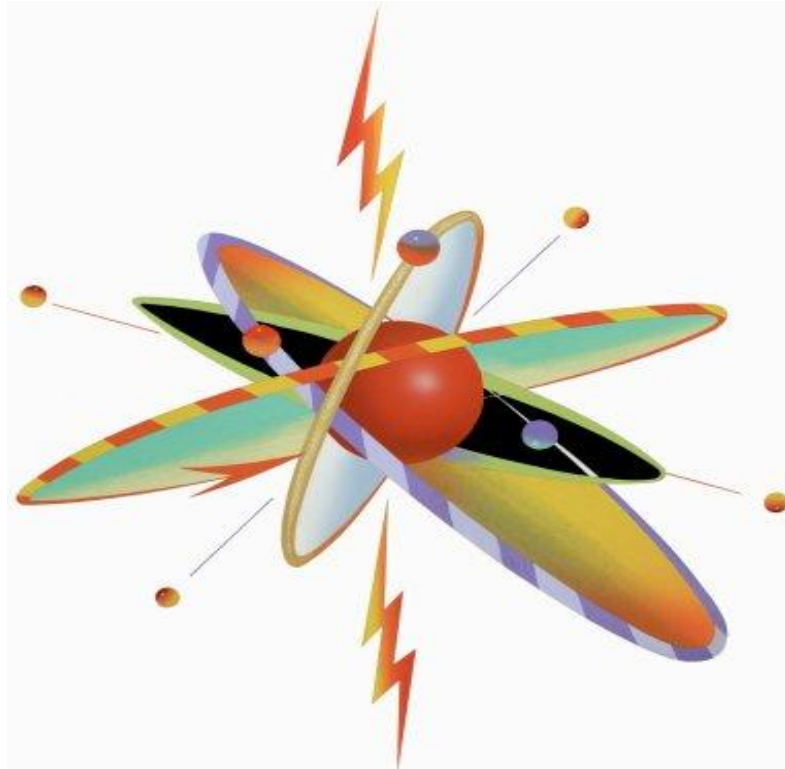




**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN EDEBİYAT FAKÜLTESİ
DERS NOTU**



KUANTUM FİZİĞİ LABORATUVARI-2



HAZIRLAYANLAR

Prof Dr. Yüksel UFUKTEPE

Arş. Gör. Dr. Güvenç AKGÜL

Arş. Gör. Zeliha ZAİMOĞLU

Uzm. Emrumiye ARLI

Duygu YAZICI TÜTÜN

Öznur SOYLU

Elif GÖREN

Zeynep Baz

Adana-2010

ÖNSÖZ

Temel bilimlerin deneysel çalışma olmadan gerçeklik kazanması düşünülemez. Fizik öğrenmek, doğayı anlamak, ancak deneyle mümkündür. Fizikteki kuramları test etmenin bir yolu da deney yapmaktır. Deney, ayrıca bilimi geliştiren temel unsurlardan birisidir.

Bundan önceki derslerinizde pek çok laboratuvar çalışması yaptınız. Bu derste bunlara yeni bir tanesini daha ekleyeceksiniz. Kuantum laboratuvarı deney gereçlerinin tamamı yurt dışından ithal edilmektedir. Mekanik deneyleri gibi basit yapıda olmayıp, deney düzeneklerini oluşturmak için yüksek teknoloji gerekmektedir. Bu nedenle deney araç ve gereçlerini özenli kullanmanız, bunları sizden sonra gelecek öğrencilere sağlam bir şekilde devretmeniz büyük önem taşımaktadır.

Dersten yüksek verim almak için bilinçli deney yapmak çok önemlidir. Yapacağınız deney için mutlaka bir ön hazırlık yapınız. Deney konusunu deney saatinden önce ders ve laboratuvar kitabınızdan dikkatlice okuyunuz. Deneyi sadece aletlerle değil, mutlaka akıl ve mantığınızla, düşünerek yapınız.

Deneye önem vermek daha çok ve daha iyi öğrenmek, anlamak demektir. Böylece öğrendikçe fiziği daha çok seveceksiniz.

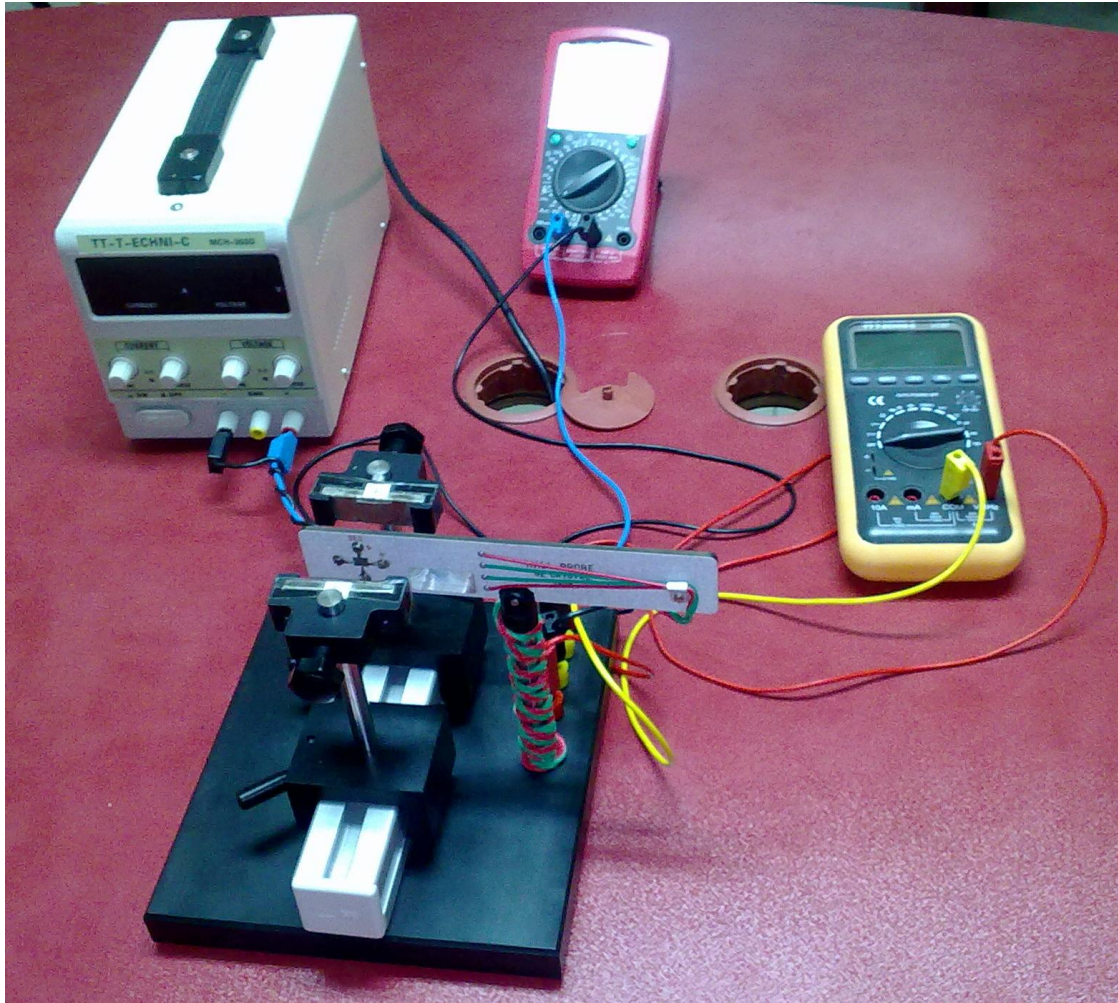
LABORATUVAR DERS KURALLARI

1. Derslerin sizlere ilan edilen başlangıç saatinden 15 dakika daha geç gelen öğrenciler, laboratuvar dersine kesinlikle alınmaz.
2. Her öğrenci internette ve panolarda ilan edilecek gruplarla birlikte derslere katılmak zorundadır. Önemli bir mazereti olmadığı sürece grup değişikliği asla yapılmayacaktır.
3. Öğrenciler laboratuvar ders notlarına bölümün internet sayfasında ulaşabilirler. Öğrenciler derslere gelirken bu ders notlarının çıktısını getirmekle yükümlüdür. Ders notları olmayan öğrenciler o derse asla kabul edilmeyecektir.
4. Öğrencilerin devamsızlıkları, bir dönemdeki toplam deney saatlerinin %20' sinden fazla olamaz. Mazeretsiz olarak %20' den fazla devamsızlık yapan öğrenciler devamsızlıktan kalırlar.
5. Her öğrenci o gün yapacağı deneyi kavrayabilmek ve deneyi sağlıklı ve hızlı bir şekilde yapabilmek için hazırlıklı gelmek zorundadır. Föyünüzde o haftaki deneyle ilgili “Ön Çalışmalar” kısmını okuyup size yönlendirilen soruları doldurmanız gerekmektedir. Her hafta yapacağınız deneylerle ilgili olarak derse başlamadan önce küçük bir sınav yapılacaktır. Doldurduğunuz ön çalışmalar kısmı ve yapılan quiz sınavı her deneyin başında laboratuvar görevlileri tarafından kontrol edilecek ve alacağınız rapor notuna belirli oranlarda etki edecektir.
6. Öğrencilerin dönem sonunda alacağı ders notuna, deney başlangıcında yapılacak quiz, deney esnasındaki performansı rapor notları ve dönem sonunda yapılacak final sınavı notları belirli oranlarda etki edecektir. Bu oranlar dönem başında laboratuvar görevlileri tarafından sizlere duyurulacaktır. Her hafta aldığınız notlar internet üzerinden ve diğer hafta ders başlangıcında sizlere ilan edilecektir.
7. İlk ders saatinde, dönem boyunca kullanacağınız deney araç ve gereçlerinin kullanım amacı ve nasıl kullanılacağı sizlere öğretilecektir. Deneylerde, elektrik gerilimi, ufak ve çabuk zarar görebilen devre elemanları ve hassas düzenekler mevcuttur. Bu nedenle kullanacağınız deney aletlerine zarar vermemek için, deney düzeneğini dikkatli bir şekilde kurduktan sonra devreye güç vermeden laboratuvar görevlilerine devreyi kontrol ettirmeniz çok önemlidir.
8. Her öğrenci deneyi bitirdikten sonra deney föyünde bulunan rapor kısmını ders saati içinde dolduracak ve ders saati sonunda laboratuvar görevlilerine teslim edecektir. Bu nedenle her öğrencinin deneye gelirken o deneyle ilgili getirmesi gereken hesaplama ve ölçüm araçlarını yanında bulundurması zorunludur.
9. Laboratuvar görevlileri tarafından gerekli görülürse, belirlenen bir günde belirli sayıda deney için, mazeretli öğrencilere telafi hakkı verilecektir.

İÇİNDEKİLER

DENEY 1.	Hall Olayı Deneyi	1
DENEY 2.	Nükleer Manyetik Rezonans (NMR) Deneyi	11
DENEY 3.	Millikan Yağ Damlası Deneyi	19
DENEY 4.	Elektron Spin Rezonansı (ESR) Deneyi	29
DENEY 5.	Cıvalı Franck Hertz Deneyi	43
DENEY 6.	Foto Direnç Akım-Gerilim Karakteristiği Deneyi	55
DENEY 7.	Soğurma Tayfölçer Deneyi	66
DENEY 8.	Compton Saçılması Deneyi	74

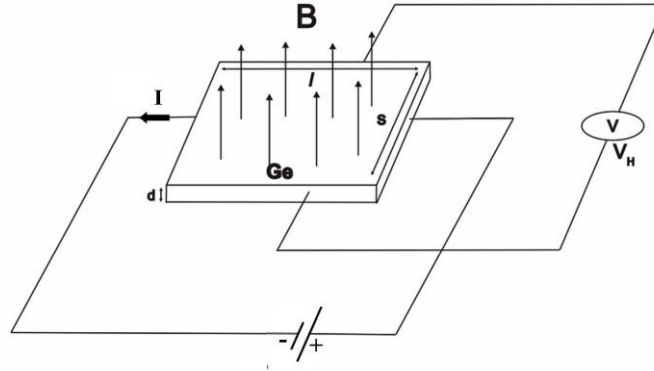
1-HALL ETKİSİ



DENEYİN AMACI: Yarı iletken madde içinde bulunan yük taşıyıcıların tipini, Hall katsayısını, yük yoğunluğunu ve mobilitasını belirlemek.

1. TEORİ

Akım taşıyan iletken bir manyetik alan içine yerleştirildiğinde, hem akıma hem de manyetik alana dik yönde bir potansiyel fark üretilir. Bu olay ilk olarak 1879 da Edwin Hall tarafından gözlenmiştir ve Hall olayı olarak bilinir.



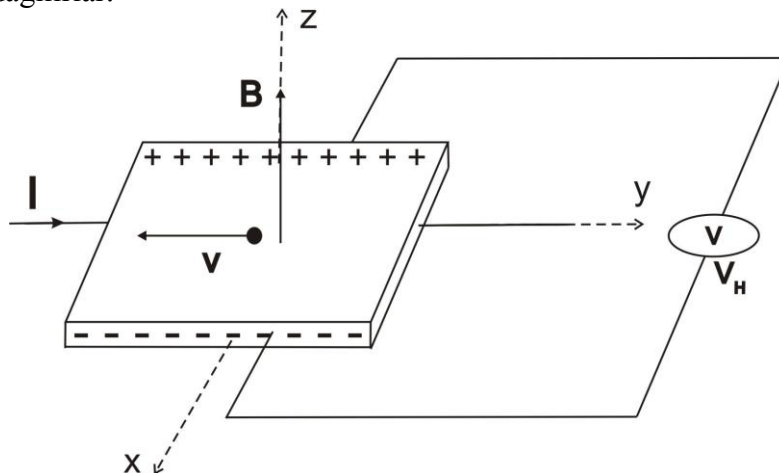
Şekil 1. Hall Etkisi Deney Düzeneği

Şekil1’de bir Hall Etkisi deneyinin düzeneği gösterilmektedir. Görüldüğü gibi manyetik alan etkisi altında kalmış yarı iletken maddeye voltaj uygulanarak akım verilir (Kontrol Akımı). Manyetik alan sonucu hareket eden yükler Lorentz Kuvveti:

$$\mathbf{F}_L = q \mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad (1)$$

İle verilir ve yük taşıyıcının cinsine bağlı olarak yarı iletken maddenin bir kenarında toplanırlar. (1) denkleminde q elektronun ya da holün yükünü, $\mathbf{v}$ ise hızını ifade eder.

N-tipi bir yarı iletken maddede yük taşıyıcılar akımın ters yönünde hareket eden negatif yüklü elektronlardır ve x -yönünde bir kuvvetin etkisinde kalıp yarı iletken maddeye Şekil 2 ‘de görüldüğü gibi dağılırlar.



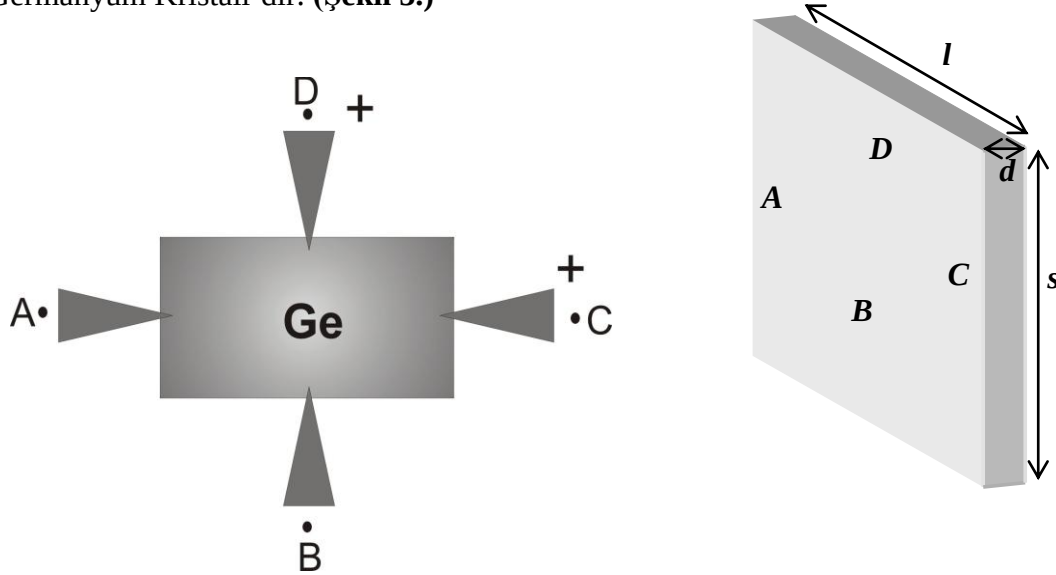
Şekil 2. N- tipi bir yarıiletkende Hall etkisi

Bu yük dağılımı sonucunda oluşan kutuplaşma sonucu bir elektrik alan oluşur (E_H). Yük taşıyıcı yöneltimi devam ettikçe elektrik alan çoğalır ve manyetik kuvvetin tersine bir elektrostatik kuvvet uygular. Bu durumda elektrik alan manyetik kuvveti dengelediğinde kenarlara yük taşınımı durur. Bu denge pozisyonunda yarı iletken maddedeki yük farkından dolayı oluşan voltaja *Hall Voltajı* (V_H) denir.

