yazılır. Burada  $e$  elektron yüküdür. Dairesel hareket eden elektronlar, büyüklüğü

$$F_e = m \frac{v^2}{r} \quad (2)$$

olan merkezci bir kuvvetin etkisinde kalırlar. Burada  $m$  elektronun kütlesi ve  $r$  ise dairesel hareketin yarıçapıdır. Elektronları etkileyen kuvvet sadece manyetik alandan kaynaklandığı için

$$F_m = F_e$$

olmalıdır. O halde (1) ve (2)'den

$$\frac{e}{m} = \frac{v}{Br}$$

elde edilir. Yani,  $e/m$  oranını belirlemek için elektronların hızı, Helmholtz bobinlerinin ürettiği manyetik alan şiddeti ve elektron demetinin yarıçapının bilinmesi gerekmektedir.

Elektronlar ivmelendirici  $V$  potansiyeli içinden ivmelendirildiğinde  $eV$  ye eşit bir kinetik enerji kazanırlar. Bu durumda

$$eV = \frac{1}{2}mv^2$$

olduğundan

$$v = \left( \frac{2eV}{m} \right)^{\frac{1}{2}}$$

yazılabilir. Bir çift Helmholtz bobininin eksenine yakın yerde üretilen manyetik alan şiddeti

$$B = \frac{N\mu_0 I}{(5/4)^{3/2} a}$$

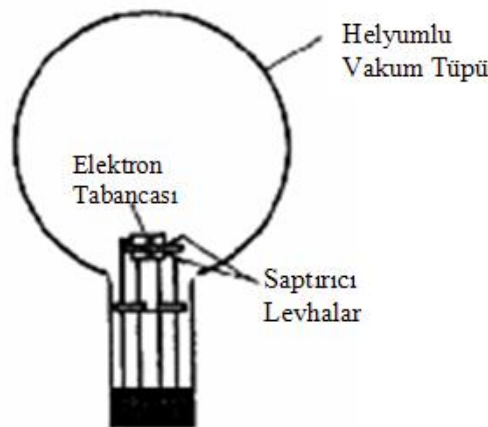
ile verilir. (4) ve (5)'i, (3)'de yerine koyarak e/m oranı için

$$\frac{e}{m} = \frac{v}{Br} = \frac{2V(5/4)^{3/2} a^2}{(N\mu_0 I r)^2}$$

elde edilir. Bu formülde;

- V : ivmelendirme potansiyeli
- a : Helmholtz sarımlarının yarıçapı = 15 cm
- N : her bir sarımdaki sarım sayısı = 130
- $\mu_0$  : geçirgenlik sabiti =  $4\pi \times 10^{-7}$
- I : Helmholtz sarımlarından geçen akım
- r : elektron demetinin yolunun yarıçapı

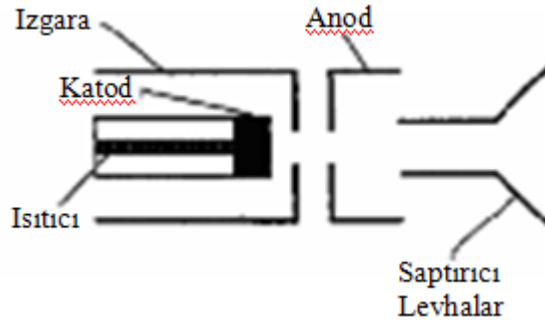
**Elektron Tüpü** : Elektron tüpü, Şekil-2,  $10^{-2}$  mm Hg basınçta helyumla dolu olup bir elektron tabancası ile saptırma levhalarının içerir. Elektron demeti, bazı elektronların helyum atomlarıyla çarpışarak onları uyarmaları ve görünür ışık salmaları sonucunda, tüpte görünür bir iz bırakır.



**Şekil – 2: e/m Tüpü.**

Elektron tabancası Şekil -3' de gösterilmiştir. Isıtıcı, elektron salan katodu ısıtır. Elektronlar, anot ve katot arasında uygulanan potansiyelle ivmelendirilirler. Delikli elektrot

katoda göre pozitif, anoda göre negatif tutulur ve elektron demetinin odaklanmasına yardımcı olur.



**Şekil-3 : Elektron tabancasının şematik görüntüsü**

**Uyarı:** Elektron tabancası ısıtıcı gerilimi 6.3 V' u hiç bir zaman geçmemelidir. Yüksek gerilimler filamanı yakarak e/m tüpünü yok edebilir.

**Helmholtz Bobinleri:** Helmholtz bobinleri, aralarındaki mesafe bobin yarıçapına eşit olacak şekilde yerleştirilmişlerdir ve oldukça düzgün manyetik alan üretirler. Sarımlarının geometrisi, oldukça düzgün manyetik alan üretirler. Bobinlerin ürettiği manyetik alan (B) sarımlardan geçen akım (I) ile  $7.8 \times 10^{-4}$  tesla/ampere' in çarpımıyla orantılıdır  $[B \text{ (tesla)} = (7.8 \times 10^{-4}) I]$ .

**Kontrol Paneli:** e/m düzeneğinin kontrol paneli oldukça sadedir. Bütün bağlantılar işaretlenmiştir.

**Aynalı ölçek:** Aynalı ölçek gerideki Helmholtz bobininin arkasınaıştırılmıştır. Elektron tabancasının ısıtıcısına güç verildiğinde otomatik olarak yanan ışıkla aydınlatılır. Aynalı ölçekteki elektron demetinin izini elektron demetinin izi ile çalıştırarak hatasız şekilde demeti yarıçapı ölçülebilir.

#### **Güç kaynakları :**

Helmholtz bobinleri için 6-9 V DC, 3 A Güç kaynağı

Flaman beslemesi için 6.3 V DC veya V AC.

150-300 V DC ivmelendirici potansiyel

Helmholtz bobinlerinden geçen akımı ölçmek için 0-2 A aralıklı ampermetre

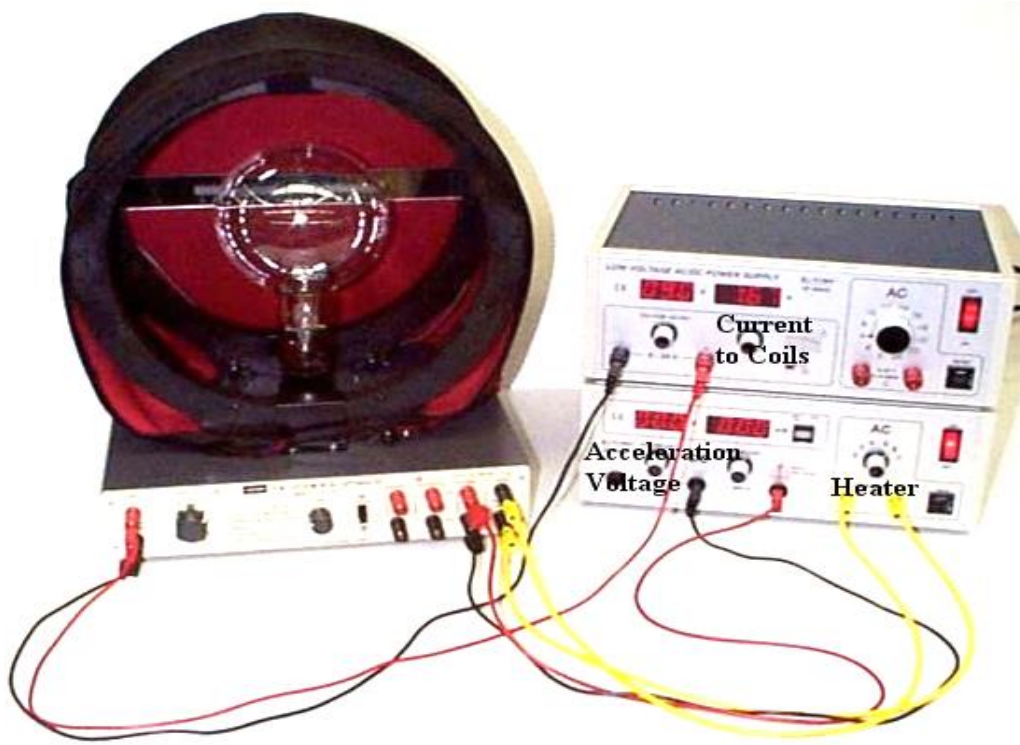
İvmelendirici potansiyeli ölçmek için 0-300 V aralıklı bir voltmetre



## DENEY

### A- e/m Oranının ölçümü:

1. Aydınlik odada çalışıyorsanız e/m düzeneğinin örtüsünü örtünüz.
2. Anahtarı yukarı kaldırarak " e/m ölçüm" konumuna getiriniz.
3. Helmholtz sarımları için akım ayar düğmesini kapalı konumuna getiriniz.
4. Güç kaynakları ve ölçüm cihazlarını Şekil-4' te gösterildiği gibi e/m düzeneğinin ön paneline bağlayınız.
5. Güç kaynaklarını aşağıdaki değerlere ayarlayınız:  
Isıtıcı : 6.3 V AC veya V DC  
Elektrotlar : 150-300 V DC  
Helmholtz Bobinleri : 6-9 V DC (gerilim dalgalanması %1 den az olmalıdır)
6. Helmholtz bobinlerinin akım ayar düğmesini saat yönünde yavaşça döndürünüz. Ampermetreye bakarak akımın 2 A' i aşmamasına dikkat ediniz.



Şekil – 4: e/m deneyinin bağlantıları

7. Katotun ısınması için birkaç dakika bekleyiniz. Katot ısındığında elektron demetinin elektron tüfeğinden çıktığını ve Helmholtz bobinleri tarafından oluşturulan manyetik alan tarafından saptırıldığını göreceksiniz. Elektron demetinin Helmholtz bobinlerine paralel olduğunu

kontrol ediniz. Değilse, paralellik sağlanıncaya kadar tüpü döndürünüz. Tüpü soketinden çıkarmayınız. Tüpü döndürürken soket de döner.

8. Helmholtz bobinlerine giden akımı ampermetreden ve ivmelendirici gerilimi voltmetreden dikkatlice okuyarak aşağıdaki değerleri kaydediniz.

Helmholtz sarımlarına giden akım:  $I = \dots\dots\dots$

İvmelendirici gerilim :  $V = \dots\dots\dots$

9. Elektron demetinin yarıçapını ölçünüz. Tüp içinden elektron demetine bakınız. Hatalardan kaçınmak için başınızı demeti aynalı ölçekte görecektir şekilde elektron demetine göre yönlendiriniz. Ölçeğin her iki tarafından gördüğünüz şekliyle demet yarıçapını ölçerek ortalamasını alınız.

Elektron demetinin yarıçapı:  $r = \dots\dots\dots$

10. Elde edilen değerleri Eş.-6 da yerine koyarak elektronun  $e/m$  oranını hesaplayınız ve bulduğunuz değeri elektronun yük ve kütesinden hareket ederek bulacağınız değeri ile karşılaştırınız.

## **B- Elektronların Elektrik Alanda Sapması**

Elektronların elektrik alanında nasıl saptırıldığını göstermek için saptırıcı levhaları kullanabilirsiniz.

1. Deney düzeneğini  $e/m$  deneyindeki gibi kurarak aşağıdaki değişiklikleri yapınız.
  - a. Anahtarı "elektiriksel sapma" konumuna çeviriniz,
  - b. Helmholtz bobinlerine akım vermeyiniz,
  - c. Saptırıcı plakalar olarak işaretlenen fişler arasına 0-24 V DC bir güç kaynağını bağlayınız.
2. Isıtıcıya 6.0 V DC/V AC ve elektron tabancasının elektronlarına 150-300 V DC (ivmelendirici potansiyel) uygulayın. Katodun ısınması için birkaç dakika bekleyin. Elektron demeti gözüküyorsa saptırıcı levhalardaki gerilimi 0 V' tan başlayarak 24 V DC' ye yavaşça arttırın. Elektron demetinin pozitif levhaya doğru büküldüğüne dikkat edin.

### C- İki Basit Gösteri

1. Elektron demetini bükmek için Helmholtz bobinleri kullanmak yerine, manyetik alanın elektron demeti üzerindeki etkisini göstermek için, doğal bir mıknatıs kullanabilirsiniz.  $e/m$  düzeneğine aşağıdaki gerilimleri uygulayınız.

Isıtıcı : 6.0 V AC veya V DC

Elektron tabancasının elektrotları : 150-300 V DC

Elektron demeti gözüktüğünde demeti bükmek için mıknatısınızı kullanın.

2. Elektron tüpünde soket, tüpün  $90^0$  dönebileceği şekilde tasarımlanmıştır. Dolayısı ile tüp, Helmholtz bobinlerinde oluşturulan manyetik alanla  $0-90^0$  arasında herhangi bir açı yapacak şekilde yönlendirilebilir.  $e/m$  oranının ölçümünde kullanılan deney düzeneğini tüpü döndürebilir ve demet sapmasının nasıl etkilendiğini inceleyebilirsiniz.

## IŞIĞIN KUANTUM MODELİ VE h PLANCK SABİTİ'NİN BULUNMASI

**Amaç** : Fotoelektrik olayı ve ışığın kuantum olayı incelenecektir.

**Teorik Bilgi** : Işğın yansıması ve soğurulması Alman fizikçi Max Planck tarafından araştırılan ilk konulardan birisi olmuştur. Planck, yayılan ışğın spektral dağılımını klasik dalga modeline dayalı olarak açıklamaya çalıştığında büyük bir güçlüklerle karşılaşmıştı. Klasik kuramın Rayleigh-Jeans yasası, siyah bir cisimden yayılan ışık miktarının dalga boyu azaldıkça büyük miktarda arttığını ön görmesine rağmen deney bunun sifıra yaklaştığını göstermiştir. Bu farklılık mor-ötesi felaket olarak bilinmektedir.

Sıcak ve parlak bir cismin ışıması için deneysel veriler, yayılan ışğın maksimum yoğunluğunun klasik olarak ön görülen değerlerden (Wien yasası) başladığını göstermektedir. Kuramı laboratuvar sonuçlarıyla uyumlu hale getirmek amacıyla Planck ışık için kuantum modeli adı verilen yeni bir model geliştirdi. Bu modelde ışık küçük, ayrık parçacıklar veya kuantalar şeklinde yayılır.

Bu yasada Planck, bir salıncı veya benzer herhangi bir fiziksel sistemin olası enerji değerleri veya düzeylerinin kesikli bir kümesine sahip olduğunu, bu değerler arasında enerjinin hiç bir değer alamayacağını vurgulamıştır. Planck ayrıca, ışmanın yayılması ve soğurulmasının iki enerji düzeyi arasındaki geçişler veya atlamalarla ilişkili olduğunu belirtmiştir. Salıncı tarafından kaybedilen veya kazanılan enerji, ışıma yapan enerjinin bir kuantumu olarak yayılır veya soğurulur.

Bu enerjinin büyüklüğü

$$E = h \nu$$

eşitliğiyle ifade edilir. Burada E ışıma enerjisi,  $\nu$  ışmanın frekansı ve h Planck sabitidir. Planck sabiti h, ışğın frekans ve enerjisini birbirine bağlamasının ötesinde kuantum mekaniksel düşüncenin köşe taşıdır. Işğın kuantum kuramını ortaya koymasından dolayı Planck 1918 yılında Nobel ödölünü kazanmıştır.

Fotoelektrik olayında ışık maddeye çarparak elektronların kopmasına neden olur. Klasik dalga modeli gelen ışğın şiddeti arttırıldıkça genliğinin ve dolayısıyla enerjisinin artacağını ön görmektedir. Yani klasik model ışık şiddeti arttıkça fotoelektronların enerjisinin artacağını ön görmektedir. Buna karşılık kuantum modeli, enerjinin ışğın şiddetiyle değil frekansıyla ilişkili

olduğunu, şiddetin sadece çıkan fotoelektronların sayısını, yani fotoelektrik akımını arttıracakını ön görmektedir. 1900' lü yılların başında bazı araştırmacılar fotoelektronların kinetik enerjisinin ışığın şiddetinden bağımsız olarak dalgaboyu veya frekansa bağlı olduğunu buna karşılık fotoelektrik akımının büyüklüğünün veya elektron sayısının kuantum modelce öngörüldüğü gibi ışık şiddetine bağlı olduğunu belirlediler. Einstein, Planck' ın kuantum düşüncesini kullanarak fotoelektrik olayını açıkladı ve bu çalışmalardan dolayı Einstein 1921' de Nobel ödülünü kazanmıştır. Einstein'e göre, foton olarak isimlendirilen ışık kuantasının E enerjisi,

$$E = h\nu = K_{e_{max}} + W_0$$

şeklinde yazılabilmektedir. Burada  $K_{e_{max}}$  yayılan fotoelektronların maksimum kinetik enerjisi,  $W_0$  ise iş fonksiyonu olarak bilinip, elektronları maddenin yüzeyinden sökerek boşluğa çıkarmak için gerekli enerjidir.