P-tipi bir yarı iletken maddede yük taşıyıcılar akımla aynı yönde giden pozitif yüklü hollerdir. Bu yük taşıyıcıları da, n-tipi bir yarı iletken maddede olduğu gibi, pozitif x-yönünde bir kuvvetin etkisinde kalırlar. Bu durumda, hollerin hareketi sonucu oluşan Hall Voltajı' nın işareti elektronların oluşturduğu Hall Voltajı işaretine zıttır.

Bu durum bizim yük taşıyıcıların ve yarı iletkenin hangi tip olduğunu anlamamızı sağlar.

Bu deneyde kullanacağımız yarı iletken madde 7,5 x 5 x 0,5 (l, s, d) mm ölçülerinde Germanyum Kristali'dir. (Şekil 3.)



Şekil 3. Ge kristali

AC noktaları arası yarı iletkene voltaj uygulanır. BD noktalarına voltmetre bağlanır ve Hall Voltajı ölçülür. Kristalin hangi tip olduğunu anlamamız için kristali n-tipi kabul edip, 'D' noktasında bir '+' kutuplaşma olduğunu varsayıp, voltmetreyi devreye o şekilde bağlarız (kristalin '+' noktasından çıkan kablo voltmetrenin '-' ucuna girip '+' ucundan çıkar). Okuduğumuz değer pozitif ise varsayımımız doğru; yarı iletken madde n-tipidir. Değer negatif ise kristal p-tipidir.

Hall elektrik alanına E_H dersek ve $F = qE$ olduğuna göre Lorentz Kuvveti ve elektrik alanın denge konumunda:

$$F_L = qE_H \quad (2)$$

$$qE_H = q \mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad (3)$$

$$\mathbf{E}_H = \mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad (4)$$

denklemini elde ederiz. Şekil 1 ve Şekil 4 'de gördüğümüz gibi, s yarı iletkenin genişliği ve d yükler arası olan uzaklıktır. Bu durumda Hall Voltajını:

$$V_H = E_H s = vBs \quad (5)$$

şeklinde ifade edebiliriz. Yüklerin hızını bulmak için:

$$I = nAvq \quad (6)$$

$$v = \frac{I}{nAq} \quad (7)$$

formülünü kullanırız. Burada A yarıiletkenin kesit alanını , n ise yük yoğunluğunu belirtmektedir. Ardından (5) ve (7) formüllerini kullanarak Hall Voltajı;

$$V_H = \frac{IBs}{nqA} = \frac{IBs}{nqds} = \frac{IB}{nqd} \quad (8)$$

şeklinde gösterebiliriz. Bu denklemde $\frac{1}{nq}$ terimi *Hall Katsayı*'sını ifade eder.

Hall Mobilitesi (μ): Hall Etkisi deneyinde iki türlü elektrik alan oluşur. Bir tanesi önceden de belirttiğimiz şekilde yük taşıyıcıların dağılımı sonucu oluşan E_H , diğeri ise yarı iletken maddeye verilen voltaj sonucu oluşan E_{uyg} ' dur. Yük taşıyıcıların hızının sisteme verilen voltaj sonucu oluşan elektrik alanına oranına *Hall Mobilitesi* denir ve,

$$E_{uyg} = \frac{V_{uyg}}{l} \quad (9)$$

şeklinde ifade edilir. Hall Mobilitesini,

$$\mu = \frac{v}{E_{uyg}} \quad (10)$$

ve cismin iletkenliğini de

$$\sigma = \frac{l}{RA} \quad (11)$$

şeklinde ifade edersek Hall Mobilitesini (7) , (9) , (10) ve (11) denklemleri kullanarak

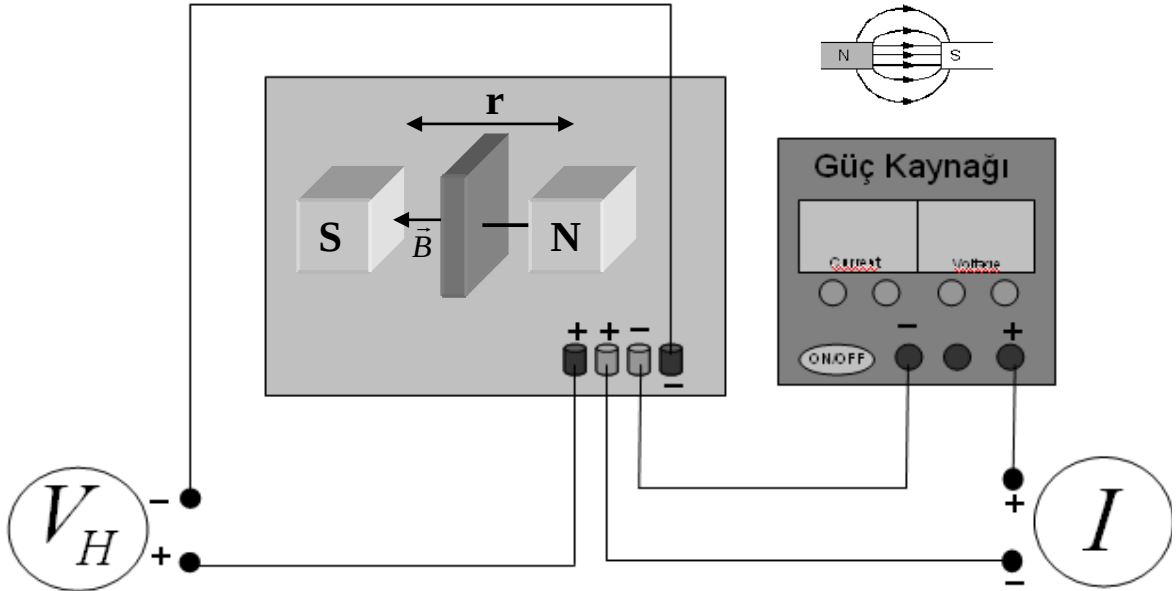
$$\mu = \frac{l}{E_{uyg}} = R_H \sigma \quad (12)$$

şeklinde tanımlayabiliriz.

Soru: Hall Etkisini kullanarak, herhangi bir yerdeki manyetik alanın yönünün ve şiddetinin nasıl ölçüleceğini formülünü de çıkararak açıklayınız

2.DENEY

2.2.Deneyin Yapılışı:



Şekil 4. Deneyin Kuruluşu

1. Deney düzeneği Şekil 4 'de görüldüğü gibi kurulmuştur.
2. Hall Voltajı değerinin pozitif veya negatif olduğuna bakın. Yük taşıyıcılarının vektörel hızını ve manyetik alanın vektörel büyüklüğünü çizdikten sonra Lorentz kuvveti bağıntısını kullanarak, yarı iletkenin N-tipi ya da P-tipi olduğuna karar verin.
3. Güç kaynağı ve avometreleri açın.
4. Voltajı değiştirerek 2.avometredeki akım değerini 3.0 mA'e getirin ve 1.avometreden Hall Voltaj değerini belirleyip bu değerle devreye verilen voltaj (güç kaynağında yazan voltaj) değerini Tablo 2.1 'e not alın. Aynı işlemi akımın yönünü değiştirip tekrarlamak için güç kaynağının artısından çıkan kabloyla eksisine giren kablonun

yerini değiştirin. Çıkan değerdeki (–) işareti akımın ters yönde olduğunu gösterdiği için mutlak değeri Tablo 2.1 ‘e not alınız.

Not: Akımın yönünü ters çevirdikten sonra akım değeri bir miktar değişebilir. Tekrar ölçüm yaptığınız akım değerine ayarladıktan sonra Hall Voltajını ölçünüz. Akım yönünü değiştirmeden önce akımı sıfırlayınız.

5. Yukarıdaki işlemleri kontrol akım değerini sırasıyla 5.0, 7.0 ve 9.0 mA’ e getirerek tekrarlayın ve verilerinizi Tablo 2.2, Tablo 2.3 ve Tablo 2.4’ e not alın.
6. Cihazları kapatın. Manyetik alan yönleri 1. mıknatıs grubu ile aynı olacak şekilde yerleştireceğiniz 2. ve 3. mıknatıs grupları içinde 2. adımdan başlayarak aynı işlemleri tekrarlayınız.
7. Manyetik alanın yönünü ölçtükten hemen sonra aldığımız V_{H1} değerinden yola çıkarak yarı iletkenin (+) kısmında toplanan yükün cinsini göz önüne alıp, akımın yönü ve manyetik alanın yönünü de kullanarak, yarı iletken maddenin hangi tip olduğuna karar veriniz.
8. Her kontrol akımı için ortalama Hall Voltajı değerini (V_{H-ort} (mV)) hesap edin ve Tablo 2.1, Tablo 2.2, Tablo 2.3 ve Tablo 2.4’ e not alın.
9. Her kontrol akımı için hesap ettiğiniz. Hall Voltajı değeri ile manyetik alan grafiğini çizin.
10. Bu grafiklerin eğimlerini ve (8) denklemini kullanarak her kontrol akımına karşı gelen Hall Katsayısını ardından yük yoğunluğunu hesap edip Tablo 3 ‘e not alın. ($e = 1.6 \times 10^{-19} C$)
11. Bu değerlerin ortalamasını hesaplayıp Tablo 3 ‘e yazınız.
12. Yarı iletken maddenin direncini bulmak için önce direnci, devreye verilen voltaj değerlerini, onlara eş gelen kontrol akım değerlerine bölerek hesaplayın, bu değerleri ve ortalama direnci Tablo 3 ‘e not alın.
13. Her kontrol akım değerine karşılık gelen direnci hesaplayın, değerleri ve ortalama direnci Tablo 3’ e yazınız.
14. Her kontrol akım değerine karşılık gelen iletken değerini hesaplayın, değerleri ve ortalama iletkenlik değerini Tablo 3’ e yazınız.
15. Her kontrol akım değerine karşılık gelen mobilite değerini hesaplayın, değerleri ve ortalama mobilite değerini Tablo 3’ e not alın ($\mu = R_H \sigma$).

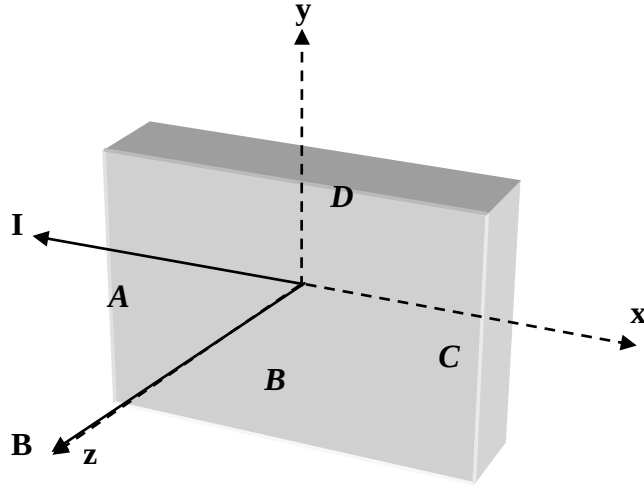
3. Sonuç ve Rapor

Ad Soyad:

No:

Grup:

Tarih:



Hesaplamalar: Bir p-tipi bir yarıiletken *şekilde gösterilen yönlerde akım ve manyetik alan uygulanıyor. Lorentz kuvvetinin yönünü göstererek, taşıyıcıların kristal içindeki konumunu belirleyiniz.*

Tablo 2.1, 2.2, 2.3 ve 2.4 almış olduğunuz verileri kullanarak **tablo 3**'ü doldurunuz.

Not: Hesaplamalarda manyetik alan şiddetini mT'dan Wb/cm² 'ye çevirip kullanmanız gerekiyor. Aşağıda çevirme katsayıları verilmiştir.

$$1 \text{ Tesla} = 10^4 \text{ Gauss}$$

$$1 \text{ Gauss} = 10^{-8} \text{ Wb/cm}^2$$

Tablo 2.1

I=3 mA $V_{uyg} =$

Manyetik Alan (Wb/cm ²)	V_{H1} (mV)	V_{H2} (mV)	V_{H-ort} (mV)
11.8 mT			
20.2 mT			
26.7 mT			

Tablo 2.2

I=5 mA $V_{uyg} =$

Manyetik Alan (Wb/cm ²)	V_{H1} (mV)	V_{H2} (mV)	V_{H-ort} (mV)
11.8 mT			
20.2 mT			
26.7 mT			

Tablo 2.3

I=7 mA $V_{uyg} =$

Manyetik Alan (Wb/cm ²)	V_{H1} (mV)	V_{H2} (mV)	V_{H-ort} (mV)
11.8 mT			
20.2 mT			
26.7 mT			

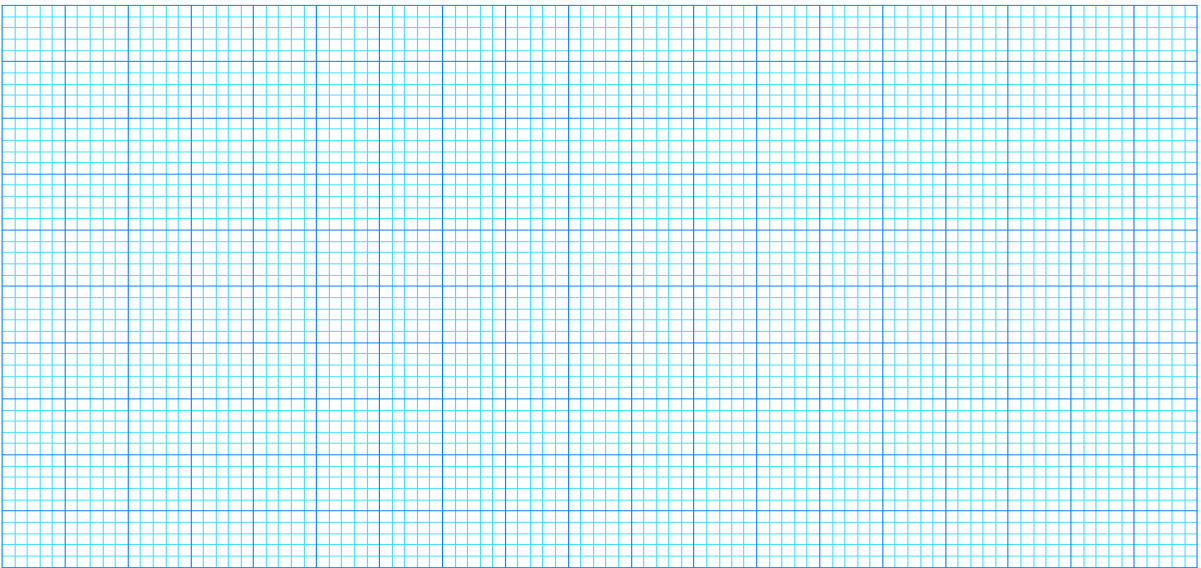
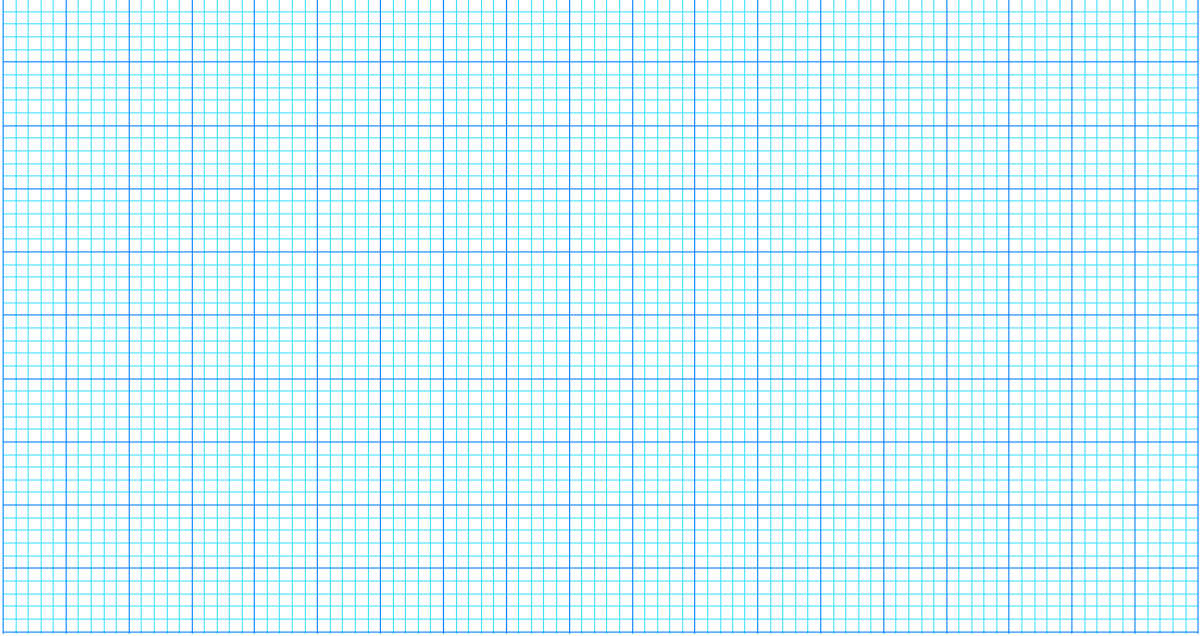
Tablo 2.4

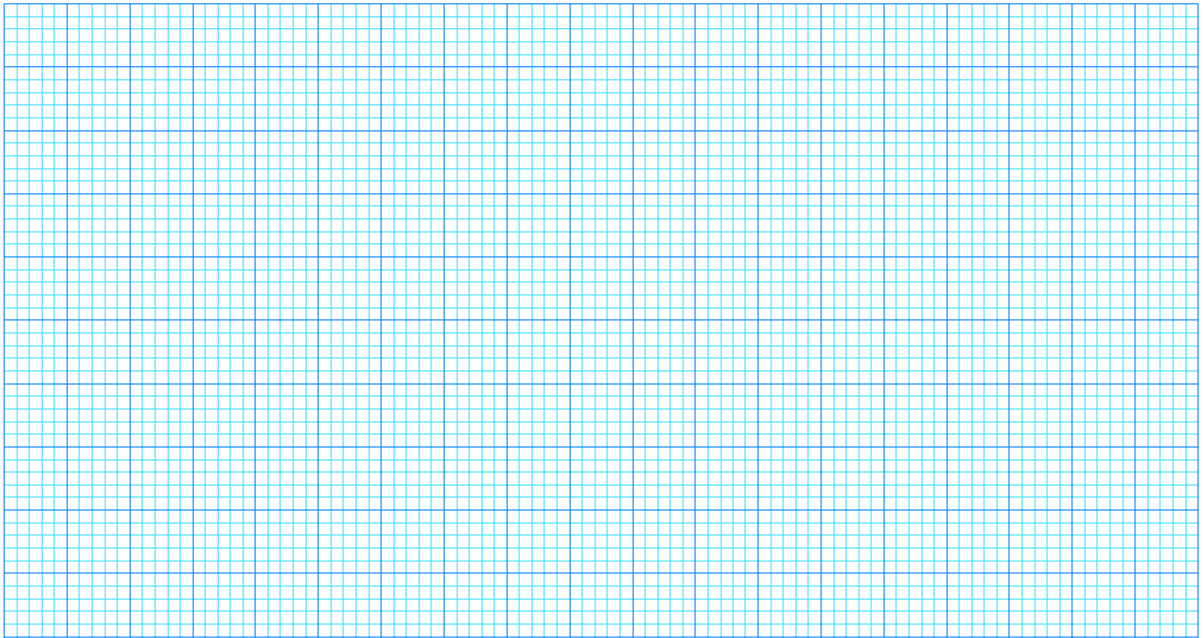
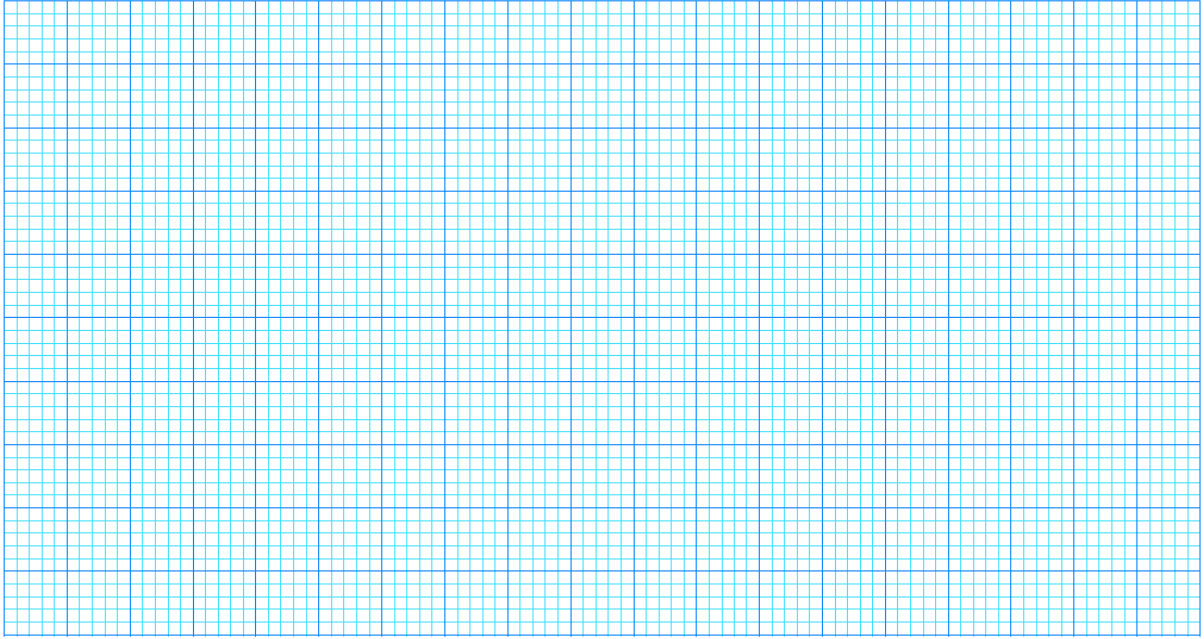
I=9 mA $V_{uyg} =$

Manyetik Alan (Wb/cm ²)	V_{H1} (mV)	V_{H2} (mV)	V_{H-ort} (mV)
11.8 mT			
20.2 mT			
26.7 mT			

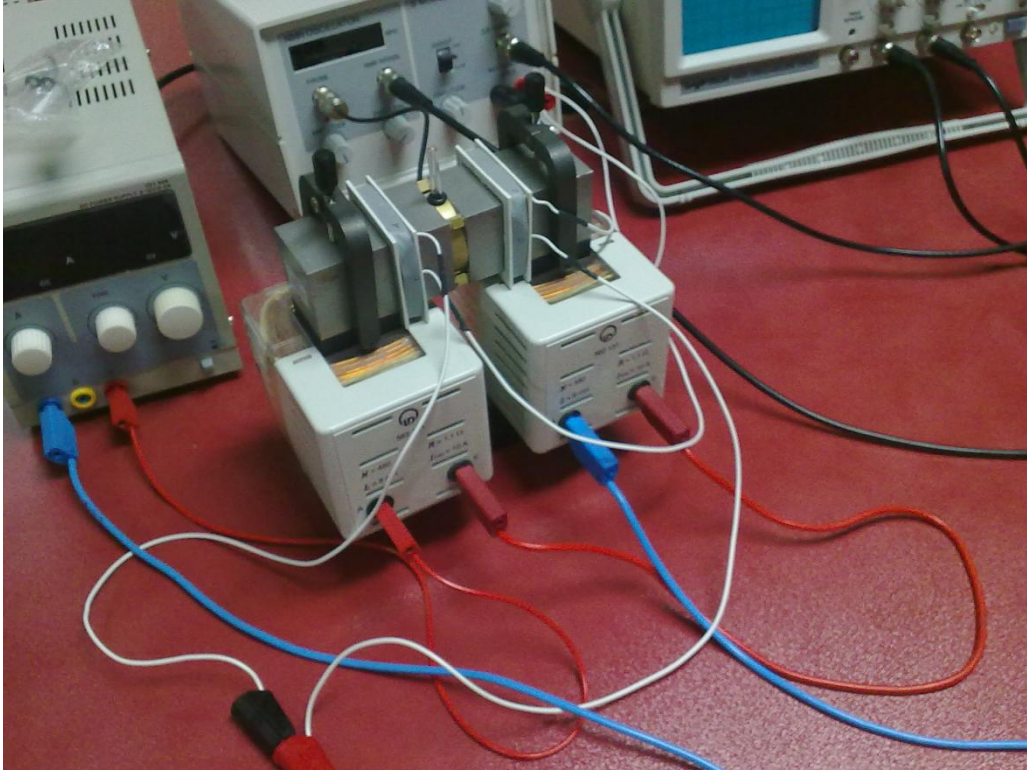
Tablo 3

Uygulanan Voltaj	Kontrol Akımı	Hall Katsayısı	Yük Yoğunluğu	Direnç	Özdirenç	İletkenlik	Mobilite
	Ortalama						





2- NÜKLEER MANYETİK REZONANS (NMR)



DENEYİN AMACI: Gliserin atomu çekirdeklerinde NMR sinyallerinin gözlemlenmesi ve g-katsayısının deneysel olarak hesaplanması.

1. TEORİ

Nükleer manyetik rezonans (NMR) 1945 yılında Bloch ve Purcell tarafından keşfedilmiştir. NMR spektroskopisi günümüzde biyoloji ve kimyada önemli bir standart Yöntemdir. Medikal uygulamalarda NMR Magnetik Rezonans Görüntüleme (MRG) adı altında kullanılmaktadır. Çekirdeklerdeki bu mıknatıslanma ayrıca, tıpta hastalık teşhisinde kullanılan magnetik rezonans görüntülemesi (Magnetic Resonance Imaging), spektroskopisinin de temelini oluşturur. NMR deneyi sıvı ve katı örneklerde NMR'ın temel olgusunu gösterecek ve kimya ve biyolojide spektroskopisi uygulamalarına dair bir izlenim verecektir.

Elektronların çekirdek etrafında ve kendi etrafında döndüklerini biliyoruz. Çekirdeklerdeki proton ve nötronlar da dönerler. Bu yüzden proton ve nötronların dağılımına göre, çekirdek de dönebilir. Dönme halindeki bir çekirdek, mıknatıs çubuk gibi davranır. Dönme halindeki çekirdeklere örnek hidrojen(1) (proton), flor(19) ve karbon(13)' tür. Çekirdeklerdeki mıknatıslanma, elektronlardakine oranla çok düşüktür. Buna rağmen, iyi kurulmuş bir ekipmanla kolayca tespit edilebilir ve moleküllerin yapısına karar vermek için kullanılan yöntemlerden biri olan nükleer magnetik rezonans (NMR) spektroskopisinin temelini oluşturur.

Nükleer magnetik rezonansı anlamak için protona daha yakından bakmalıyız. Protonun da elektron gibi iki dönme yönü vardır(+1/2 ve -1/2). Magnetik alan yokluğunda bu iki yönünde enerjisi aynıdır, fakat dışarıdan güçlü bir magnetik alana maruz kalırlarsa, farklı enerjilere sahip olurlar.

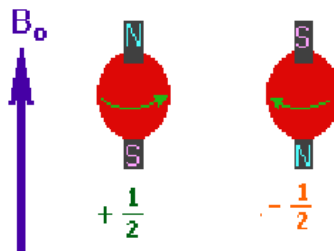
NMR olayını anlamak için aşağıdaki olaylara kısaca bakmalıyız;

1) Aşağıdaki şekil1 de gösterildiği gibi spini olan yüklü bir parçacık manyetik alan üretir. Böylece spin ile orantılı bir manyetik momente sahip olur (μ).



Şekil 1. Spini olan yüklü bir parçacık

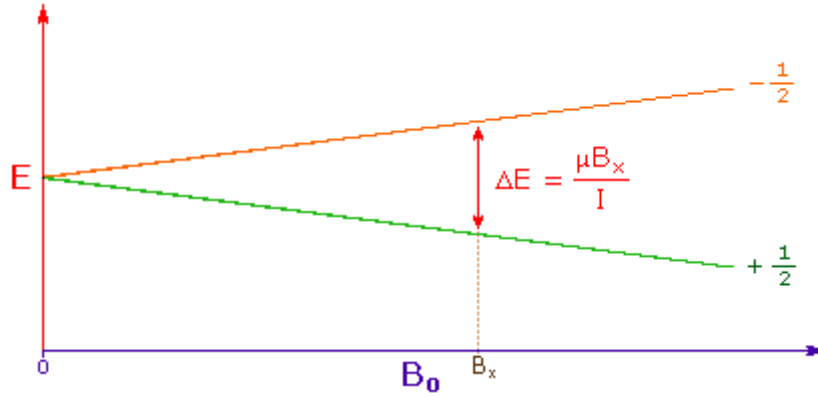
2) Bir B_0 dış manyetik alan varlığında protonlar +1/2 ve -1/2 iki spin durumuna sahip olur.



Şekil 2. +1/2 ve -1/2 iki spin durumu

+1/2 daha düşük enerjili spin durumundaki manyetik moment dış manyetik alan yönünde hizalanır ,fakat -1/2 daha yüksek enerjili spin durumundaki manyetik moment dış manyetik alanın zıt yönünde hizalanır.

3) B_0 , dış manyetik alan varlığında aşağıdaki şekil3 de görüleceği gibi -1/2 spin durumundaki protonlar daha yüksek enerjili ve +1/2 spin durumundaki protonlar daha düşük enerjili bölgede yer alır ve aralarında ΔE enerji farkı ile birbirinden ayrılır. Bu ΔE enerji farkı B_0 dış manyetik alan şiddeti ile doğru orantılı olarak artmaktadır.



Şekil 3. B_0 manyetik alanında spini $I = \frac{1}{2}$ olan bir çekirdeğin enerji yarılımları.

Şimdi NMR olayını kısaca formulize edelim;

Biliyoruz ki NMR çekirdeğin magnetik özelliklerine dayanır. Atom nükleer spini I olan çekirdeği ile birlikte bir magnetik momente (μ) sahiptir.

$$\mu = -g \cdot \mu_N \cdot I \quad (1)$$

Burada μ_N : nükleer magneton, g : g -faktörü

Nükleer moment (μ), statik magnetik alan B_0 ile ilgili olarak sadece belli bir yönde yönelebilir. Her spin yönelimi aşağıdaki şekilde verilen belirli enerji seviyelerine uyar.

$$E_k = -g \cdot \mu_N \cdot B_0 \cdot k \text{ (burada } k = -I, (-I+1), \dots, (I-1), \text{)} \quad (2)$$

Bir numune B_0 magnetik alanı içine yerleştirilirse, nükleer spinler Boltzman denkleminde uygun olarak enerji seviyeleri üzerinden dağılır.

$$\frac{N_k}{N_{k+1}} = \exp\left(-\frac{E_{k+1} - E_k}{k_B T}\right) \quad (3)$$

Burada k_B : boltzman sabiti, N_k : k - seviyesindeki spinlerin sayısıdır.