Enerjisi  $h\nu$  olan bir foton, içi boşaltılmış tüp içerisindeki katot üzerine düşürülürse; elektron, katottan kurtulmak için enerjisinin  $W_0$  kadarını kullanır ve katotu  $K_{e_{max}}$  kinetik enerjisi ile terk eder. Normal olarak yayınlanan elektronlar tüpün anotuna ulaşırlar ve fotoelektrik akımı olarak ölçülebilir. Buna karşın anot ve katot arasına ters bir V potansiyeli uygulanarak fotoelektrik akım durdurulabilir.  $K_{e_{max}}$ , fotoelektronları durdurabilmek için gereken minimum zıt potansiyeli ölçülerek belirlenebilir. Kinetik enerji durdurma potansiyeli ile eşitlenirse

$$K_{e_{max}} = eV$$

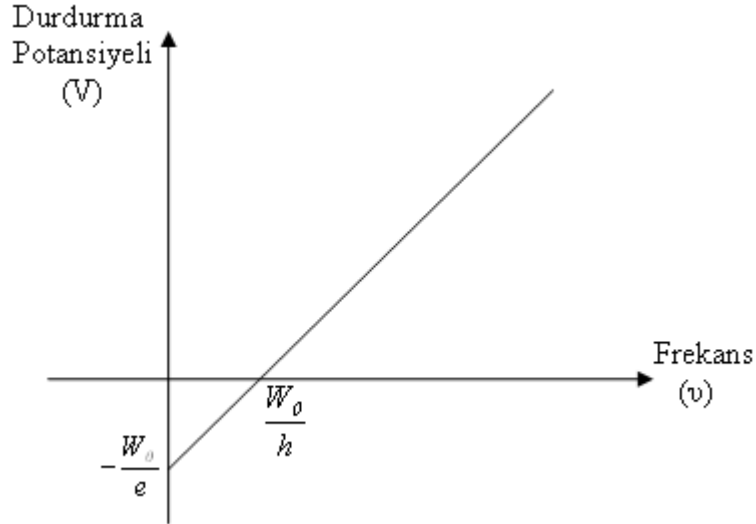
denklemini elde edilir. Einstein denklemi olan

$$h\nu = eV + W_0$$

kullanılırsa V için

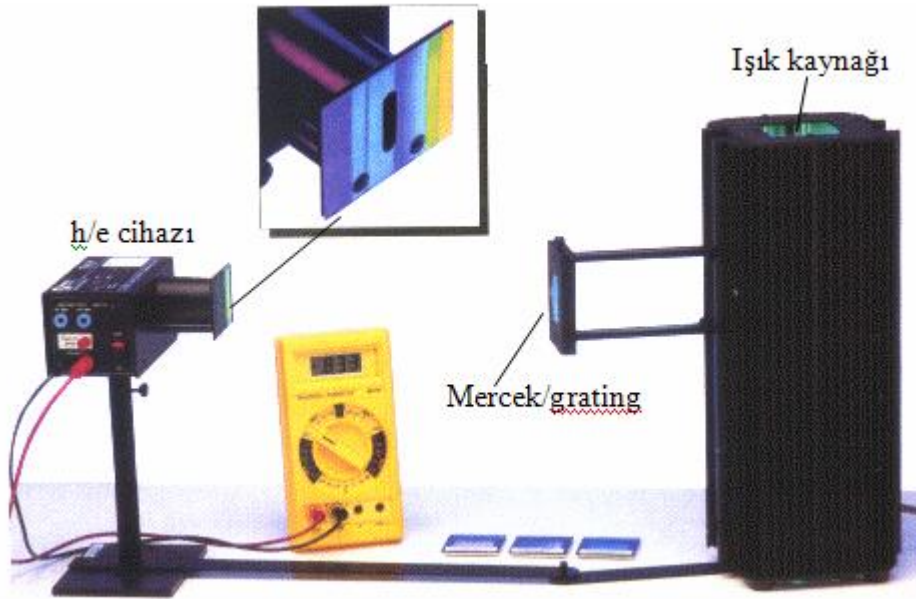
$$V = \frac{h}{e}\nu - \frac{W_0}{e}$$

denklemini bulunur. Durdurma potansiyeli frekansa göre çizilirse Şekil - 1' deki grafik elde edilir. Bu grafiğin eksenini kestiği nokta  $W_0/e$ ' dir ve eğimide  $h/e$ ' dir.  $h/e$  oranının bulunan değeri ile  $e=1.602 \times 10^{-19}$  Coulomb değeri kullanılarak oluşturulursa  $h$  Planck sabiti belirlenebilir.

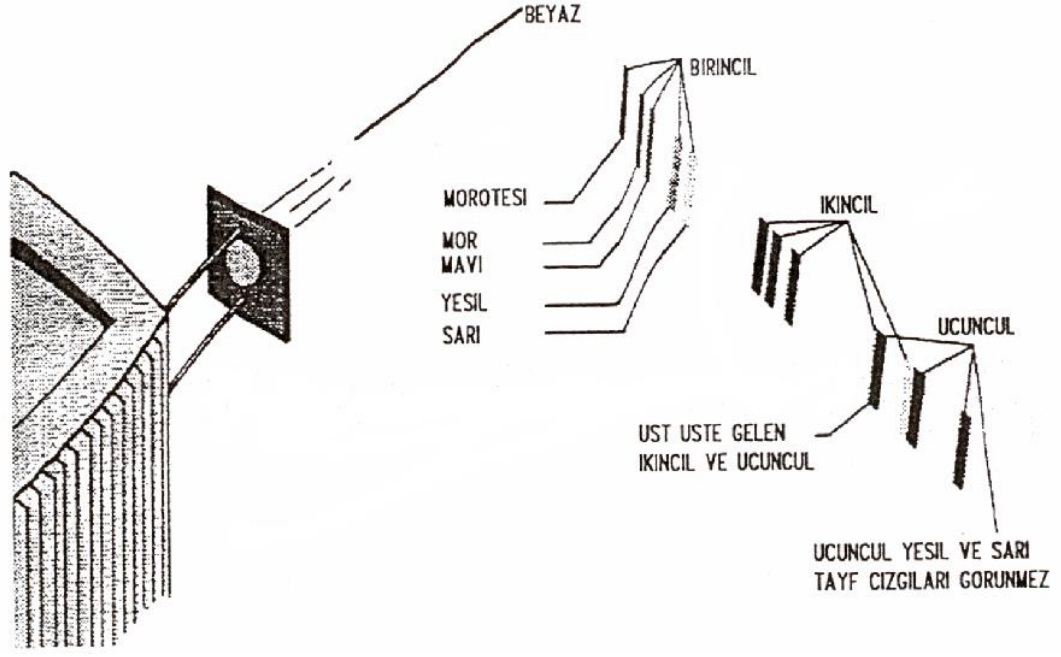


**Şekil – 1: Durdurma potansiyelinin frekans ile değişimi**

$h/e$  deneyleri için standart düzenek Şekil- 2 'de gösterilmiştir. ( $h/e$  düzeneğinin çıkışına (output) dijital bir voltmetre bağlayın. Voltmetrede 2 V veya 20 V skalasını seçiniz.)



**Şekil - 2 : Civa buharlı ışık kaynağı ve  $h/e$  düzeneği kullanılarak yapılan deneysel düzenek**



**Şekil 3: Işık değişiminin üç basamağı**

### **Filtrelerin Kullanımı**

h/e düzeneği üç filtre içerir. Bunlar, yeşil, sarı ve değişken geçirim filtresidir. Filtre çerçeveleri manyetik şeritlere sahiptir ve h/e düzeneğinin "beyaz yansıtıcı maskesinin" dış kenarına yerleştirilebilir.

Yeşil ve sarı spektrum çizgileri için yeşil ve sarı filtreleri kullanınız. Bu filtreler yüksek frekanslı ışığın, h/e düzeneğine girmesini sınırlar ve ortamdaki oda ışığının, düşük enerjili sarı ve yeşil ışıkla girişim yaparak sonuçların sapmasını önler. Ayrıca sarı ve yeşilin düşük basamaklarıyla örtüşebilen yüksek basamaktan spektrumlarından gelen yüksek frekanslı mor ötesi ışığı da tutar.

### **DENEY**

#### **A- IŞIĞIN DALGA MODELİ - KUANTUM MODELİ**

Foton kuramına göre fotoelektronların maksimum kinetik enerjisi  $K_{e_{max}}$ , sadece gelen ışığın frekansına bağlı olup şiddetine bağlı değildir. Buna karşılık, ışığın klasik dalga modeli

$K_{e_{max}}$  ' ın ışık şiddetine bağlı olduğunu öngörür. Diğer bir deyişle, ışık parlaklaştıkça fotoelektronların enerjisinin artması gerekir.

Deneyde yukarıda özetlenen iki durum incelenmektedir. İlk kısımda civa buharı ışık kaynağından iki spektrum çizgisi seçilmekte ve ışık şiddetinin fonksiyonu olarak fotoelektronların maksimum enerjisi incelenmektedir. Deney düzeneği Şekil-2' ye göre kurunuz. Civa buharlı ışık kaynağından gelen ışığı h/e düzeneğindeki beyaz yansıtıcı maskede bulunan açıklık üzerine odaklayınız. Cihazın içindeki beyaz fotodiyot maskesi görülebilecek şekilde ışık kalkanını oynatınız. Açıklığın en keskin görüntüsü fotodiyot maskesindeki delik üzerinde elde edilinceye dek "mercek / kırınım filtresi" düzeneğini destek çubukları üzerinde ileri-geri hareket ettiriniz. "Mercek / kırınım filtresi" ni vidayı sıkıştırarak sabitleyiniz. Işık ekranının açıklığı üzerine düşen aynı renkli ışığın örtüşme yapmayacak şekilde fotodiyot maskesindeki pencere üzerine de düşmesi için h/e düzeneğini destek çubuğu üzerinde döndürünüz. Işık kalkanını kapalı duruma getiriniz.

Dijital voltmetrorenin uçlarının yönünü kontrol edin ve h/e düzeneğindeki aynı kutuplu OUTPUT ( çıkış ) terminaline bağlayınız.

## Bölüm A

1. h/e düzeneğini, spektral renklerin sadece birisi fotodiyotun maksimum açıklığına düşecek şekilde ayarlayınız. Yeşil veya sarı spektrum çizgileri için uygun fitreyi yerleştiriniz.
2. Işık, % 100 olarak işaretlenen kesim içinden geçecek ve fotodiyoda ulaşacak şekilde değişken geçirimli filtre, beyaz yansıtıcı maskenin önüne (ve eğer kullanılıyorsa renkli filtrenin üstüne) yerleştirilmelidir. Aşağıda tabloya gerilim değerlerini kaydediniz. Aletin boşaltım düğmesine basıp bırakarak aleti maksimum gerilime yeniden yüklemek için yaklaşık zamanı gözleyiniz.

1. Renk	% Geçirim	Durdurma Gerilimi (V)	Yaklaşık Yükleme Zamanı
	100		
	80		
	60		
	40		
	20		



2. Renk	% Geçirim	Durdurma Gerilimi (V)	Yaklaşık Yükleme Zamanı
	100		
	80		
	60		
	40		
	20		

- Değişken geçirimli filtreyi hareket ettiriniz. Yeni gerilim değerini ve zamanını kaydediniz.
- Filtrenin beş kısmının her biri için 3 den sonrakileri tekrarlayınız.
- Spektrumda ikinci bir renk seçerek işlemi tekrarlayınız.

## Bölüm B

- Cıva buharı spektrumundaki beş rengi kolayca görebilirsiniz. Sarı renkli bantların sadece birisi fotodiyodun maskesinin açıklığı üzerine düşecek şekilde h/e düzeneğini ayarlayınız. Sarı renkli filtreyi h/e düzeneği üzerindeki beyaz yansıtıcı maske üzerine yerleştiriniz.
- Durdurma potansiyelini aşağıdaki tabloya kaydediniz.
- Spektrumdaki her renk için işlemi tekrarlayınız.Yeşil spektrum kullanırken mutlak filtre kullanınız.

Işık Rengi	Durdurma Potansiyeli (V)
Sarı	
Yeşil	
Mavi	
Mor	
Mor-ötesi	

## SONUÇ

- Değişken geçirim filtresinden geçen aynı renkli ışığın farklı şiddetlerinin durdurma potansiyeli ve fotoelektronların maksimum enerjisi üzerindeki etkisini ve boşaltım düğmesine bastıktan sonra yükleme zamanı üzerindeki etkisini açıklayınız.
- Farklı renkteki ışığın durdurma potansiyeli ve fotoelektronların maksimum enerjisi üzerindeki etkisini açıklayınız.

3. Sonuçlarınıza bakarak bu deneyin ışığın dalga kuantum modelini destekleyip desteklemediğini açıklayınız.
4. Işığın şiddeti azaldığında ölçülebilen durdurma potansiyelinde niçin hafif bir düşme gözlemlendiğini açıklayınız.

### B - ENERJİ, DALGABOYU VE FREKANS ARASINDAKİ İLİŞKİ

Işığın kuantum modeline göre ışığın enerjisi frekansı ile doğru orantılıdır. Böylece, frekansı arttıkça enerjide artar. Bu deneyde, cıvadan farklı spektrum çizgileri seçilerek ışığın dalga boyu ve frekansının fonksiyonu olarak fotoelektronların maksimum enerjileri incelenecektir.

1. Cıva ışık spektrumunda, iki farklı şiddette beş renk görülür. En şiddetlilerinden sadece bir rengin fotodiyot maskesinin açıklığına düşmesi için h/e düzeneğini dikkatlice ayarlayınız.
2. En şiddetlilerinden her bir renk için durdurma gerilimini ölçünüz ve sonuçları kaydediniz. Sarı ve yeşil spektrum çizgilerini ölçtüğünüzde h/e düzeneğinin, yansıtıcı maskesi üzerindeki sarı ve yeşil süzgeçleri kullanınız.
3. Zayıf şiddetteki beş rengi seçerek işlemi yapınız ve sonuçları aşağıdaki tabloya kaydediniz.

Şiddetli Renkler	Dalga Boyu (nm)	Frekans ( $\times 10^{14}$ ) Hz	Durdurma Potansiyeli (Volt)
Sarı			
Yeşil			
Mavi			
Mor			
Mor-ötesi			
Zayıf Renkler	Dalga Boyu (nm)	Frekans ( $\times 10^{14}$ ) Hz	Durdurma Potansiyeli (Volt)
Sarı			
Yeşil			
Mavi			
Mor			
Mor-ötesi			

## SONUÇ

1. Her bir spektrum çizgisinin dalga boyunu ve frekansını belirleyiniz. Durdurma potansiyeli - frekans grafiğini çiziniz.
2. Grafiğin eğimini ve y-ksenini kesim noktası belirleyiniz. Sonuçları  $h/e$  ve  $W_0/e$  oranına göre yorumlayınız.  $h$  ve  $W_0$  'ı hesaplayınız.
3. Tartışmanızda sonuçları ışığın kuantum modeline göre yorumlayınız.

## SPEKTRUM

**Amaç** : Bu deneyde, çeşitli atom ve moleküller için kırınım filtresi ile prizmadan elde edilen spektrumlar incelenecek ve kırınım filtre sabiti ile minimum sapma açısı hesaplanacaktır.