Numune B_0 dış manyetik alanına maruz bırakıldığı zaman spinler komşu enerji seviyeleri E_k arasında atlamalar sonucu uyarılabilir. -1/2 spin durumundaki protonlar daha yüksek enerji seviyesine ve +1/2 spin durumundaki protonlar daha düşük enerji seviyesine geçerler. Dolayısı ile çekirdeği yüksek enerji seviyesine çıkarmak için dışarıdan +1/2 spinli protonlar enerji seviyesi arasındaki ΔE enerjisi kadar dışarıdan bir enerji soğurmalıdır. Dışarıdan uygulanan bu enerji $h\nu$ dur. Biz bu enerjiyi çekirdeğe RF (Radyo

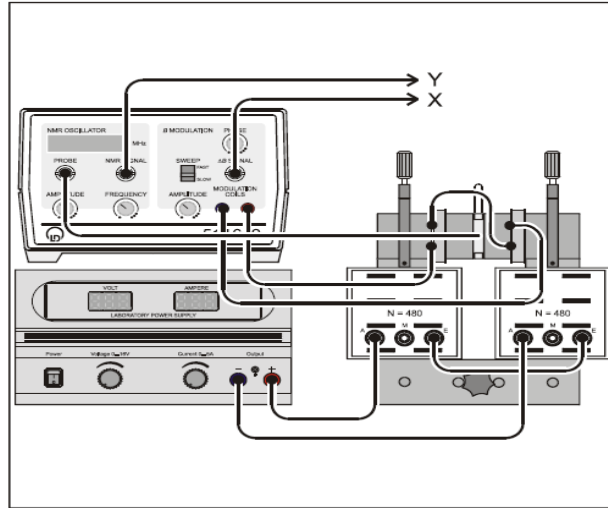
frekansı) uygulayarak veriyoruz. Böylece ΔE enerji farkı ile dışarıdan çekirdeğe uyguladığımız enerji birbirine eşit olduğu durum rezonans olarak adlandırılır.

$$h \cdot \nu = E_{k+1} - E_k = -g \cdot \mu_n \cdot B_0 \quad (4)$$

Burada h : planck sabiti.

2. DENEY

2.1. Deneyin Yapılışı

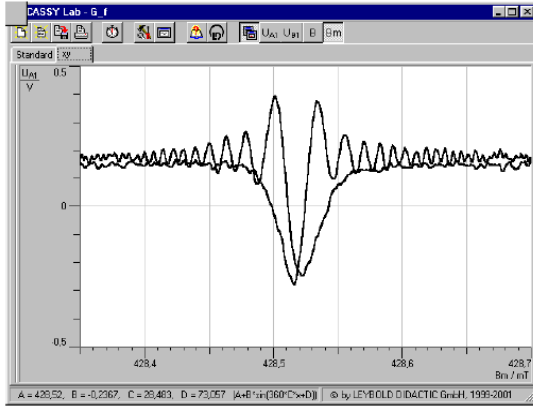


Şekil 2. NMR deneyinin şematik gösterimi.

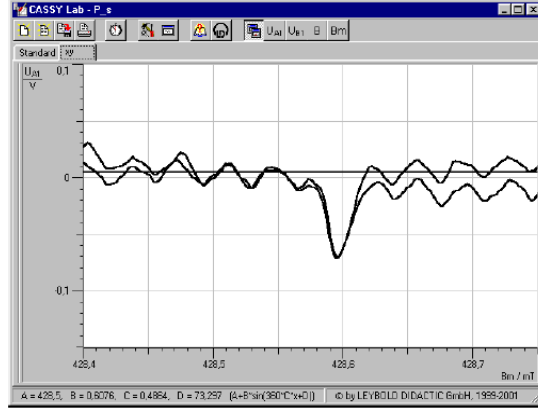
- Hızlı süpürme (Fast sweep) yi seçin ve modülasyon genliğini (modulation amplitude) yüksek bir değere ayarlayın,
- Frekansın değerini maksimum değere ayarlayın,
- Kırmızı LED yanınca ve frekans değeri ekranda yaklaşık olarak 19 Mhz' i gösterinceye kadar yüksek frekans genliğini yavaşça yükseltin,
- Frekans değerini yaklaşık 18.5 MHz değerine azaltın,
- Örnek ölçüm haznesinin merkezinde bulunsun diye gliserin örnek tüpünü (8 proton) O-halkasının içine yerleştirin,
- Dikkatlice örnek tüpünü ölçüm haznesinin içine yerleştiriniz.
- NMR sinyali osiloskop ekranında belirinceye kadar 10 A'lık sarım halkasındaki akımı güç kaynağını kullanarak yavaşça arttırınız.
- Sinyali iyileştirmek için yavaşça yüksek frekans (HF) genliğini değiştiriniz,
- Mıknatıs akımını veya frekansı değiştirerek NMR sinyalini osiloskop ekranının merkezine taşıyın ve modülasyon genliğini ayarlayınız.
- Üst ve alt yayılımlar üst üste bininceye kadar sinyalin fazını ayarlayın,
- Aynı işlemleri su örneği, polyester örneği ve polytetrafluorethylene için tekrarlayınız.

3. NMR Ölçüm Örnekleri

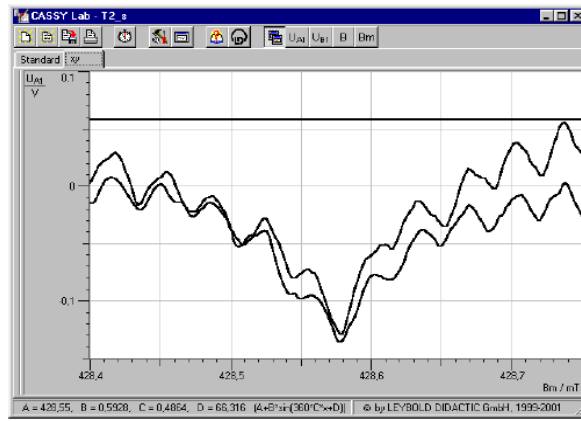
3.1. Protonlu sıvı ve katı örneklerde NMR



Gliserin, $\nu = 18.25$ MHz, $I = 3.6$ A, X-Y ekranı



Polyester, $\nu = 18.25$ MHz, $I = 3.6$ A, X-Y ekranı



Polytetrafluorethylene, $\nu = 17.17$ MHz, $I = 3.6$ A, X-Y ekranı

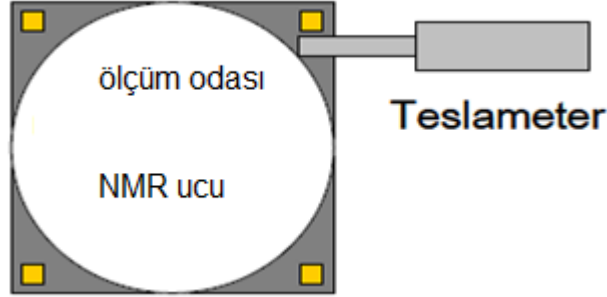
Şekil 3. Bazı örnekler için gösterilen değerlerde osiloskop xy-modunda iken ekranında görünen NMR sinyalleri

Soru1: NMR deneyinde dış manyetik alan uygulamamızın nedenini açıklayınız. Kuantum mekaniksel olarak atomdaki enerji seviyelerinin yarılmaması hakkında kısaca bilgi veriniz.

Soru2: 393 mT dış manyetik alan içinde bulunan gliserin numunesinin NMR deneyi yapıldığında g-faktörü 6.1 bulunuyor. Bu rezonans durumunda olabilmesi için numune dışarıdan ne kadarlık bir frekansa sahip bir foton soğurması gerekir?

3.Ölçümler ve değerlendirme

3.1. g -katsayısının Belirlenmesi



Şekil 4. Teğetsel B-probunun yerleştirilmesinin şematik şekli.

Örneklerin g -faktörünün hesaplanabilmesi için $\frac{\nu(\text{MHz})}{B_0(\text{mT})}$ oranı gerekmektedir. Bu

oranın belirlenmesi için Tablo 1.'i aşağıdaki işlemleri yaparak doldurunuz.

- Frekansı 17.5 MHz'den başlayarak 19.5 MHz'e kadar farklı frekanslar için 10 A'lık bobinler üzerindeki akımı değiştirip NMR sinyalini elde edin.
- Elde ettiğiniz değerlere karşılık gelen frekans değerini ve Teğetsel B -probunu kullanarak Şekil 4'deki gibi dış manyetik alanı ölçün.

4. Sonuç ve Rapor

Ad Soyad:

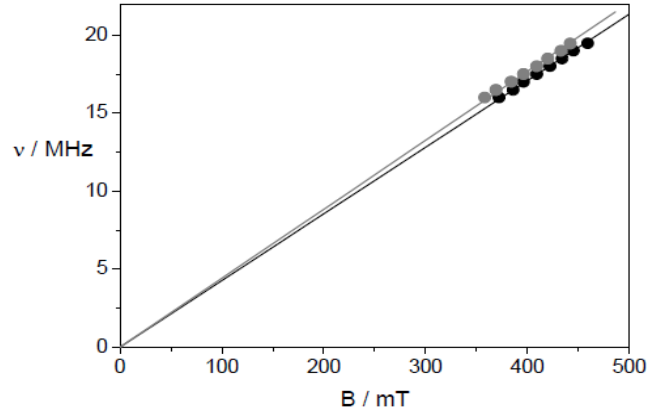
No:

Grup:

Tarih:

ν (MHz)	B_0 (mT)

Tablo 1: ν (MHz) ve B_0 (mT) değerleri



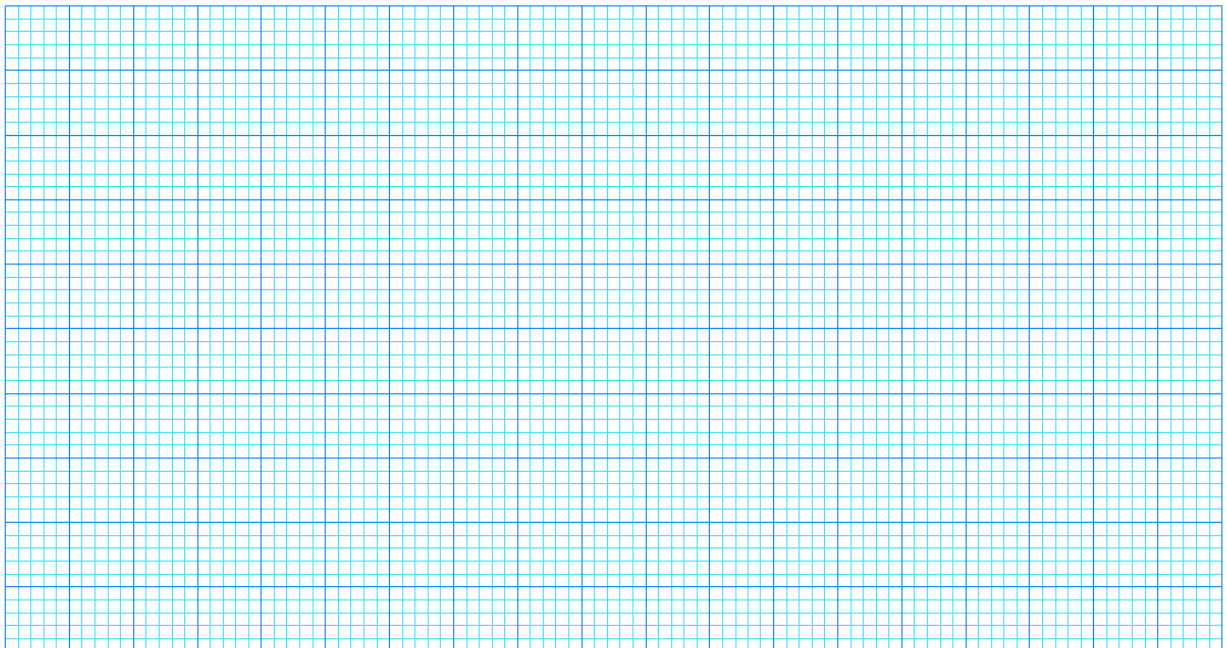
Şekil 5. Gliserin (gri) ve Flor (siyah) g-katsayılarını belirlemek için rezonans frekansının magnetik alan cinsinden grafiği.

Rezonans durumuna göre (denklem 4) gliserinin nin g - katsayısı;

$$g = \frac{h}{\mu_N} \cdot \left(\frac{\nu}{B_0} \right)$$

İfadesi ile elde edilebilir. Burada $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, $\mu_N = 5,051 \cdot 10^{-27} \text{ J/T}$ dir. Böylece

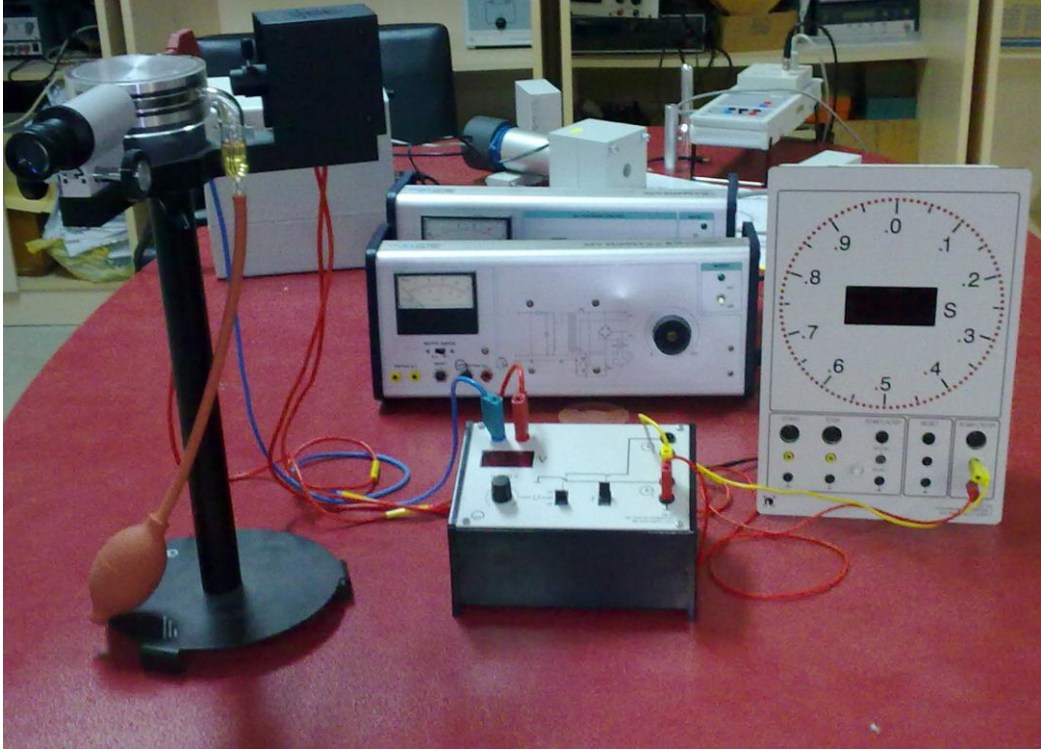
ν/B_0 değeri rezonans frekansının magnetik alan fonksiyonu cinsinden grafiği ile belirlenebilir. (Şekil-5)



Hesaplamalar: *Tablo1`deki verileri kullanarak Gliserin için g-faktörünü deneysel olarak hesaplayınız.*

SONUÇ ve YORUM:

3-MİLLİKAN YAĞ DAMLASI



DENEYİN AMACI: Kapasitör plakaları arasında hareket eden yağ damlacığının yarıçap ve yükünün hesaplanması.

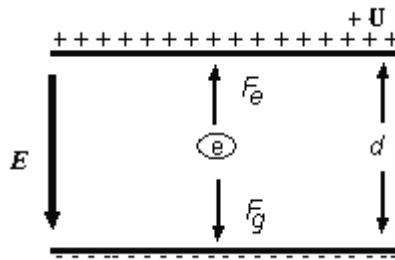
1. TEORİ

1909 yılında, Robert A. Millikan yağ damlası deneyi ile elektronun yükünü ölçmeyi başarmıştır. Bunun için, Şekil 1’de gösterildiği gibi paralel duran iki plaka arasına gönderdiği m kütleli elektrik yüklü küresel yağ damlacığını, plakalara uygulanan potansiyel ile yağ damlacığının üzerine zıt yönde bir elektriksel kuvvet uygulayarak, yağ damlacıklarının boşlukta hareketsiz kalmasını sağladı. Levhalar arasına uygulanan E elektrik alanın değerini bildiğinden, damlacık üzerindeki yük miktarı,

$$q = \frac{mg}{E} = \frac{4\pi}{3} r^3 \frac{\rho g}{E} \quad (1)$$

eşitliği ile belirlenir. Burada ρ ; yağın yoğunluğu, g ; yer çekim ivmesidir. Millikan, deneyini aynı yağ damlacığı için pek çok kez tekrarladı ve ölçtüğü değerlerin hep aynı sayının katları olduğunu gördü. Aynı şekilde deneylerini farklı yağ damlacıkları için tekrarladı. Ölçtüğü değerlerin $q_n = ne(1.602 \times 10^{-19} \text{ C})$ ile gösterilebileceği sonucuna vardı. Burada n bir tam sayıdır. Böylece Millikan kendi adıyla anılan meşhur Millikan yağ damlası deneyi ile iyonik maddelerin yüklerinin ölçülmesine ilişkin güvenilir bir yöntem geliştirdi. Elektrik yükünün kuantumlandığını ve elektriğin çok küçük miktarının kuantum doğası göstereceğini ispatladı. Millikan’a 1923 yılında gerçekleştirmiş olduğu bu deneyinden dolayı Nobel fizik ödülü verildi.