**Teorik Bilgi** : Bir ışık ışını prizma veya kırınım filtresinden geçerken bükülür. Eğer ışık birden fazla renkten oluşmuş ise, bir spektrum oluşturur. Çünkü farklı renkler farklı açılar ile kırılır veya kırınımına uğrar. Kırınım, keskin kenar veya köşelerden dalgaların sapması, bükülmesidir. Kırınım için kullanılan filtre yarıkları kırınımına neden olur ve kırınımına uğrayan ışık girişim örnekleri oluşturur. Eğilen ışığın her bir rengine denk gelen açının ölçülmesi gerekir. Maddenin yayılan bir ışıktan elde edilen spektrum, o madde hakkındaki bilgileri taşır ve bu, maddenin bir anlamda parmak izidir. Görünür spektrumun tüm renklerini içeren beyaz ışık, soğuk bir gazdan geçerken soğurma spektrumu oluşturur. Görünür spektrumun bütün renkleri, gaz tarafından soğurulan renkler hariç, hepsi görülebilir.

Bir elektron bulunduğu atom içinde uyarılmış bir enerji seviyesinden ( $E_1$ ), temel enerji seviyesine ( $E_0$ ) geçerken foton yayar ve bu fotonun enerjisi,

$$h\nu = E_1 - E_0 \text{ 'dır.}$$

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js} \quad (\text{Planck Sabiti})$$

$$\nu = \text{foton frekansı}$$

Dalgaların tam girişimi, faz veya dalgaların aldığı yol farkı bir tek dalga boyuna eşit olduğu zaman oluşmaktadır. Birinci mertebeden maksimum

$$d \cdot \sin\theta_1 = \lambda \quad (n=1) \text{ için oluşur.}$$

$$d = \text{filtre yarıkları arasındaki mesafe veya filtre sabiti}$$

$$\theta = \text{gelen ışın yönünden ölçülen kırınım açısı}$$

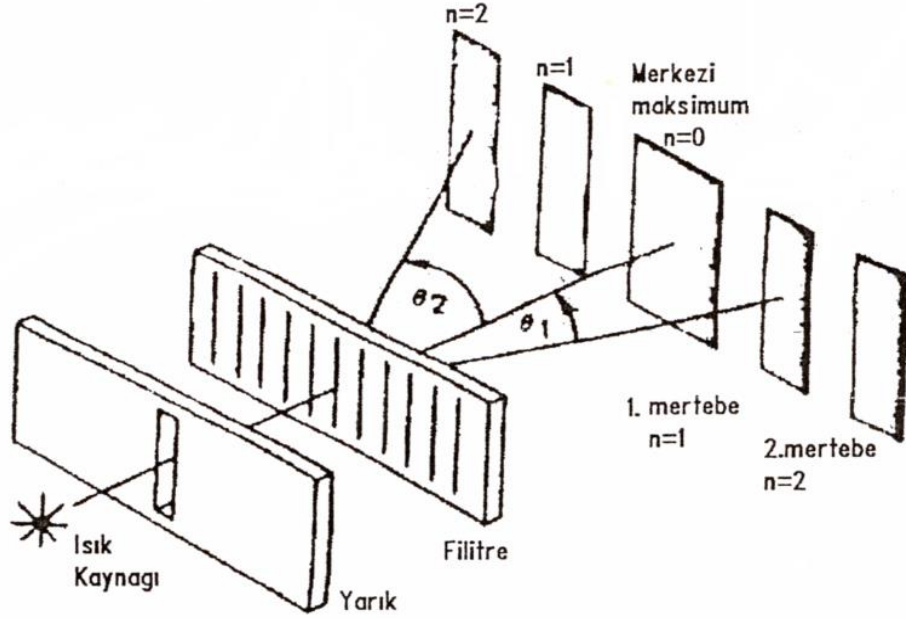
$$d \cdot \sin\theta_1 = \text{birbirine yakın ışınlar arasındaki yol farkı}$$

Filtre sabiti,  $d = 1/N$  dir.  $N$  = filtrenin birim uzunluğundaki yarık sayısıdır.

İkinci mertebeden maksimum  $d \cdot \sin\theta_2 = 2\lambda$  ( $n=2$ ) için oluşur. Genel olarak ise;

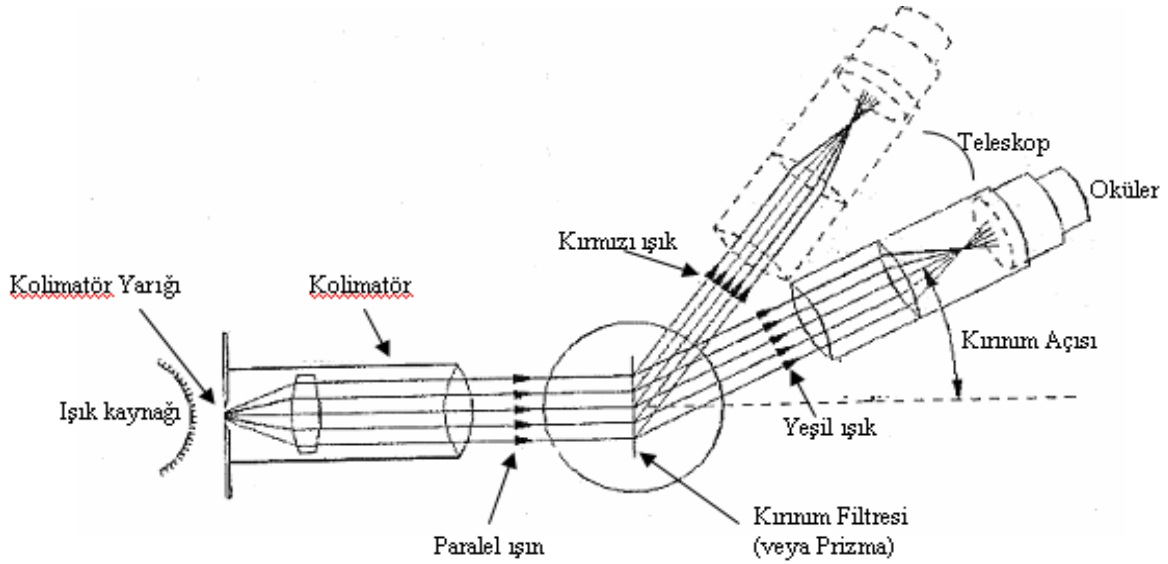
$d \cdot \sin \theta_n = n\lambda$  yazılabilir.  $n$ , görüntü maksimumunun mertebesidir.

Girişim, sapmayan ve kırınıma uğramayan merkez maksimumundaki yarık görüntüsünün ( $n=0$ ) her iki yanında da simetriktir. Simetrik görüntü mertebeleri arasındaki açı  $2\theta_n$  dir.(Şekil-1). Uygulamada sadece ilk birkaç mertebe kolaylıkla gözlenebilir. Mertebe numarası filtre sabitine bağlıdır.



**Şekil – 1: Kırınım ve Girişim desenleri**

Eğer gelen ışık beyaz (monokromatik) ışıktan farklı ise, her mertebe bir spektruma denk gelir. Yani filtre, ışığı bir spektrum içinde dağıtır. 'd' sabit iken, her dalga boyu (renk) az bir açı farkı ile sapar. Böylece dalga boyları bir spektrum içinde ayrılırlar. Her bir kırınım mertebesi bu durumda bir spektrum mertebesine karşılık gelir.



**Şekil- 2: Spektrometre**

### **Spektrometre :**

Spektrometre 3 temel bölümden oluşur. Kolimatör, kırınım elemanları ve teleskop.

Birçok durumda, maddelerin ışık yaymaları için sıcak olmaları gerekirken, spektrometre soğuk maddeleri incelemek içinde kullanılır. Bundan dolayı, atomların yapısının incelenmesinde kullanılan yararlı bir alettir. (Kimyacılar molekülleri oluşturan; Astronomlar ise yıldızları meydana getiren farklı atomları belirlemede kullanırlar.)

Kolimatör merceğinin odak noktasında bulunan dar bir yarıktan geçen ışık, kolimatörden sonra ince paralel bir ışık demeti halini alır. Bu ışık ışınlarından oluşan demetin hepsi kırınım filtresine aynı gelme açısı ile çarpar. Bu net bir görüntü için gereklidir.

Kırınım filtresi, çok sayıda paralel yarıktan oluşan cam veya metal filtredir. Bu, ışık ışınlarını bükür. Eğer bu ışık farklı birçok renkten oluşmuş ise, her bir renk farklı açılarla kırınıma uğrar. Kırınıma uğrayan bu ışınların hassas açı ölçümleri, dönen ve bir araya toplayan teleskopla yapılır. Teleskopun belirli bir renkteki ışığı toplamak için bir açıda konumlandırılması ve sonsuzda odaklanması ile kolimatör yarığının tam bir görüntüsü görülebilir. Örneğin; teleskop herhangi bir açıda döndürüldüğünde, gözlemci yarığın kırmızı bir görüntüsünü, başka bir açıda yeşil görüntüsünü görebilir. Teleskopun döndürülmesi ile her bir renge denk gelen yarığın görüntüsü ve her görüntünün kırınım açısı gözlenebilir. Eğer kırınım yapan elemanın özellikleri bilinirse, bu ölçülen açılar ışıkta bulunan dalga boylarını belirlemek için kullanılabilir.

**Not 1:**

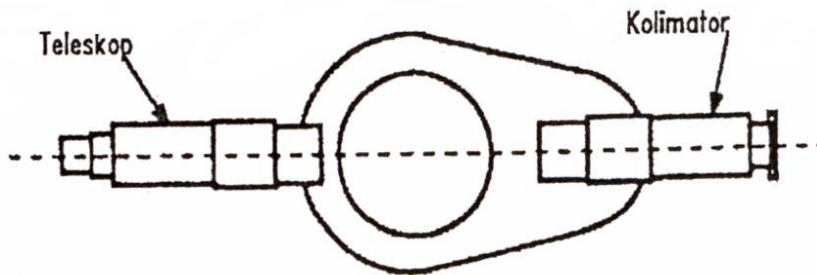
- Kırınım filtresi 300 yarık/ mm.

**Kullanılan Spektrometrenin Özellikleri:**

- Kolimatör ve teleskop odak uzunlukları 178 mm.
- Mercek çapı 32 mm
- Kolimatörün ayarlanabilir yarık genişliği 6 mm

**Spektrometre Ayarı :**

1. Kırınım filtresi, teleskop ve kolimatörün optik eksenini aynı doğrultuda olmalıdır.
2. Teleskoptan bakarken, çapraz eksen çizgileri netleşene kadar oküleri (göz yeri) içeri ve dışarı doğru kaydırın. Filtre kilit halkasını gevşetin ve çapraz eksen çizgilerinden birisi dik oluncaya kadar çevirin. Halkayı tekrar sıkın ve gerekiyorsa tekrar odaklayın.
3. Teleskobu sonsuzda odaklayın. Bu, uzaktaki bir cisme odaklayarak yapılabilir.
4. Kolimatör yarığının belli oranda açık olmasını kontrol ediniz. (yarık genişliği ayar düğmesini kullanarak)



**Şekil – 3 : Teleskop ve kolimatör**

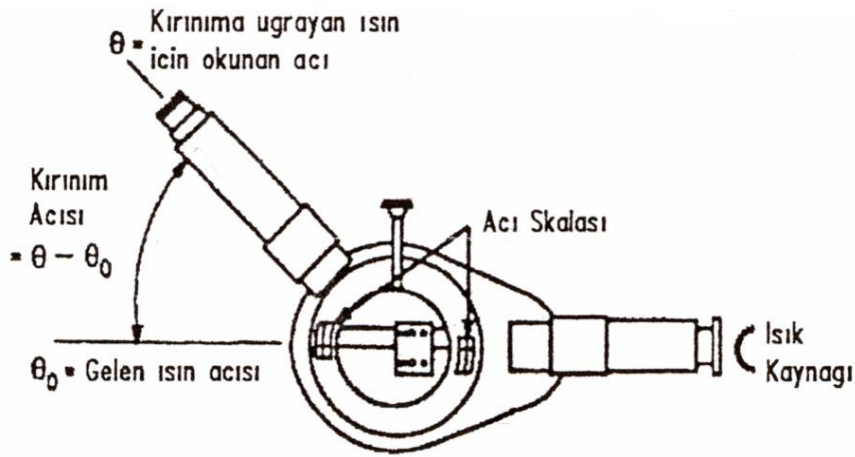
5. Şekil-3 deki gibi teleskop ve kolimatör doğrultusunu bir birine zıt yönde ayarlayın.
6. Teleskoptan bakarken, kolimatör odağını ayarlayın ve eğer gerekiyorsa yarık net olarak odaklanana kadar teleskopu döndürün (teleskopun odağı asla değiştirilmemelidir.)
7. Teleskopun dönme kilit vidasını sıkıştırın.
8. Yarığın sabit kenarı ile eksenin (ağın) dik çizgisini aynı doğrultuda tutmak için ince ayar düğmesini kullanın. Eğer yarık dik değilse, eksen kilit halkasını gevşetin ve eksenin doğrultusunu tekrar ayarlayın, sonra sıkıştırın.
9. Net ve parlak bir görüntü için yarık genişliğini ayarlayın. (Kırınım açısının ölçümleri, yarığın sabit kenarı boyunca uzanan eksen çizgisi ile yapılır. Bu yüzden, çok dar bir yarık avantaj sağlamayabilir.)

**Not 2:**

Teleskop ve kolimatör aynı doğrultuda ve odaklanmış olduğu zaman, teleskopun görüş alanının merkezinde, yarığın net olarak odaklanması gerekir. Çapraz eksen dik ve yarığın sabit kenarı ile aynı doğrultuda olmalıdır.

**DENEY****A) Kırınım açısının ölçülmesi :**

Kırınım açısı, açı skalası kullanılarak ölçülür. Buna rağmen, skala sadece teleskobun relatif (görelî) dönme konumunu ölçer. Onun için ölçüm yapmadan önce, sapmayan (doğrultusunu değiştirmeyen) ışın için açı skalasını ayarlamak gerekir. Kırınım açılarının tamamı, bu ilk okumaya göre yapılmalıdır. (Şekil-4)



**Şekil – 4: Kırınım açısı**

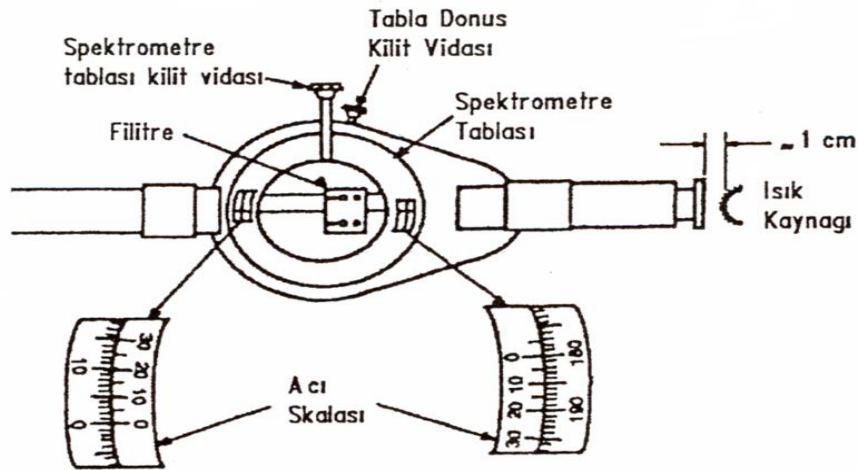
Sapmadan gelen ışık için açı okumak; sapmayan ışığın oluşturduğu yarık görüntüsünün sabit kenar ile dik çapraz eksenin aynı doğrultuya getirilmesini gerektirir. Okunan açı ( $\theta_0$ ) sıfır noktası olarak alınır.

Sapan ışık görüntüsünün sabit kenarı ile dik çapraz eksenin aynı doğrultuda olması için teleskobu döndürün. Tekrar açı okuyun. Bu ikinci okunan açı ( $\theta$ ) ile ilk açı ( $\theta_0$ ) arasındaki fark ( $\theta - \theta_0$ ) gerçek kırınım açısıdır.