Şekil 1’ de Millikan deney setinin basit bir şekli gösterilmektedir. Birbirine paralel olan bir çift kondansatör levhasına uygulanan yüksek voltajlı U potansiyeli ile bir elektrik alanı oluşturulmaktadır. Yüklü yağ damlacığı plakalara arasında serbest olarak hareket edebilir. Plakalara uygulanan U potansiyeli değiştirilerek yağ damlacığının düşmesi ya da yükselmesi veya hareketsiz kalması sağlanabilir.



Şekil 1. Millikan Yağ Damlaması deneyinin basit bir uygulaması.

Plakalara arasına uygulanan potansiyel ile oluşturulan elektrik alanın oluşturduğu elektriksel kuvvet,

$$F = qE = neE \quad (2)$$

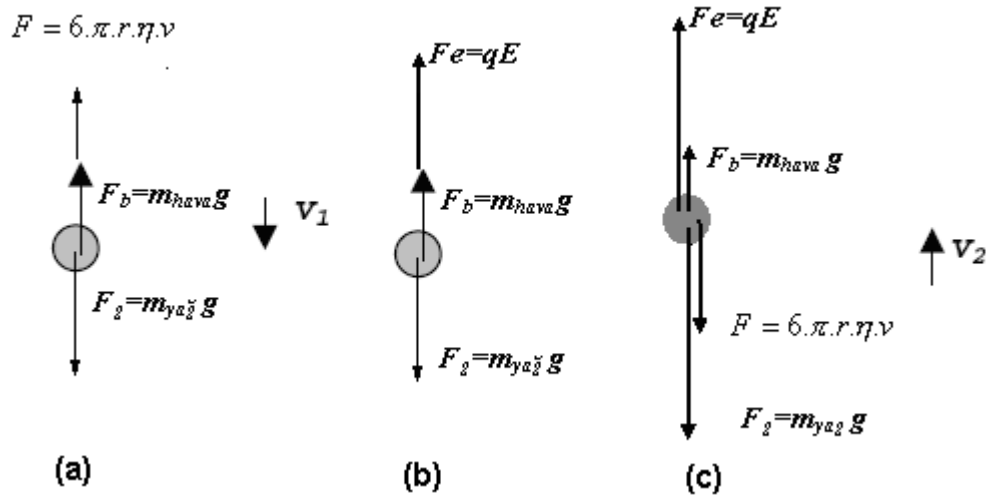
eşitliği ile verilmektedir. Elektrik kuvveti, ya sıfır kuvvet yöntemini kullanarak bu yağ damlacığını yer çekim kuvvetine karşı dengeleyerek ya da hem elektriksel hem de yerçekimi kuvvetinin etkisi altında damlacığın hareketini inceleyerek ölçülür. Havada yağ damlacıkları yer çekiminden dolayı sabit bir kuvvetin etkisi altındadır ve kısa bir süre sonra Stokes yasası ile verilen bir limit hıza ulaşır ve damlacık sabit bir hızla düşmeye başlar. Stokes yasasına göre bir parçacık üzerine etkiyen viskozite kuvveti,

$$F = 6.\pi.r.\eta.v \quad (3)$$

ile verilir. Burada r yağ damlacığının yarıçapı, η yağın viskozitesi, v ise parçacığın limit hızıdır. Viskozite kuvveti her zaman harekete zıt yöndedir.

Millikan deneylerini üç değişik durumda gerçekleştirdi.

Birinci durum; yağ damlacığının yarıçapını belirlemek için plakalar arasına bir U potansiyeli uygulanmaz ve serbest bir ortamda damlacığın v_1 sabit düşme hızı ardışık olarak ölçülür. Şekil 2a'da gösterildiği gibi damlacık ters yönde etkiyen Stokes kuvvetinden dolayı sabit bir hıza ulaşarak düzgün doğrusal hareket etmeye başlar.



Şekil 2. a) Plakalar arasında serbest düşen yağ damlacığı üzerine etki eden yerçekimi ve viskozite kuvvetleri, **b)** Plakalar arasına uygulanan elektrik alan ile yağ damlacığının askıda kalması (askıda kalma yöntemi), **c)** Plakalar arasına uygulanan elektrik alan ile yağ damlacığının düşme ya da yükselmesi.

Parçacık üzerine etki eden kuvvetler,

$$\begin{aligned} F_2 - F_b - F &= 0 \\ m_{yağ}.g - m_h.g - 6\pi r v_1 \eta &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

Buradan kütle ve hacim değerleri için $m_{yag} = \rho_0.V$, $m_{hava} = \rho_{hava}.V$, $V = \frac{4\pi}{3}r^3$ alınırsa (4) eşitliği,

$$V(\rho_0 - \rho_a).g - 6\pi r v_1 \eta = 0 \quad (5)$$

$$\frac{4\pi}{3}r^3(\rho_0 - \rho_a).g - 6\pi \cdot r \cdot \eta \cdot v_1 = 0$$

şeklinde elde edilir. (5) eşitliğinden yağ damlacığının yarıçapı için,

$$r = \sqrt{\frac{9v_1\eta}{2.(\rho_0 - \rho_a).g}} \quad (6)$$

ifadesi bulunur.

İkinci durum; Şekil 2b'de gösterildiği gibi plakalar arasına U voltajı uygulanarak oluşturulan elektrik alanının ($E = U/d$) etkisi altında askıda tutulan yağ damlacığının q elektriksel yükünün belirlenmesi;

$$\begin{aligned} F_2 - F_b - F_e &= 0 \\ m_{yag}.g - m_{hava}.g - qE &= 0 \\ \frac{4\pi}{3}r^3(\rho_0 - \rho_a).g - q\frac{U}{d} &= 0 \end{aligned} \quad (7)$$

(5) ve (6) eşitlikleri (7) eşitliğinde yerine yazılır ve eşitlik tekrar düzenlenirse damlacığın q yükü için,

$$q = 9.\pi.\frac{d}{U}.\sqrt{\frac{2.\eta^3.v_1^3}{(\rho_0 - \rho_a).g}} \quad (8)$$

ifadesi bulunur.

Üçüncü durum; ise Şekil 2c'de gösterildiği gibi, E elektrik alanında yağ damlacıklarının tam olarak askıda kalmadığı, düşük bir v_2 hızı ile yükseldiği durum gözlenirse parçacığın q yükü için

$$\begin{aligned} F_2 + F - F_b - F_e &= 0 \\ -m_{yag}.g - 6\pi r v_2 \eta + m_{hava}.g + qE &= 0 \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} V(\rho_0 - \rho_a) \cdot g - qE + 6\pi v_2 \eta &= 0 \\ \frac{4\pi}{3} r^3 (\rho_0 - \rho_a) \cdot g - q \frac{U}{d} + 6\pi \cdot r \cdot \eta \cdot v_2 &= 0 \end{aligned} \quad (10)$$

(5) ve (6) eşitlikleri, (10) eşitliğinde yerine yazılır ve eşitlik yeniden düzenlenirse, yağ damlacığının q yükü,

$$q = 9\pi \frac{d}{U} (v_1 + v_2) \sqrt{\frac{2\eta^3 v_1}{(\rho_0 - \rho_a)g}} \quad (11)$$

olarak bulunur. Burada d ; levhalar arası uzaklık ($d = 6.00$ mm), η ; yağın viskozitesi (normal oda sıcaklığında 1.81×10^{-5} Ns/m²), ρ_0 ; yağın yoğunluğu ($875,3$ kg/m³), ρ_a ; havanın yoğunluğu (1.29 kg/m³), g ; yerçekimi ivmesi ($g = 9,8$ m/sn²) değerleri eşitlikte yerine yazıldığında q yükü için,

$$q = (v_1 + v_2) \frac{\sqrt{v_1}}{U} \cdot 2 \cdot 10^{-10} \quad (Coulomb) \quad (12)$$

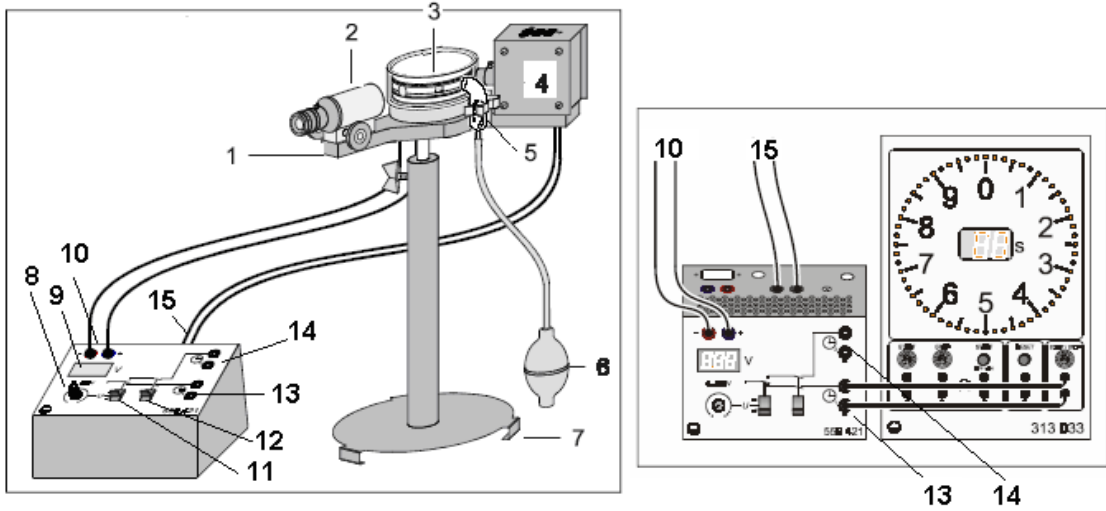
ifadesi bulunur. Bu ifade pratik hesaplamalar için oldukça kullanışlıdır. Sonuç olarak, plakalar arasında askıda duran ya da hareket eden parçacığın r yarıçapı (6) eşitliğinden q yükü ise (12) eşitliğinden hesaplanır.

2. DENEY

2.1. Deney Düzenegi

Millikan yağ damlası deneyinde kullanılan deney seti Şekil 3’de gösterilmektedir. Deney setinin temel parçaları rakamlar ile belirlenerek setin alt kısmına yazılmıştır. Şekilde 3 numara ile gösterilen plakaların çapı 80 mm ve plakalar arası d mesafesi ise 6 mm’ dir. Plakaların yan tarafında iki tane pencere vardır. Pencereleden biri ışık kaynağından çıkan ışınların plakalar arasına gönderilmesinde ve plakalar arasının aydınlatılmasında kullanılır. Işık kaynağı bu pencereden içeri ışık göndererek yağ damlacığının plakalar arasında sürüklendiği bölgeyi aydınlatır. İkinci pencere ise mikroskobun görüş alanının önüne açılmıştır. Yağ damlacıkları ışığı yansıtır ve böylece mikroskobun görüş alanı üzerinde parlak noktalar olarak görünürler. Mikroskop gözün görüş doğrultusunda milimetrik olarak ayarlanmış olup x düzleminde 0.1 mm aralıklara bölünmüştür. Bu gösterge, bir noktadan diğer noktaya olan mesafeyi bilmemize yardımcı olur ve bu mesafenin ne kadar sürede gidildiği ölçülerek yağ damlacığının hızının belirlenmesini sağlar.

Deney düzenegi aşağıda gösterildiği gibi mikroskop, ışık kaynağı ve plakalardan oluşan Millikan deney seti, plakalar arasındaki gerilimi ayarlamak ve zaman ölçümünü kontrol etmek için kullanılan potansiyometre ve zaman ölçer olmak üzere üç temel elamandan oluşmaktadır.



Şekil 3. Millikan yağ damlası deney düzeneği

- | | |
|----------------------|--|
| 1. Taban plaka | 8. 0–600 volt arasında U potansiyel ayarlama düğmesi |
| 2. Ölçüm mikroskobu | 9. U potansiyel göstergesi |
| 3. Plaka kapasitörü | 10. Plaka kapasitörlerin bağlantısı |
| 4. Aydınlatma cihazı | 11. U (potansiyel) açma/kapama anahtarı |
| 5. Yağ püskürteci | 12. Zaman açma/kapama anahtarı |
| 6. Plastik top | 13. Zaman ölçüm çıkışı (2:Yükselme) |
| 7. Ayak | 14. Zaman ölçüm kablusunun çıkışı (1:Düşme) |
| | 15. Aydınlatma cihazının kablusunun girişi |

Soru1: Deneyi yapmaktaki amacınız nedir? Kısaca açıklayınız.

Soru2: Plakalar arasına bir U voltajı uygulayarak yağ damlacığının askıda kalmasını sağlayarak damlacık üzerine etki eden kuvvetleri göstererek damlacığın yarıçapını ve yükünü elde ediniz.

2.2. Deneyin Yapılışı

a) Ön Hazırlık

- Deneye başlamadan önce deney düzeneğini kontrol etmesi için hocanızı çağırınız ve hocanızla birlikte deney setini gözden geçiriniz.
- Cam plakalara ve mikroskobun merceğine çıplak elle dokunmayınız. Aksi halde elinizdeki ter ve yağ lekeleri bu yüzeylerde ince filmler bırakarak yüzeylerin kirlenmesine neden olur ve ölçüm yapmanız zorlaşır. Eğer yüzeylerin kirli olduğunu hissediyorsanız hocanızı çağırarak durumu kendisine bildiriniz.
- Deneye başlamadan önce plakalar arasını aydınlatacak olan aydınlatma lambasını açınız ve daha sonra mikroskop ile plakalar arasına bakınız. Mikroskoptan bakarak x ve y doğrultusunda çizilmiş olan milimetre mertebesindeki çizgileri görebileceğiniz şekilde mikroskobun odağını ayarlayınız.
- 6 numara ile belirtilen plastik topu yavaş bir şekilde bastırarak 5 numara ile gösterilen yağ püskürtedeki yağın yukarı doğru çıkmasını ve plakalar arasına püskürtülmesini sağlayınız. Yalnız fazla yağ püskürtmemeye özen gösteriniz.
- Mikroskop ile püskürtmüş olduğunuz yağ damlacıklarını gözleyiniz.
- Her şey yolunda ise deney yapmaya ve verilerinizi almaya başlayabilirsiniz.

b) Deneye Başlama

Bu deney askıda kalma yöntemi ve düşme/yükselme yöntemi olmak üzere iki aşamada yapılacaktır.

Askıda Kalma Yöntemi (Float Yöntemi)

Yağ damlacığının askıda kalmasını ve ölçüm yapmanızı gerçekleştirmek için aşağıdaki adımları gerçekleştiriniz.

- İlk önce U ve t anahtarlarını aşağı konuma getiriniz.
- t zaman skalasını ölçecek olan kabloları Şekil 3'de 13 numara ile gösterilen mod 1'e takınız.
- Kendinize y doğrultusunda iki nokta belirleyiniz.
- Seçmiş olduğunuz herhangi bir yağ damlacığının havada yüzmesini sağlamak amacıyla potansiyometre ile U voltajını yavaş bir şekilde artırarak plakalar arasındaki potansiyeli ayarlayınız. Seçtiğiniz yağ damlacığının üst noktadan yukarıda olmasına dikkat ediniz.
- Yağ damlacığı askıda kaldığı anda U kapasitör voltajını kapatınız.
- Yağ damlacığı belirlemiş olduğunuz ilk çizgi işaretine ulaştığında: zaman ölçümünü başlatmak için t anahtarını açınız.
- Yağ damlacığı belirlemiş olduğunuz ikinci mesafeye ulaştığında U kapasitör voltajını tekrar açınız ve t zaman ölçümünü durdurunuz.
- t düşme zamanını ve U kapasitör voltajını okuyunuz ve s düşme ya da yükselme mesafesini kaydediniz.
- Yağ damlacığının v_1 hızını bulmak için ölçmüş olduğunuz s ve t değerlerini kullanarak düşme ya da yükselme hızını $s_1 = \frac{v_1}{t_1} \Rightarrow v_1 = s_1 / t_1$ belirleyin.

- Bulduğunuz düşme ya da yükselme hızını 6 ve 8 eşitliklerinde yerine yazarak yağ damlacığının r yarıçapını ve q yükü bulunuz.
(Not: 8 eşitliği yerine v_2 hızını sıfır alarak 11 eşitliğini de kullanabilirsiniz)
- Yukarıda yaptığınız işlemleri en az üç kez yaparak yağ damlacığının r yarıçapını ve q yükü bulunuz. Yükün değerleri bir birinden farklı ise ortalama değerlerini alınız.
- Yük için bulmuş olduğunuz değeri elektronun yükü ($e=1.602 \times 10^{-19}$ C) ile karşılaştırarak gerekiyorsa yüzde hata hesabı yapınız.

ii) Düşme/Yükselme Metodu

v_1 düşme hızının ve v_2 yükselme hızının tespit edilmesi için belirlemiş olduğunuz s seçili mesafesi için t_1 düşme ve t_2 yükselme süreleri ölçülerek belirlenir. Yağ damlacığının r yarıçapını ve q yükünü belirlemek için sırasıyla aşağıdaki işlemleri yapınız.

- İlk önce U ve t anahtarlarını aşağı konuma getiriniz.
- t zaman skalasını ölçecek olan kabloları Şekil 3'de 14 numara ile gösterilen mod 2'e takınız.
- Kendinize y doğrultusunda iki nokta belirleyiniz.
- Seçtiğiniz yağ damlacığının yükselmesini sağlamak amacıyla potansiyometre ile U voltajını yavaş bir şekilde arttırarak potansiyeli ayarlayınız.
- Yağ damlacığı kapasitörün üst bölgesindeki alana geldiği anda U kapasitör voltajını kapatınız.
- Yağ damlacığı ilk seçtiğiniz çizgiye geldiği anda düşme süresini ölçmek için t anahtarını açınız.
- Yağ damlacığı belirlemiş olduğunuz ikinci çizgi işaretine ulaştığında düşme zaman ölçümünü durdurmak ve yükselme zaman ölçümünü başlatmak için U kapasitör voltajını tekrar açınız.
- Yağ damlacığı ilk seçilmiş olan aynı s mesafesine tekrar ulaştığında zaman ölçümünü durdurmak için t anahtarını kapatınız.
- t_1 düşme süresini, t_2 yükselme süresini ve U kapasitör voltajını okuyarak kaydediniz. Ayrıca s düşme ya da yükselme mesafesini de kaydediniz.
- Yağ damlacığının aldığı s mesafesi ve t süresinden damlacığın v_1 düşme ve v_2 yükselme hızlarını,

$$s_1 = \frac{v_1}{t_1}, \quad s_2 = \frac{v_2}{t_2}, \quad s_1 = s_2 = s ; \quad v_1 = s.t_1, \quad v_2 = s.t_2$$

eşitliklerinden belirleyiniz.

- Bulduğunuz düşme hızını 6 eşitliğinde yerine yazarak damlacığın r yarıçapını belirleyiniz. Aynı şekilde düşme ve yükselme hızlarını 11 ya da 12 eşitliklerinin birinde yerine yazarak damlacığın q yükünü belirleyiniz.

3. Sonuç ve Rapor

Ad Soyad:

No:

Grup:

Tarih:

Hesaplamalar1: Yukarıda yaptığınız işlemleri en az üç kez yaparak yağ damlacığının r yarıçapını ve q yükünü bulunuz. Bulduğunuz değerler bir birinden farklı ise ortalama değerlerini alınız.

U(Volt)	t(sn)	V(m/sn)	r(m)	q(C)

Hesaplamalar2: *Yük için bulmuş olduğunuz değeri elektronun yükü ($e=1.602 \times 10^{-19}$ C) ile karşılaştırarak yüzde hata hesabı yapınız.*

4- ELEKTRON SPİN REZONANSI (ESR)

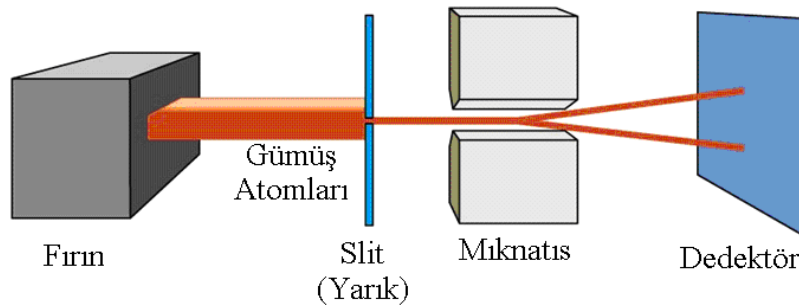


DENEYİN AMACI: DPPH(1,1-diphenyl-2-picryl-hidrazyl) olarak adlandırılan kararlı bir organik materyalin rezonans frekansının B_0 rezonans manyetik alanına karşı grafiği çizilerek g Lande çarpanının ve çizginin yarı genişliğinin (δB_0) belirlenmesi.

1. TEORİ

Maddenin manyetik özellikleri, maddeyi oluşturan atomik birimlerin manyetizmasına ve bu atomik birimlerin kendi aralarındaki etkileşmeye bağlıdır. Manyetik momentleri sıfırdan farklı ve aralarındaki etkileşmenin zayıf olduğu yapı taşlarının meydana getirdiği maddelere paramanyetik madde denir. Atoma sürekli manyetik momenti, çekirdek ve elektronlar kazandırır. O halde atomun toplam manyetik momenti elektron ve çekirdek manyetik momentlerinin toplamıdır. Manyetik rezonans, statik manyetik alan uygulayarak bu manyetik momentlerle bağlantılı enerji düzeyleri yaratıp bunlar arasında geçişler oluşturma esasına dayanır.

Manyetik moment Stern-Gerlach deney düzeneği ile ölçülebilir. 1921 yılında Otto **Stern** ve **Walter Gerlach**'ın ilk kez bir elektronun spininden dolayı manyetik momente sahip olduğunu nötral gümüş atomları kullanarak yaptıkları deneylerde dolaylı olarak göstermişlerdir. **Stern-Gerlach** deneyi olarak adlandırılan bu deneyin sonuçları o zamanlarda var olan kuram ile nicel olarak uyuşmuyordu. Bu deneyi gerçekleştirdiklerinde dedektör üzerinde manyetik alanın yokluğundaki ince çizgi yerine iki çizgi oluştuğunu gördüler. Nötr gümüş atomları huzmesi uzaysal değişken bir manyetik alan içinden geçirildiklerinde spin dipol momentlerinin uzaysal yönelmelere göre ikiye ayrıldığını gözlemeyi başardılar. **Stern-Gerlach** Deneyinde şekil 1'de görüldüğü gibi bir fırından gelen gümüş atomu demeti kendini sınırlayan yarıktan geçtikten sonra düzgün olmayan bir manyetik alana ulaşır ve onu da geçerek fotoğraf levhası ya da dedektör üzerine düşer. Aletin tamamı havası boşaltılmış bir tüp içerisine yerleştirilmiştir. Klasik olarak bir atom hüzmesinde bütün yönelimler bulunmalıdır. Deney, hidrojen, lityum, sodyum, potasyum, bakır ve altın gibi başka element atomlarıyla gerçekleştirildiğinde her durumda demetin iki veya daha çok bileşene ayrıldığı görüldü. Başlangıçta bu uzay kuantumlanmasının elektronların açısal momentumundan kaynaklandığı düşünülüyordu. Ancak, 1925 yılında **Samuel Goudsmit** ve **George Uhlenbeck** elektronun yörüngesel açısal momentumundan başka özünde var olan bir içsel (spin) açısal momentuma daha sahip olduğu önerisini getirdiler. Klasik bakış açısıyla bu, elektronun kendi eksenini etrafında dönmesinden ileri gelir ve bu nedenle bu açısal momentuma elektron spini olarak adlandırılır.



Şekil 1: Stern-Gerlach Deneyi

Bugün laboratuvarlarda bu deney, elektron spin rezonansı deneyi olarak yapılmaktadır. 1945 yılında E. K. Zavoisky tarafından keşfedilen Elektron Spin Rezonansı (ESR) moleküler ve kristal yapıların, kimyasal reaksiyonların ve birçok problemin fizik, kimya, biyoloji ve tıpta araştırılmasında önemli bir yöntem olarak ortaya çıkmıştır. Elektron spin rezonansı, elektronların spin durumlarının yarıldığı bir dış manyetik alandaki paramanyetik maddeler tarafından yüksek frekanslı ışınlamaların soğrulmasına dayanır.

Bir atomun, $\vec{L}$ yörüngesel ve $\vec{S}$ spin açısal momentumlarından doğan $\vec{J} = \vec{L} + \vec{S}$ toplam açısal momentumu, ya kapalı kabuğa sahip atomlarda olduğu gibi sıfırdır, ya da hidrojen atomunun taban durumunda olduğu gibi ($j = s = \frac{1}{2}$, $l = 0$) sıfırdan farklıdır. Toplam açısal momentum $\vec{J}$ sıfırdan farklı olduğunda, atom sürekli bir $\vec{\mu}_J$ manyetik dipol momente sahip olup,

$$\vec{\mu}_J = -g_J \cdot \frac{\mu_B}{\hbar} \cdot \vec{J} \quad (1)$$

eşitliği ile verilir. Burada, μ_B Bohr manyetonudur ve

$$\mu_B = \frac{\hbar \cdot e}{2m_e} = 9.27 \times 10^{-24} \text{ J/T} = 5.78 \text{ eV/T}$$

$\hbar = h/2\pi$; $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}$ Planck sabiti, $m_e = 9.11 \times 10^{-27} \text{ gr}$ elektronun kütlesi ve $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ elektronun yüküdür. $g = 1 + \frac{J(J+1) + S(S+1) - L(L+1)}{2J(J+1)}$ kuantum

mekaniksel etkilerden dolayı ek bir sabit düzeltme faktörü olarak eklenmiştir ve Lande g-çarpanı (spektroskopik yarıma çarpanı) olarak adlandırılır.

Manyetik dipol momentlerin varlığının önemli bir sonucu, katı içindeki atomların dipol momentlerinin, bir manyetik alan ile yönlendirilmesi sonucu gözlenen paramanyetizmadır. B_0 manyetik alanına konmuş μ_B manyetik momentine sahip bir dipolün enerjisi,

$$E = -\vec{\mu}_J \cdot \vec{B}_0 \quad (2)$$

$$E = g_J \cdot \frac{\mu_B}{\hbar} \cdot \vec{J} \cdot \vec{B}_0$$

şeklinde ifade edilir. Manyetik moment ve toplam açısal moment sadece manyetik alana göre belirli kesikli değerler alındığından E enerjisi kuantumludur. Açısal momentumun her yönelimi manyetik alan içinde özel potansiyel enerjili bir duruma karşılık gelir. Manyetik alana paralel olan toplam açısal momentumun J_z bileşeni,

$$J_z = \hbar \cdot m_J \quad (3)$$

değerlerini alabilir. Burada $m_J = j, -(j-1), \dots, j$ olup j açısal momentum kuantum sayısı, bir tamsayı veya yarı tam sayı değerini alır, yani potansiyel enerji kesikli Zeeman düzeylerini yarar. Büyüklüğü B_0 olan durgun manyetik alanı içine konmuş bir serbest elektron için bu ifade, z kuantumlanma doğrultusu olarak alındığında,

$$E = g_J \cdot \mu_B \cdot B_0 \cdot m_J \quad (4)$$

şekline dönüşür. Enerji yarılmaları doğrudan elektron spin rezonans yöntemiyle ölçülebilir. Bu nedenle sabit B_0 manyetik alana dik olan yüksek frekansla (HF) değişen bir manyetik alan materyalin içine

$$\vec{B}_1 = \vec{B}_{HF} \cdot \sin(2\pi\nu \cdot t) \quad (5)$$

şeklinde ışıma yapar. Burada $\vec{B}_{HF}$ yüksek frekanslı değişen manyetik alanın genliğidir. Şekil 2’de görüldüğü gibi değişen manyetik alanın $h\nu$ enerjisi iki komşu enerji düzeyi arasındaki ΔE enerji farkına eşitse, yani,

$$\Delta m_j = \pm 1 \quad (6)$$

$$h\nu = \Delta E = g_J \cdot \mu_B \cdot B_0 \quad (7)$$

şartları sağlanırsa, değişen alan, B_0 manyetik alanında manyetik momentlerin bir yönden diğer yöne yönelmesini sağlar. Başka bir ifadeyle, komşu düzeyler arasındaki geçişlere neden olurlar ve rezonans etkileri materyal içinde ışımaya neden olan değişen manyetik alandan enerji soğrulduğunda gözlenir.

Konuyu basitleştirmek için, Şekil 2’de gösterilen serbest bir elektronun durumunu ele alalım. Burada toplam açısal momentum elektronun s spin durumundadır. Açısal momentum kuantum sayısı, $j = s = 1/2$ ve $l=0$ olduğunda Landé g -faktörü, $g_J = g_s \approx 2.0023$ değerine eşit olur. Bir manyetik alanda, elektronun enerjisi manyetik alana göre elektron spininin aynı yönlü ($\uparrow\uparrow$, $\downarrow\downarrow$)(paralel) ve zıt yönlü ($\uparrow\downarrow$, $\downarrow\uparrow$) (anti paralel) yönelimine karşılık gelen iki düzeye yarılır. Bu durumda

$$E = g_s \cdot \mu_B \cdot B_0 \cdot m_s \quad (8)$$

iki düzey arasındaki geçişte, seçim kuralı 6 eşitliği ile sağlanmaktadır. Aynı şekilde eşitlik 6’daki seçme kuralına benzer olarak rezonans durumu,

$$h\nu = g_J \cdot \mu_B \cdot B_0$$

bağıntısı sağlanır.

Eğer değişen alandan soğrulan enerji B_0 manyetik alana bağlı olarak sabit bir ν frekansında ölçülürse, δB_0 yarı genişliğine sahip bir soğurma çizgisi elde edilir. En basit haliyle, düzgün bir manyetik alan içinde bu çizgi genişliği geçişin δE belirsizliğinin bir ifadesidir. Heisenberg Belirsizlik ilkesi bu duruma uygulanırsa,

$$\delta E \cdot T \geq \frac{\hbar}{2} \quad (10)$$

elde edilir. Burada T düzeyin yarı ömrüdür. Eşitlik 6'dan

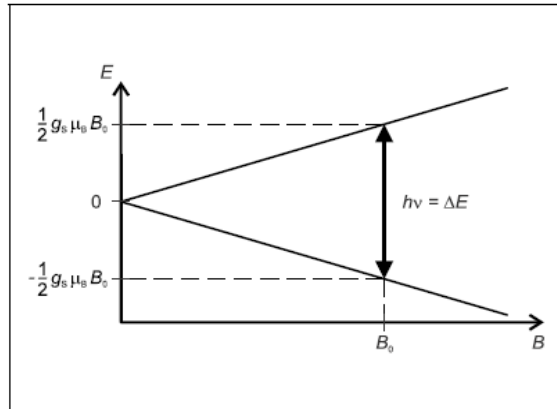
$$\delta E = g \cdot \mu_B \cdot \delta B_0 \quad (11)$$

olur. (7), (10) ve (11) eşitliklerinden yararlanarak, δB_0 yarı genişliği

$$\delta B_0 = \frac{\hbar}{2 \cdot g_J \cdot \mu_B \cdot T} \quad (12)$$

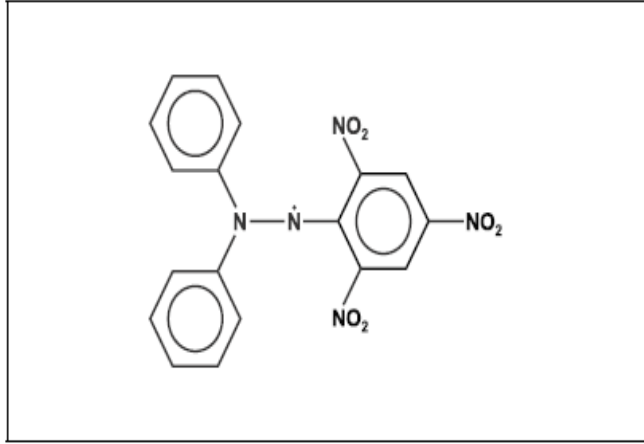
olarak yazılabilir. Eşitlik 12'den görüldüğü gibi δB_0 , frekanstan bağımsızdır.