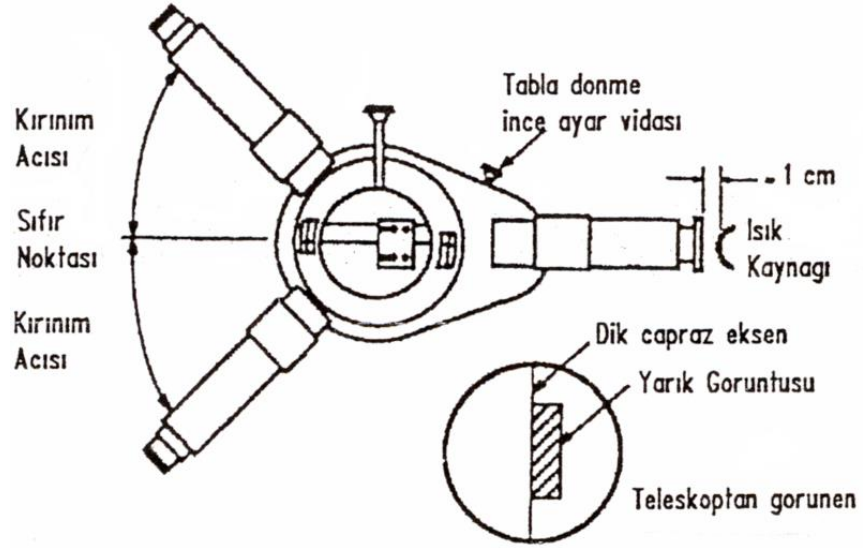
## B) Kırınım filtresi ve sabiti:

Kırınım açılarının temelindeki dalga boylarını doğru olarak hesaplamak için, filtre kolimatörlerden gelen ışık demetine dik olmalıdır. Teleskop ,net odaklanmış yarık ile kolimatöre zıt doğrultuda ve dik çapraz eksen ile aynı doğrultuda olmalıdır (Şekil-5).



Şekil – 5: Açılar okunması

1. Spektrometre tablasının kilitlenme vidasını gevşetin. Tabla üzerinde bulunan çizgiyi, teleskop ve kolimatörün optik eksenine ile çakıştırın. Vidayı tekrar sıkıştırın.
2. Kanatlı vidaları kullanarak, filtre çerçevesini tabla üzerindeki çizgilere dik olacak şekilde tutturun.
3. Çerçevenin mandalı arasına kırınım filtresini sokun. Filtrenin doğrultusunu kontrol etmek için, bir ışık kaynağında filtreyi gözden geçirin ve filtrenin ışığı nasıl değişik renk bileşenlerine ayırdığını gözleyin. Filtre çerçeve içine yerleştirildiğinde, gelen ışığı renklerine yatay olarak ayırır. Bu yüzden teleskop doğrultusu, yarığın farklı renkteki görüntülerini görmemizi sağlar.
4. Işık kaynağını yarıktan yaklaşık olarak 1 cm uzağa yerleştirin. Yarığın genişliğini, görüntüsünü net ve parlak olacak şekilde ayarlayın.
5. Parlak bir yarık görüntüsü bulana kadar teleskobu döndürün. Görüntüsünün sabit kenarı ile dik çapraz eksenin doğrultusunu ayarlayın ve kırınım açısını ölçün.(Şekil-6)



**Şekil – 6: Kırınım açısı**

6. Kırınım filtresi gelen ışığı her iki tarafta da aynı spektrum oluşturacak şekilde kırınımına uğratar. Teleskobu diğer tarafa çevirin ve diğer yarık görüntüsünü bulun. Bu görüntü içinde kırınım açısını ölçün.
7. Eğer filtreyi iyi yerleştirilirse, kırınım açıları her iki taraf içinde aynı olmalıdır. Değilse, tabla ince ayar düğmesi ile oluşan fark eşitlenebilir. ( yani, filtreyi kolimatörden gelen ışık demetine dik konuma getirin.)

Dalgaboyları aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

$$\lambda = \frac{d \sin \theta}{n}$$

d: Kırınım filtresindeki ince yarıklar arasındaki mesafe

(300 yarık / mm  $3.3 \times 10^{-3}$  mm)

(600 yarık / mm  $1.66 \times 10^{-3}$  mm)

$\theta$  : Kırınım açısı

n: Gözlenen kırınım spektrumunun mertebesi.

8. Herhangi bir madde için net olarak görülen bütün görünür spektrum çizgilerinin konumunu gözlemleyin ve kaydedin.

9. İlk maksimumların her iki tarafta da yerini ölçün. Verilerden yararlanarak ( $\sin \theta'$  ya karşılık  $\lambda$ ) ayarlama grafiğini çiziniz. Bu grafik, birinci mertebeden ( $n=1$ ) kırınım spektrometresinin ayarlama eğrisini verir. Buradan filtre sabitini bulunuz.
10. Kolimatör önüne herhangi bir atomun lambasını koyun. En yoğun spektrum çizgilerinin konumunu kaydedin. Ayarlama grafiğini kullanarak, seçilen atomun görünür spektrum çizgilerinin dalgalıboylarını bulunuz. Bu verileri gerçek spektrum değeri ile karşılaştırınız.

### C) Prizma ile spektrum:

Prizma, spektrometrede kırınım elemanı olarak kullanılabilir. Çünkü prizmanın kırılma indisi (ışığın kırılma açısı da) ışığın dalgalıboyuyla bağılı olarak az miktarda değışir.

Bir prizma, ışığı tek bir spektruma ayırırken; filtre birkaç spektruma ayırabilir. Bundan dolayı, prizma kullanılarak oluşturulan yarı kırılıntısı genelde bir filtreden elde edilen kırılıntıdan daha parlaktır. Filtre ile çok sönük olarak görülen spektrum çizgileri, prizma ile daha parlak görülebilir. Spektrum çizgilerinin parlaklığındaki artış, çizgi ayrışımındaki azalma ile dengelenebilir. Çünkü prizma, bir filtrenin etkin şekilde ayırt ettiğı kadar spektrum çizgilerini ayırt edemez.

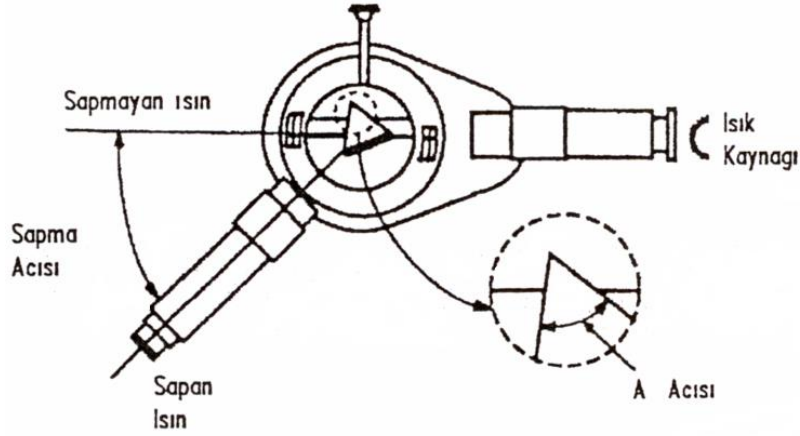
Buna rağmen azalan ayrışma özelliğini kısmen dengeleyen parlak çizgiler dar bir yarı kırılıntı genişliği kullanılmasına izin verir.

Kırılma açısı ışığın dalgalıboyu ile doğru orantılı değildir. Prizma kullanılarak dalgalıboyu ölçmek için, bilinen bir spektrum ile ışık kaynağı kullanılarak dalgalıboyuyla karşılık gelen kırılma açısı grafiğı çizilebilir. Bilinmeyen spektrum çizgilerinin dalgalıboyları ise bu grafikten bulunabilir. (bu grafik sadece prizma ile yapılan ölçümlerde kullanılmalıdır.)

### D) Minimum sapma açısı:

Prizmadan geçen ışık sapma açısı Şekil- 7 de gösterilmiştir.

Verilen bir prizmadan geçen ışığın dalgalıboyu için sapma açısının minimum olduğu bir karakteristik gelme açısı vardır. Bu açı sadece prizmanın kırılma indisine ve prizmanın iki kenar arasındaki açıya bağılıdır. Bu ilişki aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir:



**Şekil – 7: Sapma açısı**

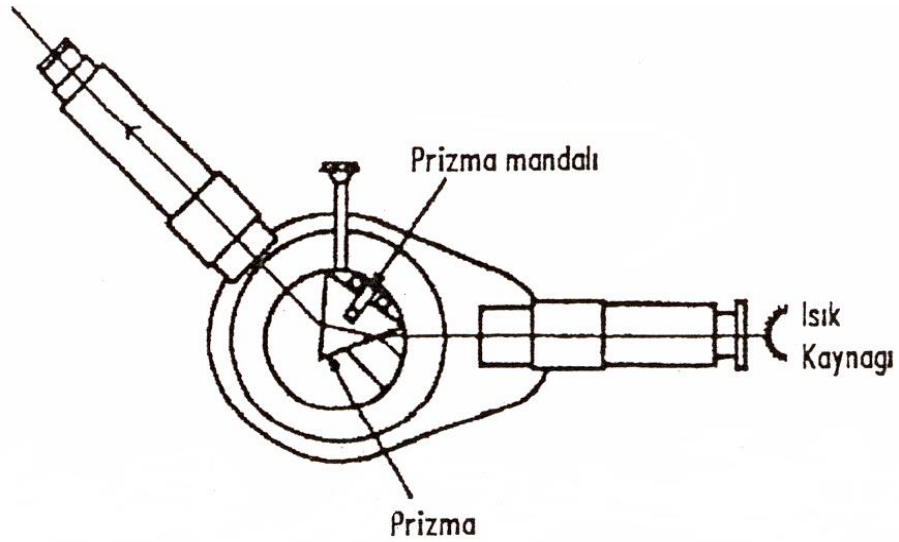
$$n = \frac{\sin[(A + D)/2]}{\sin(A/2)}$$

$n$  = Prizmanın kırılma indisi

$A$  = Prizmanın kenarları arasındaki açı

$D$  = Minimum sapma açısı

" $n$ " dalgaboyu ile değişirken, minimum sapma açısı da değişir ama her özel dalgaboyu için sabittir.



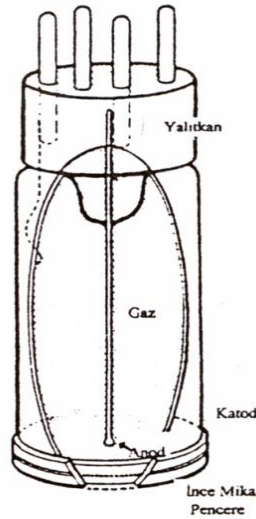
**Şekil - 8: Prizmanın konumu**

1. Spektrometreyi tekrar odaklayın ve doğrultusunu düzeltin.
2. Prizmayı spektrometre tablası üzerine Şekil 8 deki gibi tutturun.
3. Kolimatör yarığından birkaç cm uzağına ışık kaynağını yerleştirin.
4. Prizma ile kırılan ışığı çıplak gözle görmek mümkündür. Teleskopu kırılan ışık yönünde çevirin ve yarık görüntüsünü teleskoptan tespit edin.
5. Teleskoptan bakarken, spektrometrede tablasını ileri ve geriye yavaşça döndürün. Spektrum çizgilerinin kırılma açılarının nasıl değiştiğini gözlemleyin. Bu açı minimum olana dek spektrometre tablasını döndürün. Sonra yarık görüntüsünün sabit kenarı ile dik eksen çizgisinin aynı doğrultuda olması için teleskopu döndürün. Mümkün olduğu kadar hassas olması için ince ayar düğmesini kullanın. Sonra açı skalasını kullanarak teleskop açısını ölçün.
6. Spektrometre tablasının doğrultusunu değiştirmeksizin, prizmayı kaldırın ve teleskopu kırınımına uğramadan gelen ışının geçtiği yarık görüntüsünün sabit kenarı ile çapraz keseni çakıştıracak şekilde döndürün. Açı skalasından açıyı ölçün. Bu iki arasındaki fark, minimum sapma açısına eşittir. Her bir spektrum çizgisi için minimum sapma açısının belirlenmesi spektrometre tablasının dönme ayarını gerektirir. Sapma ışık demetinin açısı her bir çizgisi için tekrar ölçülmelidir.

## RADYOAKTİF IŞINIM DENEYLERİ

**Amaç** : Radyoaktivite olayının incelenmesi, radyoaktivitede ters kare yasasının incelenmesi, kağıdın soğurma katsayısının bulunması

**Teorik Bilgi** : Nükleer fizik laboratuvarının en temel cihazı radyoaktif ışının ölçülmesi için kullanılan Geiger-Müller sayacı ve tüpüdür. Geiger tüpü temel olarak iki elektrottan oluşur.



**Şekil -1: G-M Tüpünün şematik gösterimi**

Bu iki elektrot arasında düşük basınçlı gaz bulunmaktadır. Dış elektrot genellikle silindirik bir yapıda iken, iç elektrot ( pozitif ), bir silindirin ortasına yerleştirilmiş olan ince bir kablodan oluşur. İki elektrot arasındaki potansiyel farkı, Geiger tüpünün içine giren iyonize bir parçacığın tüp içerisinde elektron çığı (ardışık iyonlaşmalar sonucunda ) oluşturabilmesine olanak verecek şekilde ayarlanmıştır.

Doğada rastlanan radyoaktif elementler ya  $\alpha$ , ya da  $\beta$ -tanecikleri yayımlayarak bozunuma uğrarlar. Bazı hallerde, bu tanecikler  $\gamma$ -ışınları da yayımlarlar. Bir atomun çekirdeği bir alfa taneciği yayımladığında, atomik kütlesi 4, atom numarası ise 2 birim küçülür. A, çekirdekteki toplam nükleon sayısını ( kütle numarası ); Z, proton sayısını ( atom numarası ) göstermek üzere, bir alfa bozunumu için:

$$A \rightarrow A-4 \quad (1)$$

$$Z \rightarrow Z-2 \quad (2)$$

yazılabilir. N nötron sayısını göstermek üzere

$$A=N+Z \quad (3)$$

dir. Örnek olarak,  ${}_{88}\text{Ra}^{226}$  nın alfa taneciği yayımlayarak bozunup  ${}_{86}\text{Rn}^{222}$  haline dönüşmesini gösterebiliriz.



radioaktiflik olayının çekirdekle ilgili bir dönüşüm olduğu şuradan anlaşılıyor ki, Ra, Ba gibi toprak alkali elementler grubunda bulunan bir katı olduğu halde, radon, soy gazlar grubunda bulunan bir gazdır.

Alfa taneciği yayımlayan ir atomun, 4 nükleon ve 2 protaon kaybetmiş olması gösteriyor ki alfa çekirdeği bir  ${}^4_2\text{He}$  çekirdeği olabilir. Gerçekten de yapılan ölçümler alfa taneciğinin kütlesinin

$$M_\alpha = E/(E/M) \approx 6,6 \times 10^{-24} \text{ gram} \quad (5)$$

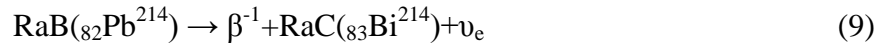
$$M_\alpha/M_H = 6,6 \times 10^{-24} / 1,67 \times 10^{-24} \approx 4 \quad (6)$$

olduğunu göstermiştir. Öte yandan, Rutherford, bir radyoaktif kaynağın yayımladığı alfaları bir boşalım tüpü içine toplayarak, bunların elektron yakalanmasından meydana gelen gazın karakteristik He tayfını verdiğini göstermiştir. Bu gün kesinlikle biliyoruz ki, alfa tanecikleri,  $\alpha$ , proton ve iki nötrondan meydana gelen helyum çekirdekçikleridir.

Atom numarası Z olan bir radyoaktif elementin bir  $\beta^-$  taneciği yayımlaması ile, atom numarası Z+1 olan başka bir element meydana gelir, fakat kütle numarası değişmez. Böylece ilk elementin bir izobarı elde edilir.

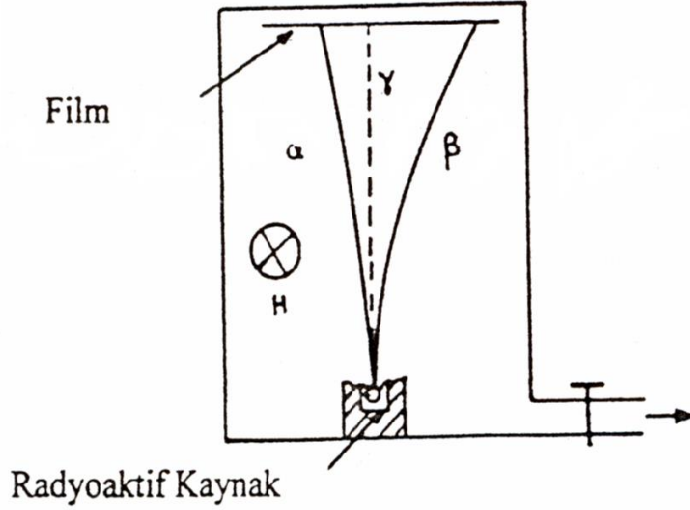
$$\beta^- : Z \rightarrow Z+1 \quad (7)$$

$$A \rightarrow A \quad (8)$$



Bu da gösteriyor ki, doğal radyoaktif bir elementin yayımladığı  $\beta^-$  tanecikleri negatif elektronlardan ibaret olabilirler. Gerçekten, yapılan ölçümler ve teori negatif  $\beta^-$  ların elektronlar olduğunu kesinlikle göstermektedir. Bazı yapay radyoaktif elementlerin yayımladıkları  $\beta^+$  ların da pozitif elektronlar (pozitronlar) oldukları bugün bilinmektedir.

Gamalar ( $\gamma$ ) uyarılmış çekirdeklerden yayımlanan elektromanyetik erke kuantumları yani fotonlardır.



**Şekil- 2: Radyoaktif bozunma sonucu ortaya çıkan taneciklerin manyetik alandaki sapmaları.**

Geiger sayacı parçacıkların ne tür ( beta veya gamma ) parçacıklar olduğunu belirleyemez, sadece algılayıcıya kaç adet parçacık girdiğini belirler. Ardışık iyonlaşma sonucu oluşan gerilimin genliği tipik olarak  $> 1$  Volt' tur. Bu değer herhangi bir yükselticiye ihtiyaç duyulmadan sayacı tarafından algılanacak kadar büyüktür.

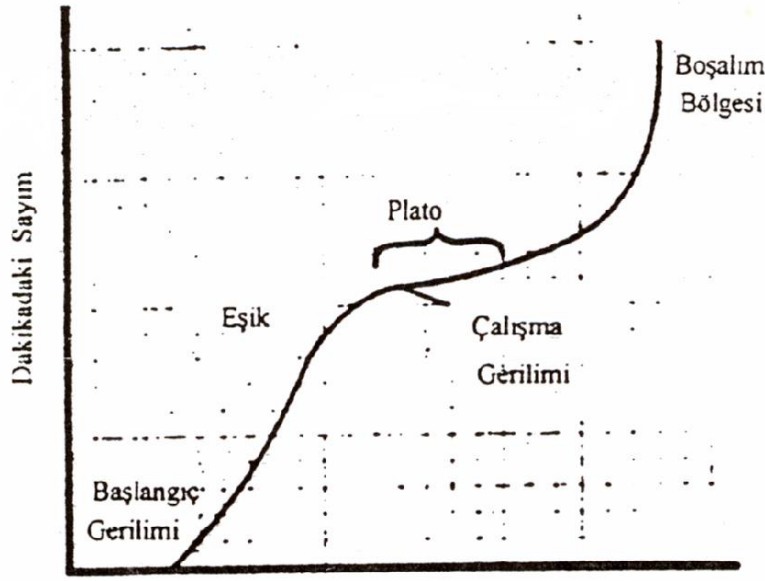
#### **A- KULLANILAN GEİGER TÜPÜNÜN PLATOSUNUN BULUNMASI**

**Amaç:** Geiger-Müller sayıcısının çalışma geriliminin ve platosunun belirlenmesi

Geiger tüpünün yapımı esnasında oluşan farklılıklardan dolayı, uygulanan belirli bir gerilim için her tüp farklı verimlilikte çalışır. Eğer bir radyoaktif madde Geiger tüpünün altına yerleştirilirse ve gerilim sıfırdan itibaren yavaşça artırılırsa tüp çalışma gerilimine ulaşmadan sayım yapmaya başlamayacaktır. Bu gerilimden sonraki en ufak bir gerilim artmasında, sayım hızı aniden artacaktır. Bu gerilime eşik gerilimi denir. Eşik geriliminden sonra gerilim artırılırsa sayım hızında çok az bir değişim olacaktır. Bu bölgeye plato bölgesi denir. Çalışma gerilimi değeri plato bölgesi içinde belirlenir.

Tüpün yaşama süresinin korunması için çalışma gerilimi plato bölgesinin %25' lik bölümünde seçilir ( eşik gerilimi yakınlarında ). Eğer gerilim hızlı bir değişim olacak şekilde artırılırsa sürekli boşalım bölgesine ulaşılır. Geiger tüpünün bu bölgedeki gerilimde çalıştırılması tüpün kısa sürede bozulmasına neden olur.





Şekil-3 : Tipik bir G-M tüpünün karakteristik eğrisi

Deneyin bu bölümünde, gerilime karşı dakikadaki sayım grafiğe geçirilerek, uygun çalışma gerilimi bulunacaktır.

**Deneyin Yapılışı:** G-M sayacı kapalı iken, ana anahtarı açınız ve sayacın 3 dakika için ısınmasının sağlayınız. Sayacın panelinde genellikle ışıklı bir gösterge bulunur, bu gösterge sayaca elektrik bağlantısının yapıp yapılmadığını gösterir. Size verilen gama ışıınımı sağlayan örneği, örnek tutucusunun ikinci gözüne koyunuz."reset" anahtarına basınız,paneldeki yüksek gerilim ayar düğmesini en küçük değerine getiriniz. Sayma anahtarını "on" konumuna getiriniz. Yüksek gerilim ayar düğmesinin en küçük değerinde bulunduğundan emin olarak, bu düğmeyi "on" konumuna getiriniz. 2 dakikalık bir sayım alınız. Gerilim değerini 25 veya 50 voltluk artırımlarla birim zamandaki sayım sayısını gözleyiniz ve kayıt ediniz (tüpün sürekli boşalımını önlemek ve ömrünü uzatmak için, sayım hızının plato değerinin %10' undan fazla olmamasına dikkat ediniz). Sayacı kullanmayı bitirdiğinizde, gerilim ayar düğmesine en düşük değerine getiriniz, fakat sayacı kapatmayınız.

## VERİ TABLOSU

Gerilim	Sayım	Zaman	Dakikadaki sayım

**Hesaplama:** y-ekseninde sayım, x-ekseninde gerilim olmak üzere Şekil-3’ deki gibi grafiğinizi çiziniz. Tüpün en iyi çalışma gerilimini belirleyiniz.

### B- TERS KARE KANUNU

**Amaç:** Ters kare kanununun ışınım yayan radyoaktif maddelerdeki geçerliliğinin belirlenmesi

Ters kare kanununun fizikte bir çok dalda geçerli olduğu bilinmektedir. Bir nesneye çarpan ışığın şiddetinin, kaynağın nesneye olan uzaklığının karesinin tersiyle orantılı olduğu bilinmektedir. Bir radyoaktif maddeden yayımlanan ışınım ışığa benzetilirse ki ışıktaki bir kaynaktan yayımlanır, ters kare kanunun sayaçtan uzaklaşan radyoaktif bir kaynak için de uygulanabileceği düşünülebilir.

Bu deneyde, bir radyoaktif maddenin, Geiger-Müller tüpünden çeşitli uzaklıklardaki aktivitesi ölçülecektir. Elde edilen verinin ters kare kanunu ile uyusabilirliği araştırılacaktır.

**Deneyin Yapılışı:** Probu ölçülendirilmiş deney rayına yerleştiriniz. G-M sayacını çalışma gerilimine getirerek, 5 dakika ısınmasını sağlayınız, sayma anahtarını 1 dakikadaki sayım moduna getiriniz. Daha sonra kaynağı deney düzeneğine yerleştirerek bir kez sayım alınız ve kaynağın uzaklığı ile sayma hızını kayıt ediniz.

Sayım no	Sayma hızı	Uzaklık (d)	1 / d <sup>2</sup>
1			
2			
3			
4			
5			
6			

**Tablo-1 : Sayma Hızının Uzaklıkla Değişimi**

**Hesaplama:** Bir grafik kağıdına aktiviteyi y ekseninde,  $1/d^2$  yi ise x ekseninde olacak şekilde grafik çiziniz. Gama ışınları ters kare kanununa uymakta mıdır?

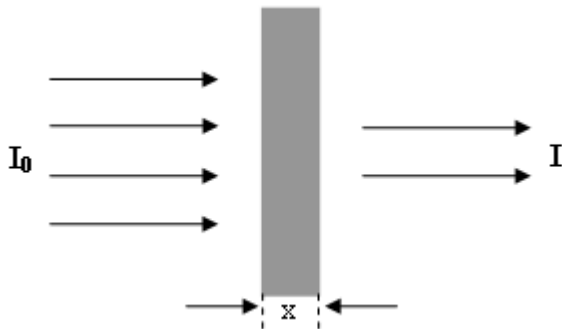
### C- SOĞURMA KATSAYISININ BULUNMASI

**Amaç :** Radyoaktif bir kaynaktan yayınlanan gama ışınları için soğurma katsayısının hesaplanması

Herhangi bir ışıma, madde içerisinden geçerken enerjisinin bir kısmını bu maddenin atomlarına vereceği için şiddeti azalır. I şiddetindeki ışıma dx kalınlığındaki ince bir madde tabakasını geçerken şiddet azalması,

$$dI = -\mu I dx \quad (10)$$

olur. Eksi işareti şiddette azalma olduğunu gösterir. Burada  $\mu$ , birim uzunluk başına şiddet azalması olup soğurma katsayısı olarak adlandırılır.



**Şekil- : Işımanın Madde Ortamında Soğurulması**

Işımanın x kalınlığındaki bir madde tabakasına girerkenki şiddeti  $I_0$  ile gösterilirse, eşitlik 10'dan

$$\ln(I/I_0) = -\mu x \quad (11)$$

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (12)$$

soğurma denklemi elde edilir.

$I_0$  ve  $I$  şiddetleri yerine, iyonlaştırıcı tanecik sayısı ile orantılı olan  $N_0$  ve  $N$  puls sayıları yazılarak benzer eşitlik elde edilir.

$$\ln(N/N_0) = -\mu x \quad (13)$$

### Deneyin Yapılışı:

Geiger tüpünüze çalışma gerilimi uygulayınız. Radyoaktif kaynağınızı dedektörünüze en yakın 2. bölmeye yerleştiriniz. Dedektörün saydığı parçacık sayısını kaydediniz. Dedektörle kaynak arasına çeşitli kalınlıklarda kağıtlar yerleştirerek dedektöre ulaşan parçacık sayılarını kaydederek Tablo 2' i doldurunuz.

X (cm)	N (Sayım)	ln (N/N <sub>0</sub> )

**Tablo-2 : Soğurma Katsayısı**

$\ln(N/N_0)$ ' a karşılık  $x$  grafiği çizilerek soğurma katsayısı  $\mu$ ' yü hesaplayınız.

Soğurucu madde olarak; aynı kalınlıktaki kurşun ve alüminyum kullanarak soğurma miktarlarını kıyaslayınız.

Sonuçlarınızı yorumlayınız.

## X-IŞINI KIRINIMI DENEYİ

### A: BİR METAL İÇEREN MALZEMENİN X-IŞINI İLE GÖZLENMESİ

**DENEYİN AMACI:** Cisimlerin kalınlıklarını ve türü hakkında bilgileri cisimlerin X-ışınlarını soğurmalarına göre gözlenmesi.

Çeşitli türde malzemeden yapılan cisimler X-ışınlarını soğurarak veya geçirerek bir ekran üzerinde iç yapısı ve kalınlıkları hakkında bize bilgi sağlayabilirler. X-ışınları materyalin tipine ve kalınlığına bağlı olarak malzeme içine nüfuz etme derinliklerine bağlı olarak soğurulabilirler. Bazı materyaller tam olarak soğurabilir bazı materyaller ise belli bir kısmını soğururlar. Bir cismi X-ışınına maruz bıraktığımızda ve arkasına bir ekran üzerine görüntüsünü düşürdüğümüzde belli kısmını soğuran cisim içindeki materyal içinden geçen X-ışınları ekran üzerinde bir aydınlanmaya tam soğuranlar ise karanlık bir görüntü oluşturmaktadır. Böylelikle bir cismin içindeki materyallerin görüntüsünü elde edebiliriz.

$$I = I_0 e^{-\mu(\lambda, Z)d} \quad (0.1)$$

(0.1) formülünde  $I_0$  X-ışınının şiddetidir ve  $d$  kalınlığa sahip bir cisme bu ışınım uygulandığında cismin lineer soğurma katsayısına bağlı olarak  $I$  şiddetinde bir ışınım geçişi gözlenir. Burada ki lineer soğurma katsayısı ışınımın dalga boyuna ve soğuran cismin atom numarasına bağlıdır. Çünkü soğuran cismin soğurması kütle soğurma katsayısı  $(\mu / \rho)$  ile orantılıdır.  $\rho$  burada soğuran cismin yoğunluğudur.

### DENEYİN YAPILIŞI

1. Cihazdaki G-M tüpü bağlantısı sökülür.
2. Zemindeki metre üzerindeki ayaklara ekran monte edilerek cihazın sağ tarafına alınır. İkinci ayağa ise X ışını uygulanacak cisim monte edilir ve cihazın kapağı kapayıp kilitleyiniz.
3. Cihazın anot akımını 0.8 A düşürünüz. Cihazın üzerindeki düz çizgi ve dalga resmi olan düğme yeşil konumuna gelecek şekilde basıp çalıştırılır.
4. Ekran üzerinde kısa bir süre sonra koyduğunuz cismin görüntüsü oluşacaktır.

## B: MOLİBDENİN ANOTUN KARAKTERİSTİK X-IŞINI SPEKTRUMU

**DENEYİN AMACI:** Molibden anottan gelen X-ışınlarının spektrumunu bir monokristal yardımıyla incelemek. Elde edilen spektrumu kullanarak molibdenin karakteristik enerji seviyelerini belirlemek.

### DENEYİLE İLGİLİ KONULAR:

- X-Işını Spektroskopisi,
- Frenleme Radyasyonu (Bremsstrahlung) ,
- Bragg Saçılması,
- Enerji Seviyeleri,
- Kristal Yapısı,
- Örgü Sabiti.
- Girişimin Düzeni

### TEORİK BİLGİ

X-ışınları yüksek enerjili elektronların yavaşlatılması veya atomların iç yörüngelerindeki elektron geçişleri ile meydana gelen dalga boyları 0.1-100 Å arasında değişen elektromanyetik dalgalardır. X-ışınlarının frekansı görünür ışığın frekansından ortalama 1000 defa daha büyüktür ve X-ışını fotonu (parçacığı) görülen ışığın fotonundan daha yüksek enerjiye sahiptir. Elektromanyetik spektrumda gama ışınları ile mor ötesi ışınlar arasında yer alırlar.