Bu deneyde, göz önüne alınan materyalin ESR tayfındaki soğurma çizgilerinin konumu ve genişliği değerlendirilecektir. Soğurma çizgisinin konumundan, materyalin g_J Landé faktörü eşitlik 7'den belirlenir. Serbest bir atom veya iyon durumunda, eğer manyetizma tamamen yörüngesel açısal momentumdan kaynaklanıyorsa, Landé faktörü $g_J = 1$ olur. Eğer manyetizmaya sadece spinlerin katkısı ile oluyorsa bu durumda $g_J = 2,0023$ değerlerini alır. Fakat, spin rezonans yoluyla çalışılan paramanyetizma merkezleri gerçekte serbest değildir. Bunlar kristal örgülere yerleştiklerinden ya da bir çözeltideki çözücü zarflarıyla çevrelendiklerinde çevrelerindeki atomlar tarafından oluşturulan güçlü elektrik ve manyetik alanlara maruz kalırlar. Bu alanlar enerji kaymalarına ve elektronların Zeeman yarılmalarının etkilerine yol açarlar. Bu nedenle, g -faktörünün değeri değişir.



Şekil 2: Elektron spin rezonansı için manyetik alan ve rezonans durumundaki bir serbest elektronda enerji yarılması.

Deneyde kullanılacak materyal; Şekil 3'de gösterilen 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) olan organik bir maddedir. Bu organik bileşik genel olarak azot köprüsünün bir atomunda çiftlenmemiş bir valans elektrona sahip olan kararlı serbest bir yapıdır. DPPH maddesi bir dış manyetik alanda, tek bir rezonans frekansı vardır ve küçük manyetik alanlarda rezonans durumuna gelir. DPPH materyalinin yörüngesel açısal momentumu sıfırdır. Böylece, DPPH maddesinin g -faktörü serbest elektronun g faktörüne eşit olur.



Şekil 3: 1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl (DPPH)'in kimyasal yapısı.

2. DENEY

2.1. Deneyde Kullanılacak Aletler

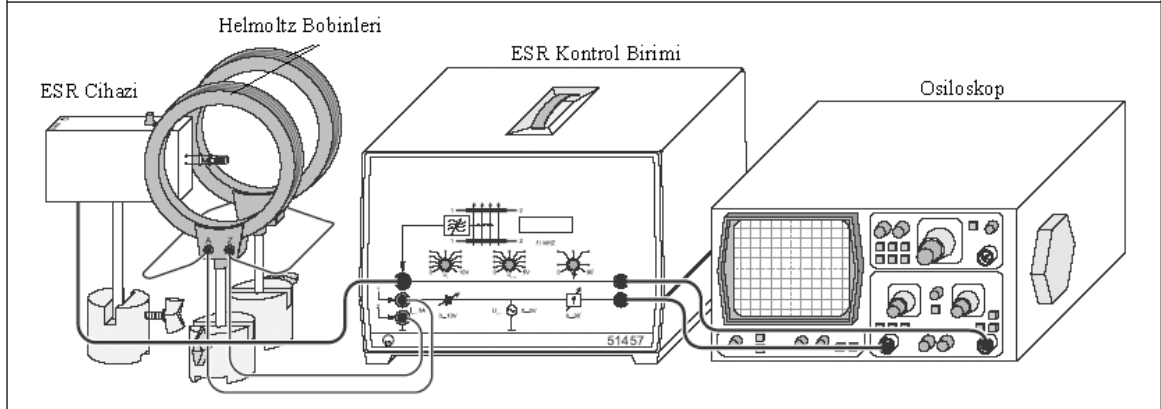
- 1 Adet ESR cihazı (RF Osilatörü)
- 1 Adet ESR kontrol birimi
- 1 Çift Helmholtz Bobini
- 1 Adet iki kanallı Osiloskop 303
- 2 Adet BNC/4 mm kablo
- 1 Adet Ampermetre $I \leq 3A$
- 3 Adet taban ayaklığı
- 3 Adet bobin
- Çeşitli bağlantı kabloları
-

2.2. Deney Düzenekinin Kurulması

Şekil 4'de gösterilen deney düzeneği ESR kontrol birimi, ESR cihazı, Helmholtz bobinleri, Osiloskop, DPPH ve değişik frekanslara sahip bobinlerden oluşmaktadır.

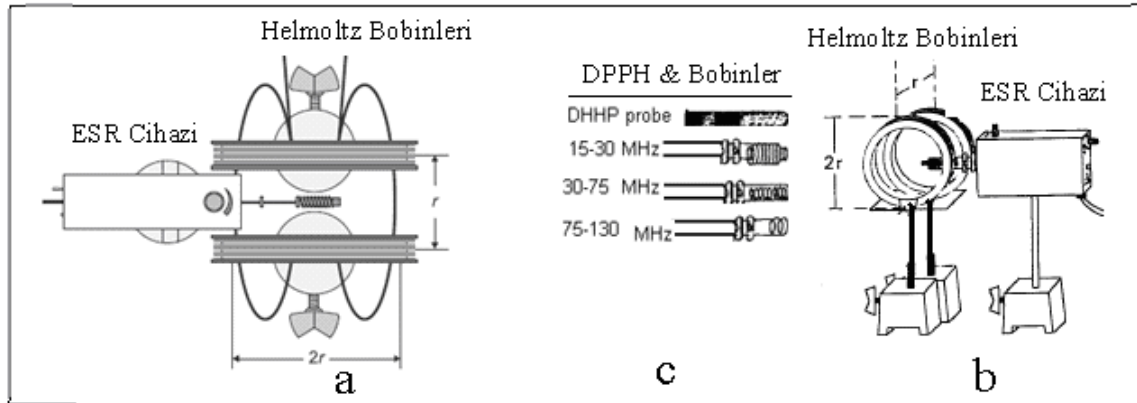
Deney setini Şekil 4'e bakarak aşağıdaki sıraya göre kurunuz.

- Helmholtz bobinlerini arasındaki uzaklık 6.8 cm (Helmholtz bobininin ortalama yarı çapı) olacak şekilde birbirlerine paralel olarak yerleştiriniz.
- ESR kontrol birimi ile birbirlerine paralel olan Helmholtz bobinlerine seri olacak biçimde bir ampermetre bağlayınız.
- İki kanallı osiloskopun birinci kanalına (kanal I) ESR kontrol biriminin X çıkışını ve ikinci kanalına (Kanal II) Y çıkışını BNC kablosu kullanarak bağlayınız.



Şekil 4: DPPH' ta elektron spin rezonansı için kullanılacak deney düzeneği.

Şekil 5'de a) ESR cihazının ve Helmholtz bobinlerinin üstten görünüşü. b) yandan görünüşü ve c) DPPH materyali ve değişik frekans aralıklarındaki bobinler gösterilmiştir.

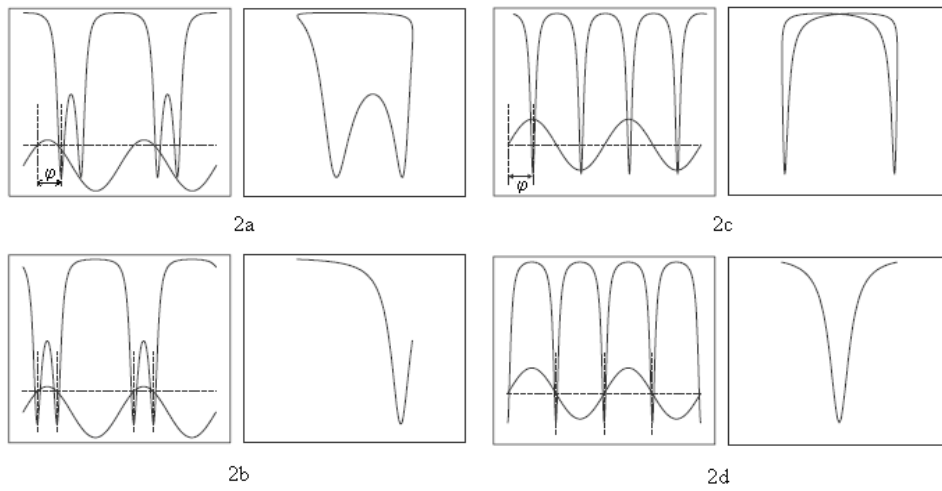


Şekil 5: a) Helmholtz bobinlerinin ve ESR cihazının üstten görünüşü. b) yandan görünüşü ve c) DPPH materyali ve değişik frekans aralıklarındaki bobinler.

2.3. Soğurma Çizgi Tayfı ve Ayarlanması

Pratik uygulamalar için geliştirilen ESR tayf ölçerleri yaklaşık 10 GHz (Mikrodalga ve X bandında) frekansta çalışırlar. Uygunluk açısından, manyetik alanlar 0.1 T ile 1 T büyüklüğündedirler ($1\text{T} = 1\text{ Weber/m}^2$). Bu deneyde uygulanan B_0 manyetik alanı oldukça zayıftır. B_0 alanı Helmholtz bobini yardımıyla üretilir ve bobin akımı uygun seçilerek manyetik alan 0 ile 4 mT arasında bir değere ayarlanabilir. 50 Hz'lik bir frekansa ayarlanan bir akım, sabit bobin akımının üzerinde aşırı etkisi olur. Böylece, uygun şekilde ayarlanan B manyetik alanı, eş yönlü bir B_0 manyetik alanı ile 50 Hz'lik B_{mod} alanının birleşiminden oluşur. Materyal yüksek titreşimli halka devresinin bir parçası olan bir HF (yüksek frekans) bobininin içine yerleştirilir. Titreşimli devre frekansları 15 MHz ile 130 MHz arasında değişebilen bir HF osilatörü ile uyarılır. Rezonans şartı (5 eşitliği ile)

sağlanırsa, materyal enerji soğurur ve titreşim halkası yüklenir. Sonuçta, titreşim halkasının impedansı değişir ve bobindeki voltaj azalır. Bu voltaj, düzeltme ve büyütme ile sinyal ölçümüne dönüştürülür. Ölçüm sinyali, ayarlanmış olan manyetik alana bağlı olarak bir zaman gecikmesi ile kontrol biriminin çıkışına ulaşır. Zaman gecikmesi, kontrol biriminde bir faz kayması olarak telafi edilebilir. Şekil 6a'nın sol tarafındaki alttaki sinyal manyetik alanla orantılı Helmholtz bobininden geçen akımı gösterir. Bu sinyal iki kanallı osiloskobun birinci kanalına bağlanır. Şekil 6a'da sol tarafta gösterilen üstteki sinyal ise RF osilatörüne karşılık gelen voltaj zarfını gösteriyor. Aynı yönlü B_0 alanı rezonans durumunu sağlarsa ve ölçüm sinyalleri arasındaki ϕ faz kayması ayarlanırsa, bu durumda rezonans sinyali simetrik olur (Şekil 6d).



Şekil 6: Ölçüm sinyalini osiloskop görüntüsü (sırasıyla Y ya da kanal II) ve ayarlanan manyetik alan görüntüsü (sırasıyla X ya da kanal I).

Sol: Kanal II ye bağlı olan DC' li iki kanal görüntüsü.

Sağ: Kanal II ye bağlı olan AC' li XY görüntüsü.

- 2a)** telafi edilmeyen ϕ faz kayması, çok zayıf eş yönlü B_0 manyetik alanı
- 2b)** telafi edilen ϕ faz kayması, çok zayıf eş yönlü B_0 manyetik alanı
- 2c)** telafi edilmeyen ϕ faz kayması, uygun seçilmiş eş yönlü B_0 manyetik alanı.
- 2d)** telafi edilen ϕ faz kayması, uygun seçilmiş eş yönlü B_0 manyetik alanı

Soru1:a) Manyetik Rezonans(MR), Nükleer Manyetik Rezonans(NMR) nedir? ESR ile MR ve NMR arasındaki farkı açıklayınız. Zeeman yarılması nedir? Açıklayınız.

Soru2:a) g_J Landé faktörü 1'den küçük ya da 2.0023'den büyük bir değer alması mümkün müdür? Açıklayınız.**b)** Aynı deney düzeneğinde, ESR olayının gözlemlenmesi için DPPH materyalini yerine hangi materyalleri kullanabiliriz. Araştırınız.

2.4. Deneyin Yapılışı

ESR deneyi iki kısımdan oluşmaktadır.

I) B_0 Rezonans Manyetik Alanın Belirlenmesi

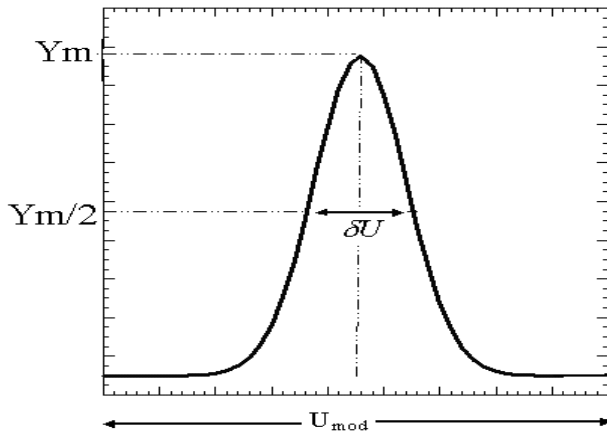
- ESR cihazın üzerindeki yere 15-30 MHz değerindeki bobini takınız ve DPPH örneğini bobinin tam ortasına yerleştiriniz.
- ESR cihazını ve bobin içindeki DPPH örneğini Helmholtz bobin çiftlerinin merkezinde olacak şekilde yerleştiriniz (Bakınız Şekil 6(a)).
- ESR cihazı üzerindeki düğmeyle oynayarak rezonans frekansını 15 MHz'e ayarlayınız.
- ESR kontrol birimi üzerindeki U_{mod} ayarlama düğmesini ikinci skala çizgisine getiriniz.
- ESR kontrol birimi üzerindeki faz kaymasını 0° 'ye getiriniz. Osiloskoptaki iki kanal konumunu seçiniz.

Dual	Açık
Zaman skalası:	2 ms/cm
Genlik I ve II:	0.5 V/cm AC

- Rezonans sinyalleri eşdeğer aralığa ulaşıncaya kadar ESR kontrol birimi üzerindeki U_0 voltajı ile Helmholtz bobinlerinin eş yönlü alanlarını yavaş yavaş arttırınız .
- Osiloskopu XY konumunda açınız ve iki rezonans sinyalinin çakışması için faz kaymalarını ayarlayınız (Şekil6).
- U_0 voltajını mümkün olduğu kadar küçük seçerek rezonans sinyalini simetrik oluncaya kadar U_0 voltajını yavaş yavaş değiştiriniz.
- Helmholtz bobin çiftlerinden geçen $2I_0$ doğru akımını ölçünüz. $2I_0$ ve ν rezonans frekans değerini birlikte kaydediniz.
- ν rezonans frekansını 5 MHz kadar arttırınız ve U_0 doğru voltajını arttırarak yeni rezonans durumunu ayarlayınız.
- $2I_0$ doğru akımını tekrar ölçünüz ve kaydediniz.
- Frekansı 5 MHz'lik aralıklarla arttırarak ölçümleri tekrarlayınız ve $2I_0$ değerlerini kaydediniz. (Not: 30 MHz'den büyük frekanslar için 30-75 MHz bobini, 75 MHz'den daha büyük frekanslar için 75-130 MHz bobini kullanınız). Osiloskop ekranının yatay uzunluğu 10 cm dir.