### Çizelge: X-ışınlarının Genel Özellikleri ve Madde Etkileşmesi

Genel Özellikler	Etkileşme sonucu maddeden çıkan tanecik
<ul style="list-style-type: none"><li>• Sürekli spektrum verir.</li><li>• Çizgi spektrum verir.</li><li>• Işık hızı ile yayılır.</li><li>• Doğrular halinde yayılır.</li><li>• Elektrik ve magnetik alandan etkilenmezler.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• İyon</li><li>• Fotoelektron</li><li>• Auger elektronu</li><li>• Geri tepme elektronu</li><li>• Elektron pozitron çifti</li></ul>
Yapabileceği fiziksel olaylar	X-ışını soğurmasının kalıcı sonuçları
<ul style="list-style-type: none"><li>• Transmisyon</li><li>• Kırılma</li><li>• Yansıma</li><li>• Polarizasyon</li><li>• Koherent saçılma</li><li>• İnkoherent saçılma</li><li>• Fotoelektrik olay</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Radyasyon tahribatı</li><li>• Sıcaklık artması</li><li>• Fotoelektrik iyonizasyon</li><li>• Genetik değişme</li><li>• Hücrenin ölümü</li></ul>

#### 1. X-Işını Difraksiyonu (Kırınımı)

Kristal yapı, üç boyutlu uzayda düzgün tekrarlanan bir deseni temel alan bir atomik yapıya sahiptir. Bu nedenle, katıların kristal yapısı, yapıda bulunan atom gruplarının ya da moleküllerin katıya özgü olacak şekilde geometrik düzende bir araya gelmesi ile oluşur. İlk kez Max van Laue tarafından kristal yapı ve yapı içerisindeki atomların dizilişleri X-ışını kırınım desenleri kullanılarak incelenmiştir.

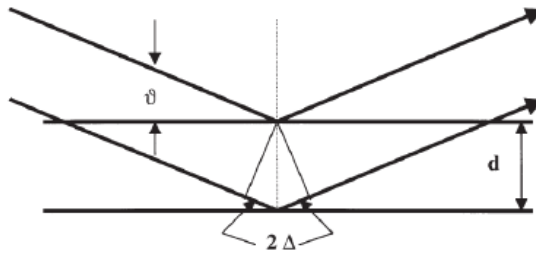
Bir malzemenin atomik yapısını görüntülemek, yüksek çözünürlüğe sahip çeşitli elektron mikroskopları kullanılarak mümkündür. Fakat bilinmeyen yapıları belirtmek veya yapısal parametreleri tayin etmek için kırınım tekniklerini kullanmak gerekir. Katıların kristal yapılarını incelemek için en çok kullanılan kırınım tekniği X-ışını kırınımıdır. Bu tekniğin ince film analizi için uygun olması, temelde iki nedenden dolayıdır; 1. X-ışınlarının dalga boyları, yoğunlaştırılmış maddedeki atomik mesafeler ölçüsündedir ve bu özellik, yapısal araştırmalarda kullanılmalarını sağlar. 2. X-ışını saçılım teknikleri, yıkıcı değildir ve incelenen numuneyi değiştirmez.

Kristal ve moleküllerdeki atomlar arası mesafeler 0.15-0.4 nm arasındadır. Bu mesafe 3 keV ve 8 keV arasında foton enerjilerine sahip X-ışınlarının elektromanyetik spektrum dalga boyuna karşılık gelir. Bundan dolayı, kristal ve molekül yapıları X-ışınlarına maruz kaldığında, yapıcı ve yıkıcı girişim gibi olgular gözlemlenebilmektedir.

X-ışınları kristal yapı üzerine düşürüldüğünde, ısımlar katı yüzeyinden küçük geliş açılarıyla tam yansımaya uğrarlar ve ısımlar kristaldeki atomların paralel düzlemleri tarafından saçılırlar. Kristal yapıdaki bu saçılımlar kırınım olarak 12 adlandırılır ve kırınım çok sayıda atomu içeren saçılmalardan meydana gelir. X-ışınlarının kristal yapıda kırınımı Bragg Kanunu ile açıklanır ve Bragg kanunun en basit şekli aşağıdaki formül ile verilir.

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (0.2)$$

(d=düzlemlerarası uzaklık; n=1,2,3...)



Şekil 1 Örgü düzlemindeki Bragg saçılması

Modern X-ışını cihazlarında, kırınıma uğrayan ısımların kırınım açısını ve şiddetini ölçecek ısımların sayıcılar bulunur. Böylece kırınım açısı ( $2\theta$ )'nın, kırınıma uğrayan ısımların şiddetine göre değişimini veren kırınım deseni elde edilir. Desen üzerindeki pik genişliklerine ve zemin şiddetine bakılarak malzemenin kristalleşmesi hakkında bilgi edinilebilir.

Kristallerde x-ışını kırınımı ve diğer kırınım (elektron ve nötron kırınımı) teknikleri ile sağlanan bilgiler şunlardır:

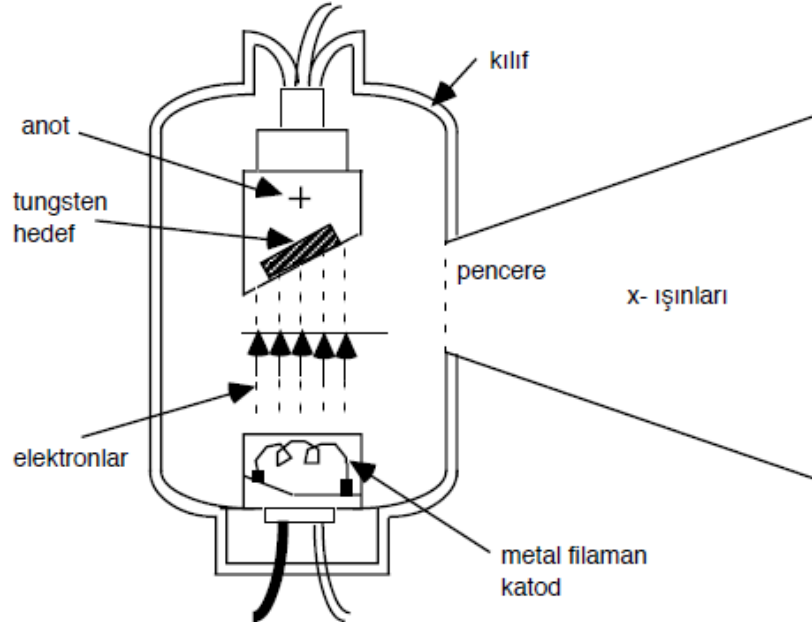
- Kristalin yapısını belirleme
- Kristalin mükemmelliği veya fazın saflığını belirleme
- Kristalin doğrultularını belirleme
- Kristalin örgü sabitlerini belirleme

Günümüzde kristallerde kırınım, kristal yapıların hemen hemen hepsinin yapısının biliniyor olması sebebiyle, kristalin mükemmelliği ve doğrultularının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca, yeni modeller geliştirmeye yönelik çalışmalarda veya endüstriyel değere sahip polimerler, biomoleküller, zeolitler gibi yapıların ve örgü sabitlerinin belirlenmesi çalışmaları önemli bir yere sahiptir.

## 2. X-ışını Üretimi

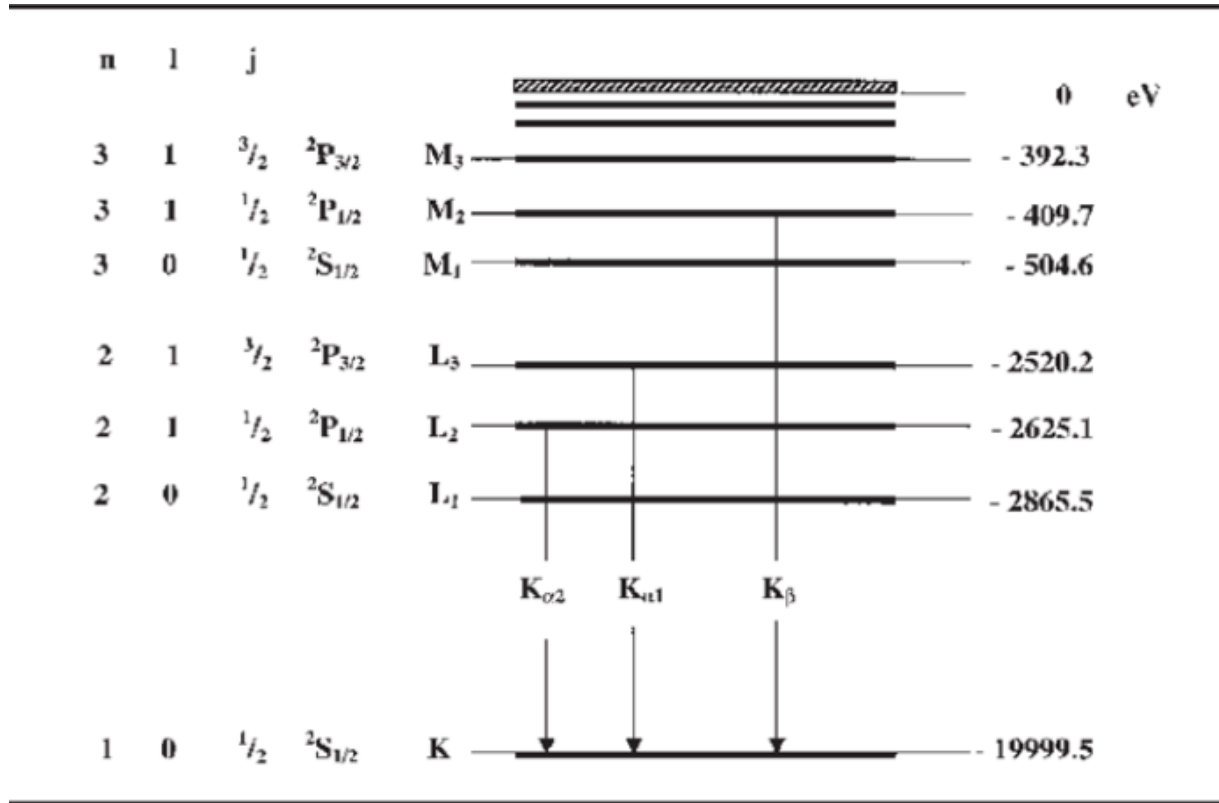
35 keV lik Yüksek enerjili elektronlar metalik bir yüzeye çarptıkları zaman X-ışını saçarlar. Deneyde kullanılan X-ışını tüpü (Şekil 2) temelde bu prensiple çalışmaktadır. Tungsten anot yüksek enerjili elektronlarla bombardımana tâbi tutulur ve bunun sonucunda X-ışını üretilir. Hareketli bir elektronun kinetik enerjisi vardır. Yüksek hıza sahip bir elektron molibdene çarpınca bir molibden atomu ile çarpışır. Elektron durdurulana kadar birçok atomla çarpışmak zorunda kalabilir. Elektronun durdurulması sırasında kaybedilen kinetik enerjinin yüzde biri veya daha az kısmı X-ışını ışımasına, geri kalan kısmı ise ısı enerjisine dönüşür. Bu olayda iki temel mekanizmanın büyük önemi vardır.

Bu olaylardan ilki elektronların metalik bir yüzeye çarptıkları zaman çarpmanın etkisi ile kaybettikleri kinetik enerjiyi ışıma olarak dışarı vermeleridir. Bu olay frenleme radyasyonu veya Bremsstrahlung olarak isimlendirilir. Bu ışımının yapmış olduğu spektrum sürekli dir. Belli aralıklarda her dalgaboyu (enerji) değerini alabilmektedir. İkinci mekanizma Şekil 3’de özetlenmeye çalışılmıştır. Bilindiği gibi molibden atomunun belli enerji seviyeleri vardır. Anot üzerine düşen yüksek enerjili bir elektron en alt enerji seviyesindeki (K) elektronlarla çarpışıp kopmasına sebebiyet verir ve üst seviyelerden bu boşluğu doldurması için elektronlar bu seviyeye geçerek aradaki fazla enerjilerini X-ışınları şeklinde ışıma yaparak denge konumuna gelirler. Karakteristik X-ışınması L kabuğundan K kabuğuna bir geçiş sırasında üretilmektedir ve  $K_{\alpha}$  ışıması olarak isimlendirilir. M kabuğundan K kabuğuna bir geçiş sırasında üretilirse buna  $K_{\beta}$  ışıması olarak isimlendirilir. ( $M_1 \rightarrow K$  ve  $L_1 \rightarrow K$  geçişleri kuantum mekaniksel seçim kurallarınca yasaklıdır).Buradaki spektrum kesiklidir.



Şekil 2 X-ışını Tüpü





Şekil 3 Molibdenin (Z=42) enerji seviyelerinin şematik gösterimi

$$E_{K\alpha} = E_K - \frac{1}{2}(E_{L_2} + E_{L_3}) = 17.427 \text{ keV}$$

$$E_{K\beta} = E_K - E_{M_{2,3}} = 19.590 \text{ keV}$$

X-ışınlarını analiz ederken kristali hangi açıda tutuyorsak sayaç tüpünü bunun iki misli açıda tuttuğumuza dikkat ediniz. Kullandığımız kristalin X-ışınlarına maruz kalan yüzeyi kristalin (100) düzlemidir ve  $d = 201,4 \text{ pm}$  örgü sabitine sahiptir. Işınlardan bu yüzeyden saçılması Bragg saçılması denklemi ile ifade edilebilir. Eğer  $d$  biliniyorsa dalgaboyu açığa bağlı olarak bulunabilir. Işımanın enerjisi  $E$ ;

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} \quad (0.3)$$

(0.2) ve (0.3) eşitliğinden

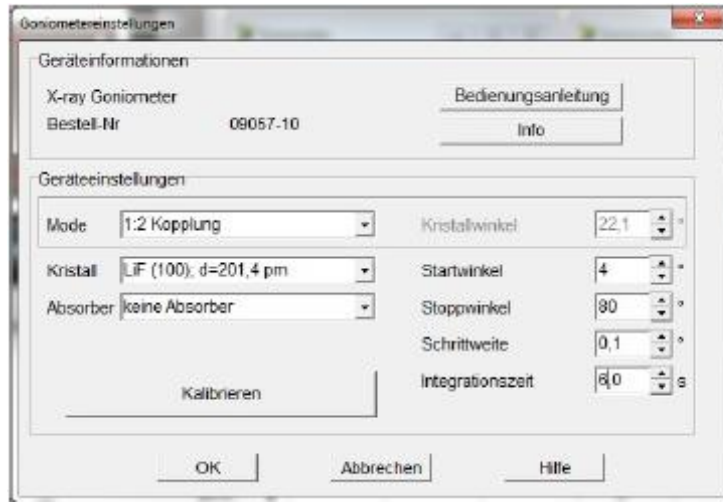
$$E = \frac{nhc}{2d \sin \theta}$$

bulunabilir.

- Planck sabiti  $h = 6.6256 \times 10^{-34} \text{ Js}$
- Işık hızı  $c = 2.9979 \times 10^8 \text{ m/s}$
- LiF(200) düzlemlerarası mesafe  $d = 2.014 \times 10^{-10} \text{ m}$
- KBr(200) düzlemlerarası mesafe  $d = 3.290 \times 10^{-10} \text{ m}$
- Eşdeğer  $1 \text{ eV} = 1.6021 \times 10^{-19} \text{ J}$

## DENEYİN YAPILIŞI

5. Gonyometre ve Counter (G-M t p) tüp cihaza daha önceden monte edilmiştir ve bağlantıları yapılmıştır.
6. Cihazın kapağını açıp X-ışını tüpünün çıkışına 2mm'lik diyafram açıklığına sahip tüpü yerleştiriniz.
7. LiF kristalini gonyometrenin tam ortasındaki yerine yerleştiriniz. Gonyometre bloğunu orta pozisyona getiriniz ve kapağı kapayıp kilitleyiniz.
8. USB data kablosunun bir ucunu X-ışını  nitesine (Cihazın sağ yanında bulunan) diğer ucunu bilgisayarın USB portuna bağlayınız.
9. X-ışını ünitesini ve bilgisayarı çalıştırınız.
10. Bilgisayarda masaüstünde ikonunu bulabileceğiniz MEASURE programını çalıştırınız.
11. Programdaki menülerden —Gauge -> X-ray device  ayarını seçiniz. Bu durumda cihazın kontrolü artık bilgisayara geçmiştir. Bilgisayar ekranında cihazın görüntüsü gelecektir.
12. Mouse yardımı ile ekranda görülen cihazın deney bölgesine basarak ayarlar menüsünü açınız.



 stte resimde görülen ayarlar kısmına ilk olarak LiF monokristalini koyunuz mode olarak 1:2 coupling mode -gate time 3s (Entegrasyon Süresi); angle step width 0.1 - scanning range 3-30 (LiF için); 3-30 (KBr için) girerek OK tuşuna basınız. Mode 1:2 olduğundan dolayı bilgisayar kristali 3 sayaç tüpünü ise 6 başlangıç değerine ayarlar ve kristali 0,1 döndürürken sayacı 0,2 d nd r rek s s müddetince ölüm yapar. 35 'ye (LiF için) gelene kadar bu prosedür devam eder. Bu ekran kapandıktan sonra aynı şekilde görülen cihazda Mouse ile X-ışını tüpüne basıldığında tüpün anot voltajı ve anot akımı sırasıyla 35 keV ve 1 mA ayarlanır. OK tuşuna basılır.

13. Bu ekranlar kapandıktan sonra sol üst köşedeki kırmızı düğme ile ölüm başlatılır. Açılan pencerece ilk seçenek seçilir ve OK tuşuna basılır. Bu verilerinizin MEASURE programına atılmasını sağlar. Ölüm müddetince bilgisayar başından kalkmayınız ve bilgisayarın gerçek zamanlı çizdiği grağiği takip ediniz.
14. Ölüm sonunda bilgisayar X-ışını tüpünü durdurur. Bundan sonra —Stop measurement tuşuna basınca ekranda bakır anotun X-ışını spektrumunu görmüş olursunuz. Bu grafik sayaç tüpüne düşen X-ışını fotonlarının açıya bağlı değişimini göstermektedir. Tepe noktalarının üzerlerine tıklayarak bunların hangi açılara karşılık geldiğini kaydedin,

ölçümünüzü bilgisayara kendi isminizle kaydedin. Grafiğin bir kopyasını ise raporunuza eklemek için kendinize alın.



### Belirsizlik Hesabı

Grafikten ölçülen açı  $\theta$  olsun. Bu açıyı ölçerken  $\Delta\theta$  hata payım olduğunu varsayalım. Bu durumda açım maksimum  $\theta+\Delta\theta$ , minimum  $\theta-\Delta\theta$  olabilir. Enerjideki belirsizliği hesaplamak için bu iki açı için iki enerji değeri hesaplamak, bunların ortalamasını ölçülen değer olarak kabul etmek, farkının yarısını ise belirsizlik olarak rapor etmek gerekir. Aşağıdaki iki denklem durumu özetler.

$$E - \Delta E = \frac{n.h.c}{2.d.\sin(\theta + \Delta\theta)}$$

$$E + \Delta E = \frac{n.h.c}{2.d.\sin(\theta - \Delta\theta)}$$

**Measure:** measure programı ile pikler nasıl belirlenir.

- -  butonuna basınız ve eğrinin uygun alanını seçiniz.
- -  butonuna basınız. “Pik analizi.”
- - Pencerede pik analizi görülecektir.
- - Daha sonra hesapla (calculate) e basınız ve grafikte göster kutusunu seçiniz.

**Tablo 1**

	$\theta/^\circ$	Line	$E_{exp}/keV$
<b>LiF crystal</b>			
$n=1$	10.4	$K_\alpha$	17.100
	9.2	$K_\beta$	19.525
$n=2$	20.9	$K_\alpha$	17.244
	18.5	$K_\beta$	19.401
$n=3$	32.2	$K_\alpha$	17.324
	28.4	$K_\beta$	19.399
$n=4$	45.1	$K_\alpha$	17.390
<b>KBr crystal</b>			
$n=1$	6.4	$K_\alpha$	16.823
	5.7	$K_\beta$	18.942
$n=2$	12.6	$K_\alpha$	17.286
	11.2	$K_\beta$	19.425
$n=3$	19.0	$K_\alpha$	17.339
$n=4$	25.6	$K_\alpha$	17.446

### C : FARKLI YÖNELİMLERE SAHİP NaCl MONOKRİSTALİNİN YAPISININ BELİRLENMESİ

**DENEYİN AMACI:** Polikromatik Molibden anottan gelen X-ışınları ile farklı yönelimlere sahip NaCl monokristalin yapısının belirlenmesi. (100), (110) ve (111) yönelimli monokristal NaCl’ün polikromatik X-ışını tüpü ile oluşacak şiddet spektrumlarının her birinin tanımlanması. Karakteristik ışımların Bragg açılarının spektrumdan belirlenmesi.

## TEORİK BİLGİ

Kristal yapı, üç boyutlu uzayda düzgün tekrarlanan bir deseni temel alan bir atomik yapıya sahiptir. Bu nedenle, katıların kristal yapısı, yapıda bulunan atom gruplarının ya da moleküllerin katıya özgü olacak şekilde geometrik düzende bir araya gelmesi ile oluşur. İlk kez Max van Laue tarafından kristal yapı ve yapı içerisindeki atomların dizilişleri X-ışını kırınım desenleri kullanılarak incelenmiştir.

$\theta$  açısı altında aralarındaki uzaklıkları  $d$  olan paralel örgü düzlemlerine eğer X-ışınları gönderilirse, ışımalardan dolayı olacak yansımaların yapıcı ve yıkıcı davranışlar yapması beklenir. Bu davranışlarda yapıcı olanlar Bragg şartına (1) uygun olarak yansımalar yapar.

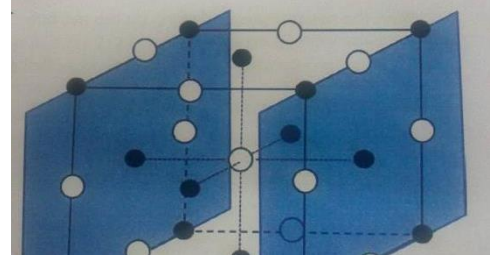
$$2d \sin \theta = n\lambda; (n=1,2,3,...) \quad (0.4)$$

$n$ 'ninci yansımalar çeşitli düzlemlerdeki kırınımlardan direk olarak tayin edilebilir. Kristal yapı analizi bağlamında,  $n$  örgü düzlemleri arasında uzaklık içinde sık sık aşağıdaki şekilde kullanılır.

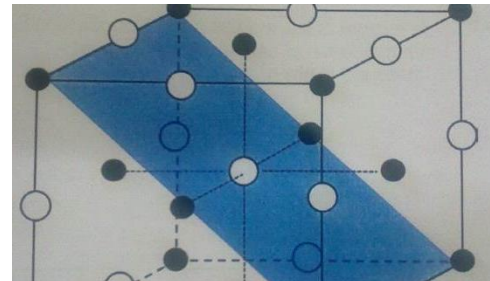
$$2d \sin \theta = \lambda$$

Miller indisleri bir kristaldeki çeşitli düzlemleri isimlendirmek için bir metottur. Bunlar basitçe üç boyutlu kristal birim hücrelerinde arakesit noktalarını belirtir. Bir kristalin simetrik temel birimi “birim hücre” olarak isimlendirilir. Bir kübik kristal örgü de (NaCl örgüsü gibi) hücrenin tüm yüzeyleri eşit uzunluktadır. Bu yüzeylerden bir tanesi  $a$  örgü sabiti olarak alınabilir. NaCl monokristalleri yüzey merkezli kübik (fcc) örgü yapısındadır (Şekil 1;2 ve 3). Hücrenin temelinde  $Na^+$  iyonu 000 da  $Cl^-$  iyonları  $\frac{1}{2} \frac{1}{2} \frac{1}{2}$  dedir. Örgü parametresi  $a$  olan bir kübik kristal için örgü düzlemleri (hkl) nin uzaklıkları  $d(hkl)$  arasındaki bağıntı aşağıdaki şekildedir.

$$d = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \quad (0.5)$$



Şekil 1 NaCl kristal yapısının (100) düzleminin şematik gösterimi



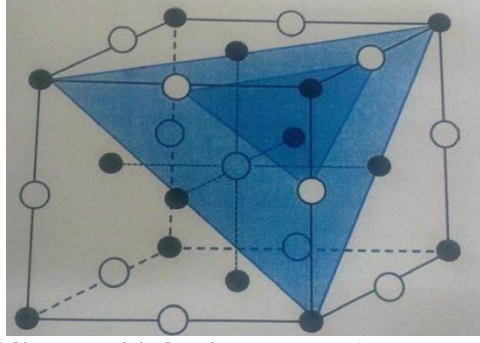
Şekil 2 NaCl kristal yapısının (110) düzleminin şematik gösterimi

(0.4) de (0.5) denklemini koyarsak;

$$\sin \theta_{hkl} = \sqrt{h^2 + k^2 + l^2} \frac{\lambda}{2a} \quad (0.6)$$

Tüm yansımaların rölatif şiddetleri kristalin birim hücreesindeki atomların saçma gücü ve konumları ile tanımlanabilir. Buradan yapı faktörü  $F(hkl)$  şöyle açıklanabilir:

$$F(h, k, l) = \sum_n f_n \exp[-2\pi i(hu_n + kv_n + lw_n)] \quad (0.7)$$



Şekil 3 NaCl kristal yapısının (111) ve (222) düzlemlerinin şematik gösterimi

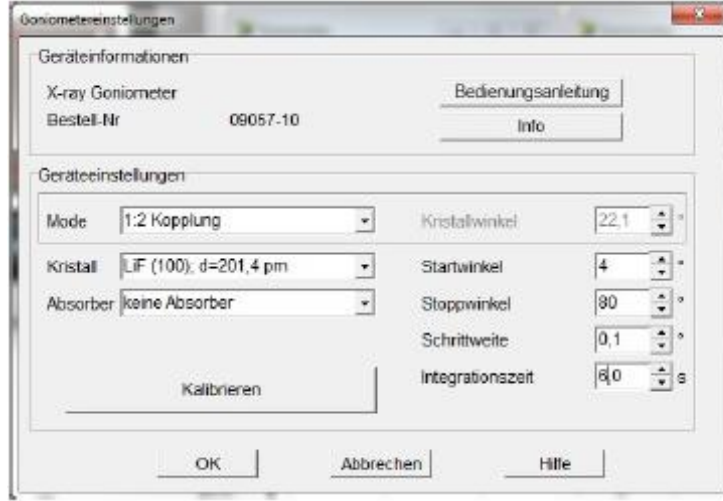
Burada  $f_n$  atomik yapı faktörüdür ve  $u_n, v_n, w_n$  birim hücredeki  $n$  atomlarının koordinatlarıdır. Saçılma yansımalarının toplam şiddeti;

$$I = F^* F = |F(h, k, l)|^2$$

Bir fcc örgü temelinde  $000; 0\frac{1}{2}\frac{1}{2}; \frac{1}{2}0\frac{1}{2}; \frac{1}{2}\frac{1}{2}0$  atom konumlarında (3) denkleminde  $hkl$  üçlüsü çift veya tek sayı olduğu zaman  $F=0$  olur ve tüm indisler çift veya tek olduğu zaman ise  $F=4f$  olur. Ek olarak fcc kristal yapısında ve 100 ve 110 örgü düzlemleri durumunda  $hkl$  nin tek sayılı düzlemlerinin yansımaları sistematik söndürme ile elimine edilir.

### Deneyin Yapılışı

1. Gonyometre ve Counter (G-M tüp) tüp cihaza daha önceden monte edilmiştir ve bağlantıları yapılmıştır.
2. Cihazın kapağını açıp X-ışını tüpünün çıkışına 2mm'lik diyafram açıklığına sahip tüpü yerleştiriniz.
3. Sırasıyla NaCl (100), (110) ve (111) kristallerini gonyometrenin tam ortasındaki yerine kristal tutucuya yerleştirdikten sonra gonyometre üzerindeki yerine yerleştiriniz ve kapağı kapayıp kilitleyiniz.
4. USB data kablusunun bir ucunu X-ışını ünitesine (Cihazın sağ yanında bulunan) diğer ucunu bilgisayarın USB portuna bağlayınız.
5. X-ışını ünitesini ve bilgisayarı çalıştırınız.
6. Bilgisayarda masaüstünde ikonunu bulabileceğiniz MEASURE programını çalıştırınız.
7. Programdaki menülerden —Gauge -> X-ray device ayarını seçiniz. Bu durumda cihazın kontrolü artık bilgisayara geçmiştir. Bilgisayar ekranında cihazın görüntüsü gelecektir.
8. Mouse yardımı ile ekranda görülen cihazın deney bölgesine basarak ayarlar menüsünü açınız.



Üstte resimde görülen ayarlar kısmına ilk olarak hangi NaCl monokristalini ölçecekseniz onun ismini seçiniz ve mode olarak 1:2 coupling mode -gate time 3s (Entegrasyon Süresi); angle step width 0.1 -scanning range 3-45 girerek OK tuşuna basınız. Bu ekran kapandıktan sonra aynı şekilde görülen cihazda Mouse ile X-ışını tüpüne basıldığında tüpün anot voltajı ve anot akımı sırasıyla 35 keV ve 1 mA ayarlanır. OK tuşuna basılır.

Aynı prosedürü NaCl (100), (110), (111) için tekrarlayınız. NaCl için örgü sabiti sırasıyla

$$a_{(100)} = 5.64 \times 10^{-10} m$$

$$a_{(110)} = 5.72 \times 10^{-10} m$$

$$a_{(111)} = 5.71 \times 10^{-10} m$$

Mo için dalga boyu;

$$\lambda = 7.11 \times 10^{-11} m$$

9. Bu ekranlar kapandıktan sonra sol üst köşedeki kırmızı düğme ile ölçüm başlatılır. Açılan pencerece ilk seçenek seçilir ve OK tuşuna basılır. Bu verilerinizin MEASURE programına atılmasını sağlar. Ölçüm müddetince bilgisayar başından kalkmayınız ve bilgisayarın gerçek zamanlı çizdiği grafiği takip ediniz.
10. Ölçüm sonunda bilgisayar X-ışını tüpünü durdurur. Bundan sonra —Stop measurement tuşuna basınca ekranda bakır anotun X-ışını spektrumunu görmüş olursunuz. Bu grafik sayaç tüpüne düşen X-ışını fotonlarının açığa bağlı değişimini göstermektedir. Tepe noktalarının üzerlerine tıklayarak bunların hangi açılara karşılık geldiğini kaydedin, ölçümünüzü bilgisayara kendi isminizle kaydedin. Grafiğin bir kopyasını ise raporunuza eklemek için kendinize alın.

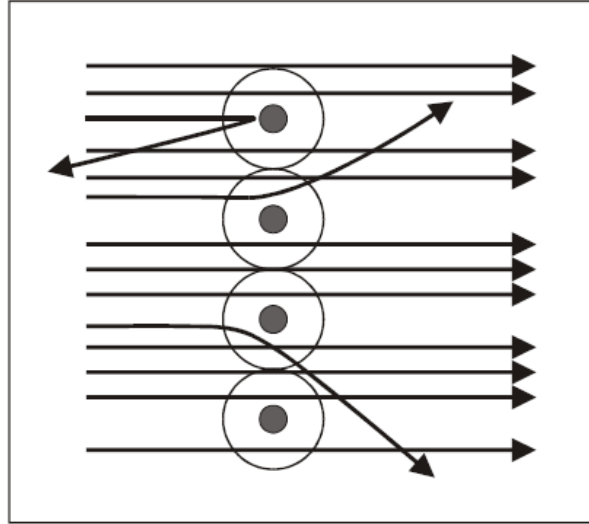
## RUTHERFORD SAÇILMASI

### AMAÇ

**a)** Altın bir hedeften saçılan  $\alpha$  parçacıklarının sayım hızını ( $N_d$ ) saçılma açısı  $\theta$  nın fonksiyonu olarak belirlemek **b)** Boşluktaki saçılma dağılımına göre düzeltilmiş sayım hızını ( $N$ ) belirlemek **c)** Rutherford saçılma denklemini doğrulamak.

### GENEL BİLGİ

Şayet  $\alpha$  parçacıklarının ince bir altın hedef üzerine gönderilirlerse, her bir  $\alpha$  parçacığının hareket doğrultusundan saçılma açısı ( $\theta$ ) kadar saptığı gözlenir.  $\alpha$  parçacıklarının çoğu  $1^\circ$  den daha az saçılmaya uğrarlar (Şekil 1).



**Şekil1:**  $\alpha$ -parçacıklarının atomlardan saçılma diyagramı

Ancak birkaç parçacık  $180^\circ$  (geri saçılma) ye yaklaşan saçılmaya maruz kalır. Bu nitel gözlemler sadece altın atomlarının pozitif yüklü, atom kütesinin neredeyse tamamını oluşturan çok küçük bir çekirdeğe sahip olduğu yaklaşımla açıklanabilir.

Bu fikir doğrultusunda Rutherford, saçılma oranının açısal dağılımını  $N(\theta)$  hesapladı. Saçılma oranı belli bir zaman aralığında  $\theta$  açısının  $d\theta$  komşuluğuna saçılan parçacıkların sayısıdır. Bu hesaplama sonucunda Rutherford Saçılma Formülü:

$$N(\theta) = N_0 \cdot c_F \cdot d_F \cdot \frac{Z^2 \cdot e^4}{(8 \pi \epsilon_0 E_\alpha)^2 \cdot \sin^4(\frac{\theta}{2})} \quad (1)$$

$N_0$ : Hedefe gelen parçacık sayısı

$c_F$ : Hedefin atomik yoğunluğu

$d_F$ : Hedefin kalınlığı

$Z$ : Hedef materyalin atom numarası

$E_\alpha$ :  $\alpha$  parçacıklarının enerjisi

$e$ : Elemanter yük ( $e=1,602 \times 10^{-19}$  As)

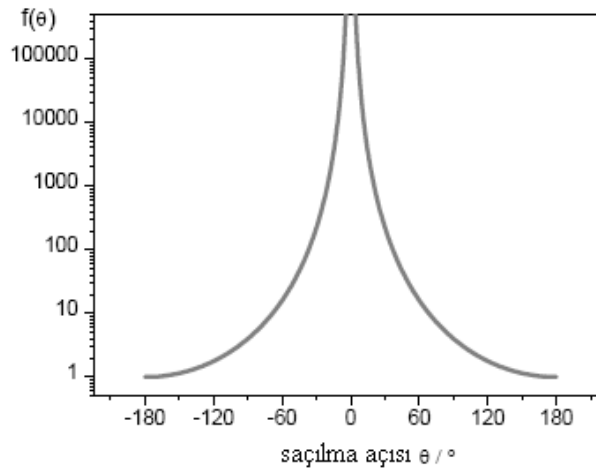
$\epsilon_0$ : Dielektrik sabiti ( $\epsilon_0=8,85 \times 10^{-12}$  As/Vm)

### Sayım hızının saçılma açısı $\theta$ nın fonksiyonu olarak belirlenmesi

Bu durumda deney boyunca sabit kalan 1 nolu denklemde bulunan ( $N_0, c_F, d_F, Z, E_\alpha, e, \epsilon_0$ ) sabitleri 1 olarak kabul edersek bu açısal dağılıma ait eğri aşağıdaki fonksiyonla tanımlanır:

$$f(\theta) = \frac{1}{\sin^4\left(\frac{\theta}{2}\right)}$$

(2)

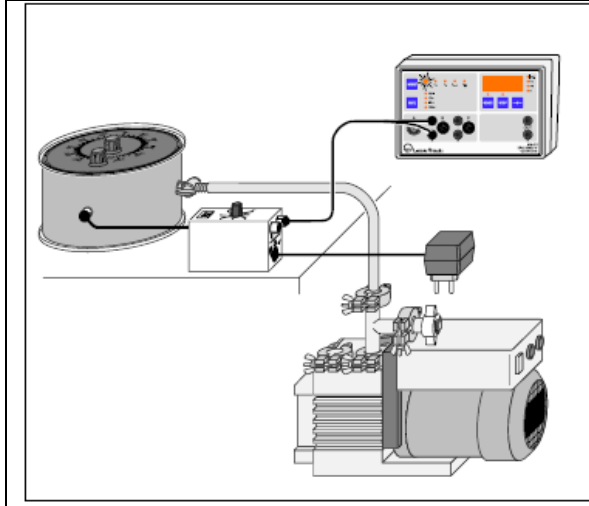


Şekil 2: 2 nolu denklemden elde edilen saçılma oranının açısal dağılım eğrisi

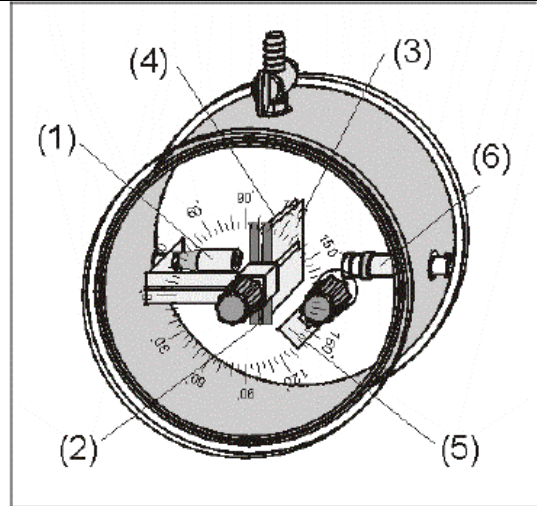
$\theta$  açısının artmasıyla birlikte  $f(\theta)$  değeri hızla azalır. Bu nedenle şekil 2 de  $f(\theta)$  nın  $\theta$  ya bağlı değişimi logaritmik ölçekte çizilmiştir. Saçılma denkleminde  $\theta=0^\circ$  de tekillik göze çarpmaktadır. Bu nedenle ölçüm sonuçlarının teorik değerlerle karşılaştırmasını bu bölge dışında yapılmalıdır. Örneğin  $|\theta| > 5^\circ$ .

Daha büyük saçılma açılarında sayım hızı çok düşeceğinden dolayı güvenilebilir sonuçlar elde edebilmek için ölçüm zamanı artırılmalıdır. Toplam ölçüm süresini sürdürülebilir tutmak için açı aralığı  $|\theta| \leq 30^\circ$  şeklinde sınırlandırılabilir.





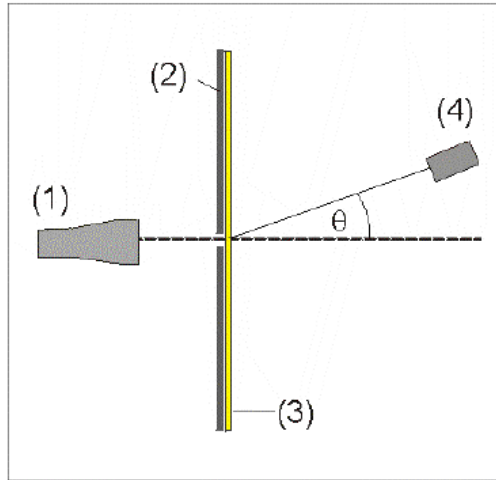
Şekil 3: Rutherford Saçılması deney düzeneği



Şekil 4: Saçılma Odası

- (1)  $\alpha$  kaynağı (2) Hedef tutucu  
(3) Altın hedef (4) Slit  
(5) Döner kol (6) Detektör

$\alpha$  parçacıklarının menzilleri havada çok kısa (3-5 cm) olduğu için bu deney şekil 3 te gösterilen kapalı devre vakum ortamında yapılmalıdır. Şekil 4 te saçılma odasının bölümleri, Şekil 5 te ise deney geometrisi görülmektedir.



Şekil 5: Saçılma Geometrisi (1) Kaynak, (2) Kolimatör slit, (3) Altın Hedef, (4) Detektör

Am-241 kaynağından yayımlanan  $\alpha$  parçacıkları 5mm lik bir slitten geçerek altın hedefin üzerine düşerler ve altın hedeften farklı açılarda saçılarak yollarına devam ederler. Saçılan  $\alpha$  parçacıkları yarıiletken detektörlerle tespit edilir. Örneğin detektörü  $5^0$  lik adımlarla döndürülerek  $5^0$  den  $30^0$  ye kadar saçılma oranları tespit edilebilir. Kullanacağınız düzeneğe detektör sabit olduğundan ortak bir döner kola monte edilmiş olan slit ya da hedef döndürerek ölçümler alınacaktır. (Detektör vakum odası duvarına sıkıca monte edilmiştir.)

5mm lik slit belli bir zaman diliminde kabul edilebilir sayım istatistiği elde etmek için uygundur ancak  $20^\circ$  nin altındaki küçük açılarda sonuçları ölçeklendirmek ve 1 mm lik slit kullanarak açısal hassasiyet artırılması gerekmektedir.

### **Alüminyumun atom numarasının belirlenmesi**

Şayet farklı iki hedef materyalinden aynı  $\theta$  açısına saçılma oranlarını karşılaştırsak (Au ve Al) 1 nolu saçılma denkleminde aşağıdaki oranı elde edilir:

$$\frac{N_{Au}}{N_{Al}} = \frac{c_{Au} d_{Au} Z_{Au}^2}{c_{Al} d_{Al} Z_{Al}^2} \quad (3)$$

Böylece saçılma deneylerinden Alüminyumun atom numarası aşağıdaki formül ile belirlenebilir:

$$Z_{Al} = \sqrt{\frac{N_{Al}(\theta) c_{Au} d_{Au} Z_{Au}^2}{N_{Au}(\theta) c_{Al} d_{Al}}} \quad (4)$$

ÖNEMLİ NOT:

\*Asla altın ya da alüminyum hedeflere dokunmayınız.

\* Deney sonrası vakum odasının havalandırılması esnasında çok dikkatli olun. Aksi takdirde çok ince olan hedefler zarar görebilir.

## **DENEY DÜZENİĞİNİN KURULUMU**

### **SAÇILMA ODASININ HAZIRLANMASI**

İlk kez kullanırken kapağı açarak saçılma odasını havalandırın. Am-241 kaynağını ana döner kol üzerinde bulunan 4mm lik yuvaya vidalayarak yerleştirin. 5mm lik slit ve altın hedefin içerisinde bulunduğu plastik parçayı (altın hedef arada kalacak şekilde) üst üste koyarak slit düşey pozisyonda kaynağa bakacak şekilde tutucuya yerleştirin. Detektörün saçılma odası iç duvarında bulunan BNC soketine silikon cipin kenarlarının kapağa paralel ve detektörün plastik slitinin kapağa dik olacak şekilde sabitlendiğinden emin olun. Vakum tüpüne hortumun ağzını takın. Saçılma odasının kapağını kapatın. Saçılma odasını vakumlamaya başlayın. Gerekirse kapağın üzerine hafifçe bastırın. Vakum arttıkça kapak kauçuk contaya baskı yaparak koyu renkli siyah şerit 2-3mm kalınlığa ulaşacaktır.

Saçılma odasının vakumlanması için pompanın 6-7 dakika çalışması yeterlidir. Bundan sonra saçılma odasının duvarında bulunan vana kapatılarak vakum pompası kapatılabilir. Vakum pompasından etrafa yağ kaçmasını önlemek için saçılma odasının vakum boşaltma işlemi hava giriş vanasından yapılmalıdır.

## SAYIM CİHAZLARININ HAZIRLANMASI

Saçılma odasını, diskriminatör amplifikatörü ve sayacı şekil 3 te gösterildiği gibi bağlantıları yapın. Potansiyometreyi saat yönünün tersine çevirerek diskriminatörü sıfıra ayarlayın. Detektörle diskriminatör amplifikatörünün 25cm lik kısa kablo ile birleştirilmesine dikkat edin.

## DİSKRİMİNATÖR SEVİYESİNİN AYARLANMASI

Deney düzeneğini 5mm lik slit, detektör ve altın hedefi kullanarak kurup tutucuyu  $30^0$  ye ayarlayın. Bu pozisyonda çok az sayıda  $\alpha$  parçacığı detektöre ulaşacaktır.

Saçılma odasını vakumlayın. Potansiyometre diskriminatör seviyesini ayarlar. Saatin dönüş yönü tersinde tamamen çevirip sıfıra ayarlandığında hiçbir fonksiyon göstermeyip tüm gürültü sinyallerinin geçişine izin verir. Bundan dolayı sayaç hemen aşırı yüklenir ve ekranda “-----” gözlenir. Diskriminatör seviyesini artırmak gürültü sinyallerinden kaynaklanan sayımları azaltacaktır. Doğru diskriminatör seviyesini bulmak için ayar düğmesini yaklaşık çeyrek tur çevirip sayacı sıfırlayın. Diskriminatör seviyesini her iki yönde de değiştirerek gürültü sayım hızının sıfıra düştüğü pozisyonu bulup not edin.

Döndürme kolu yardımı ile açığı  $0^0$  ye ayarlayın. Çok sayıda  $\alpha$  parçacığı detektöre çarpacaktır. Sayaç saniyede 10 ile 100 arasında parçacık sayacaktır. Diskriminatör seviyesini sayım hızı düşmeye başlayıncaya kadar tekrar artırın. Bu pozisyonu da not edin. Diskriminatör seviyesinin doğru pozisyonu gürültünün sıfırlandığı ve  $\alpha$  parçacıklarının sayım hızının düşmeye başladığı bu iki pozisyon arasındadır.

## DENEYİN YAPILIŞI

A) Sayım hızının saçılma açısının fonksiyonu olarak belirlenmesi

**$N_{A,E}$  aktif hale getirmek için MODE düğmesine basarak S sayacını sinyal sayımı için hazır hale getiriniz.**

**Ölçüm zamanını GATE düğmesine 3 kez basarak  $t(0)=100s$  ye ayarlayınız.**

**NOT:  $t(0)=100s$   $15^0$  ye kadar olan küçük açılar için yeterlidir. GATE+ MODE düğmelerine basarak daha uzun ölçüm zamanını 9999s ye kadar ayarlayabilirsiniz. (MODE artırır, GATE azaltır )**

**DİKKAT: Ölçüm süresince hassas olan detektörü özellikle floransan ışığından koruyunuz. Şayet gerekirse saçılma odasının üzerini ölçüm boyunca koyu renkli bir bez ile kapatın.**

$\theta = \pm 5^\circ, \pm 10^\circ, \pm 15^\circ, \pm 20^\circ, \pm 25^\circ, \pm 30^\circ$  dereceleri için ( $n(\theta) > 50$ ) olacak şekilde sayım alınız.

**NOT:** Düzenekteki istenmeyen kaymaların fark edilmesi için ölçümlerin  $\theta = 0^\circ$  etrafında simetrik olarak alınması önerilir.

Tablo 1 de verilen ölçüm zamanlarını kullanınız.  $\pm 5^\circ$  dışındaki açılar için ölçümleri birkaç kez tekrarlayınız.

#### **B) Alüminyumun atom numarasının belirlenmesi**

Dikkatlice saçılma odasını havalandırın. Kapağı açıp altın hedefle birlikte 5 mm lik sliti çıkarın. Daha sonra 1 mm lik slitle birlikte altın hedefi tutucuya yerleştirip saçılma odasının kapağını kapatarak tekrar vakumlayın.

Döndürme kolu ile önce  $+15^\circ$  pozisyonuna ayarlayıp 100s sayım alıp sonra  $-15^\circ$  pozisyonuna geçip tekrar 100s sayım alınız.

Dikkatlice saçılma odasını havalandırın. Kapağı açıp altın hedefle birlikte sliti çıkarın. Daha sonra 1 mm lik slitle birlikte alüminyum hedefi tutucuya yerleştirip saçılma odasının kapağını kapatarak tekrar vakumlayın.

Tekrar  $+15^\circ$  ve  $-15^\circ$  pozisyonlarında sayım alınız. Ancak alüminyum hedeften saçılma hızı az olacağından dolayı ölçüm süresini 1000s olarak ayarlayın.

Açı	Ölçüm süresi	Sayım	Ortalama Sayım	Sayım hızı	Düzeltilmiş Sayım hızı
$\theta^0$	$t(\theta)$ s	$n(\theta)$	$n_m(\theta)$	$N_d(\theta)/ t(\theta)$	$N(\theta)/ t(\theta)$
<b>-30</b>	<b>900</b>				
<b>-25</b>	<b>600</b>				
<b>-20</b>	<b>200</b>				
<b>-15</b>	<b>100</b>				
<b>-10</b>	<b>100</b>				
<b>-5</b>	<b>100</b>				
<b>+5</b>	<b>100</b>				
<b>+10</b>	<b>100</b>				
<b>+15</b>	<b>100</b>				
<b>+20</b>	<b>200</b>				
<b>+25</b>	<b>600</b>				
<b>+30</b>	<b>900</b>				