II) δB_0 Yarı genişliğinin Belirlenmesi

- Osiloskopta XY konumunu seçiniz. Genlik 0.5 V/cm AC dir.
- ESR cihazına 30-75 MHz değerindeki bobini takarak $\nu=50$ MHz rezonans durumunu ayarlayınız.
- U_{mod} ayarlama voltajını değiştirerek ekranın toplam genişliği Şekil 7'de görüldüğü gibi tam olarak 10 cm oluncaya kadar rezonans sinyalini X yönünde yayınız.
- Ampermetreyi AC konumuna getiriniz ve U_{mod} ayarlama voltajına karşılık gelen $2I_{mod}$ akımının RMS(!) değerini ölçünüz.
- Şekil 7'den X yönünde yayılmış olan rezonans sinyalinin yarı yüksekliğindeki ΔU genişlik değerini osiloskop ekranından okuyunuz ve bu değeri kaydediniz.



Şekil7:Osiloskop ekranındaki tek çizgili bir ESR spektrumunun soğurma karakteristik eğrisi

3. Sonuç ve Rapor

Ad Soyad:

No:

Grup:

Tarih:

I) B_0 Rezonans Manyetik Alanının Belirlenmesi

A) Tablo 1'e, değişen alanın ν frekansının bir fonksiyonu olarak rezonans durumundaki paralel bağlı Helmholtz bobinlerinden geçen $2I_0$ akım değerleri kaydedin.

Tablo 1. ν frekansının bir fonksiyonu olarak $2I_0$ akımı ve B_0 manyetik alanı.

Bobin	V (MHz)	$2I_0$ (A)	B_0 (mT)	Bobin	ν (MHz)	$2I_0$ (A)	B_0 (mT)
↑ 15-30 MHz ↓	15			↑ 75-130 MHz ↓	75		
	20				80		
	25				85		
	30				90		
↑ 30-75 MHz ↓	30				95		
	35				100		
	40				105		
	45				110		
	50				115		
	55				120		
	60				125		
	65				130		
	70						
	75						

B) Helmholtz bobinlerinin B manyetik alanı her bir bobinden geçen I akımından hesaplanabilir.

$$B = \mu_0 \cdot \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{n}{r} \cdot I \quad (13)$$

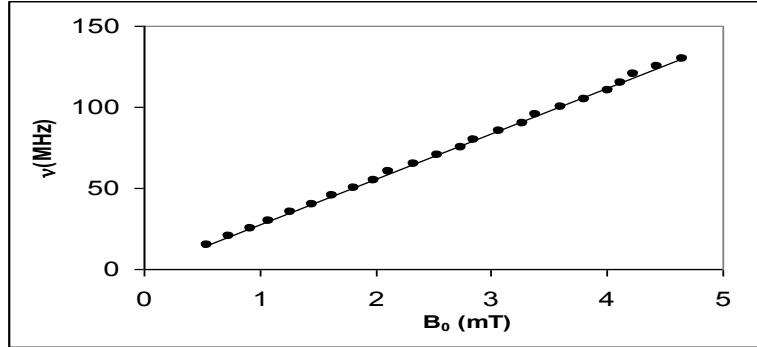
Burada; μ_0 serbest uzayın manyetik geçirgenliğidir ve değeri $\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \frac{V \cdot s}{Am}$ dir. n ;

Helmholtz bobinin sarım sayısıdır ($n = 320$). r : Helmholtz bobininin yarı çapıdır ($r = 6.8$ cm). Bu durumunda manyetik alan,

$$B_0 = 4.23 \cdot I \quad \left(\frac{mT}{Amp}\right) \quad (14)$$

olarak yazılabilir. Burada $I = 2I_0/2$ dir. Tablo 1 deki $2I_0$ değerlerini kullanarak eşitlik 14'den manyetik alan değerlerini hesaplayarak Tablo 1'e yazınız. Böylece değişen alanın ν frekansının bir fonksiyonu olarak değişen B_0 manyetik alanını hesaplanmış olur.

- C) Şekil 8'e benzer şekilde ν frekansının B_0 manyetik alanına karşı grafiğini çiziniz. Bu bir doğru mudur?



Şekil 8: Herhangi bir materyal için manyetik alanının bir fonksiyonu olarak değişen rezonans frekansı.

Şekil 8' deki doğrunun eğimi $\frac{\nu}{B_0} = 27.8 \frac{\text{MHz}}{\text{mT}}$ dir.

- D) Eşitlik 9 düzenlendiğinde g-faktörü

$$g = \frac{h \cdot \nu}{\mu_B B_0} \quad (15)$$

olur. $\mu_B = 9.273 \cdot 10^{-24} \text{ Am}^2$ dir. (15) eşitliğini kullanarak g-faktörünü hesaplayınız. g-faktörünün literatürdeki değeri, $g_{\text{DPPH}} = 2.0036$ 'dir. Bulduğunuz g-faktörünü ile literatür değerini karşılaştırarak yüzde hatayı hesaplayınız.

II) δB_0 Yarı Genişliğinin Belirlenmesi

Şekil 7'de verilen eğriyi kullanarak soğurma çizgi tayfının rezonans frekansının yarı-genişliği (δU cm) (osiloskoptaki kanal I' in volt değeri (V/cm)) ölçünüz.

Osiloskop ekranının yatay uzunluğundan U_{mod} değerini (osiloskoptaki kanal II'nin volt değeri (V/cm)) ölçünüz. Ampermetreden okuyacağınız $2I_{\text{mod}}$ değeri aslında AC' in (alternatif akım) RMS (Ortalama Kare Kök) değerine karşılık gelir. Ölçüm değerlerini kullanarak

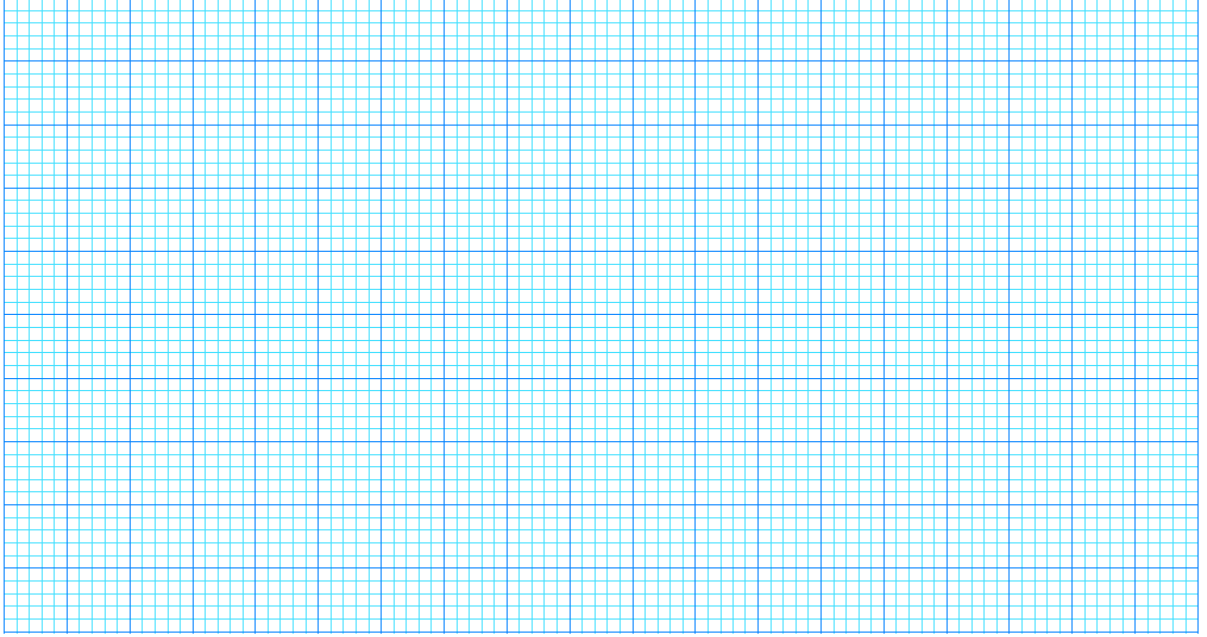
$$\delta I = \frac{\delta U}{U_{\text{mod}}} \cdot I_{\text{mod}} = \frac{\delta U}{U_{\text{mod}}} \cdot I_{\text{mod}} 2 \cdot \sqrt{2} \quad (16)$$

eşitliğinden δI hesaplayınız. (13) eşitliği de benzer şekilde,

$$\delta B_0 = 4.23 \cdot \delta I \quad \left(\frac{\text{mT}}{\text{Amp}} \right) \quad (17)$$

olarak yazılabilir. Bu eşitliği kullanarak δB_0 değerini hesaplayınız. δB_0 ' in literatürde belirtilen değeri 0.15-0.81 mT dır. Bulduğunuz δB_0 değerini literatür değeriyle karşılaştırarak yorumlayınız.

ν frekansının B_0 manyetik alanına karşı grafiğini çiziniz ve buradan bulacağınız sonuçlarla hesaplamalar bölümünde g sabitini ve δB_0 yi tayin ediniz.



Hesaplamalar:

SONUÇ ve YORUM:

5-CİVALI FRANCK HERTZ DENEYİ



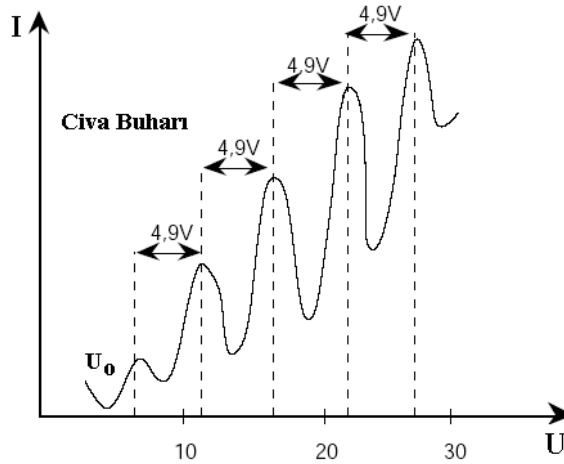
DENEYİN AMACI: Atomik yapının belli enerji seviyelerinden oluştuğunun gözlenmesi. Cıva için uyarma ve iyonlaşma potansiyellerinin ölçülerek kesikli enerji spektrumuna sahip olduğunun gözlenmesi.

1. TEORİ

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

İlk olarak 1914’te James Franck ve Gustav Hertz tarafından gerçekleştirilen Franck-Hertz deneyi, cıva buharından geçen elektronlar için belirli basamaklarda bir enerji kaybı olduğunu ve bunun cıvanın morötesi (ultraviyole) dalga boyundaki ($\lambda = 254 \text{ nm}$) yayınıma karşılık geldiğini gösterdiler. Yani anot ile katot arasına uygulanan hızlandırma gerilimi 4,9 voltta ulaştığında akımda aniden düşüş gözlenir. Böylece, cıva buharından geçen elektron akımındaki maksimum ve minimumların gözlenmesiyle, atom enerji düzeylerinin kesikli olduğunu yani kuantalandığını doğrulamaktadır. Franck-Hertz’in bu keşfinden birkaç ay sonra, Niels Bohr bunun kendisinin atom modelini doğrulayan bir kanıt olduğunu fark etti. Böylece Franck Hertz deneyi kuantum kavramını doğrulayan klasik bir deney oldu.

Şekil 1’de Cıvalı Franck-Hertz deneyinde hızlandırma potansiyelinin bir fonksiyonu olarak anoda akan elektron akımını göstermektedir. Komşu tepe noktaları arasındaki potansiyel farkı 4.9 V’tur. Potansiyel farkı 4,9 V olduğunda akımın neden düştüğünü şöyle açıklayabiliriz: Franck-Hertz deneyinde cıva atomları, elektronların kinetik enerjisi 4,9 eV olduğunda taban (temel) enerji düzeyi denilen basamaktan bir üst enerji düzeyine (uyarılmış enerji düzeyi) bu enerjiyi alarak geçer. Bu geçiş için gerekli enerji, elektronlardan sağlanır. Uyarılmış düzeye geçen elektronlar yaklaşık 10^{-8} s gibi kısa bir süre sonra, tekrar eski temel düzeylerine $E = 4,9 \text{ eV}$ enerjisinde ışık yayarak dönerler. Başlangıçta cıva atomu tarafından elektronlardan alınan enerji, ışık olarak ortama salınmıştır. Elektronlar, enerjilerini bu olayın gerçekleşmesi için verdiklerinde artık anoda ulaşamayacakları için Şekil 1’de görülen akım düşüşleri meydana gelecektir. Hızlandırma gerilimi arttırılmaya devam edilirse elektronlar tekrar kinetik enerji kazanacaklar ve bunun sonucunda da akım yeniden yükselmeye başlayacaktır. Tekrar gerilim değeri farkı 4,9 eV olduğunda bu enerji atomu tekrar temel düzeyden uyarılmış düzeye çıkarmak için harcanacaktır. Daha sonra, uyarılmış atom tekrar foton salarak temel duruma gelecektir. Burada dikkat edilirse atomun uyarılması ancak 4,9 eV değerinde mümkün olmaktadır. Bu değerden büyük veya küçük enerji değerlerinde atom herhangi bir reaksiyon göstermemektedir. Öyleyse, cıva atomunun temel düzeyi ile birinci uyarılma düzeyi arasındaki enerji farkı 4,9 eV’dir ve atomun sahip olduğu enerji düzeyleri ancak belirli değerdedir yani her değeri alamaz, kesiklidir. Başka bir deyişle; atomlar kuantumlu enerji düzeylerine sahiptirler.

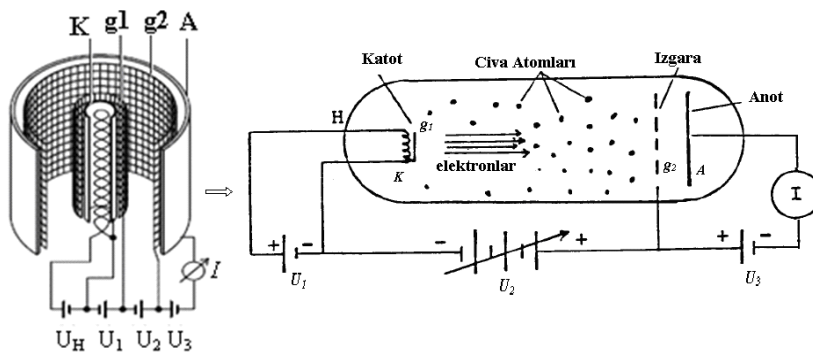


Şekil 1: Cıvalı Franck-Hertz deneyinde hızlandırma potansiyelinin bir fonksiyonu olarak toplayıcıya akan elektron akımı.

1.1. Franck-Hertz Tüpü

Bir metal yeterince ısıtıldığında metal yüzeyinden elektronların koparıldığı bilinmektedir. Anot ile katot arasında bir ızgara (grid) yerleştirildiğinde ve anot ile katot arasında bir potansiyel uygulandığında bu katoda bağlı filamentten koparılan elektronların enerjileri ölçülebilir. Eğer elektronlar tüp içerisinde bulunan gaz atomları (cıva) ile sürekli olarak inelastik (esnek olmayan) biçimde çarpışırlarsa elektronlardan atomlara enerji aktarılır.

Şekil 2’de cıvalı Franck-Hertz tüpünün yandan ve şematik gösterimi verilmiştir. Cıva atomları içi boş bir cam tüp içinde sıcaklık kontrolüyle 15 hPa(hekto Pascal) civarında bir buhar basıncında sabit tutulur. Franck-Hertz tüpü dört elektrotlu silindirik simetrik bir sistemden oluşmaktadır: Şekil 2’de görüldüğü gibi katot (K), kontrol elektrotu ızgarası (g_1), ivmelendirme ızgarası (g_2) ve en dışta anot (toplayıcı) (A) ile çevrelenmiştir.



Şekil 2: Cıvalı Franck-Hertz tüpünün yandan ve şematik gösterimi.

Elektronlar ısıtılan katottan (K) yayımlanır ve tüp içinde anoda doğru bir yük bulutu oluştururlar. Bu elektronlar g_1 ızgarası ile katot arasına uygulanan U_1 sürücü potansiyeli tarafından çekilirler. Elektronlar ayarlanabilir hızlandırma potansiyeli (U_2) ile g_2 ızgarasına doğru cıva atomları arasından hızlandırılırlar. Pratik olarak eğer ızgara deliklerindeki kaçaklar ihmal edilirse, elektron yayılım akımı g_1 ve g_2 ızgaraları arasındaki U_2 hızlandırma potansiyelinden bağımsızdır. Toplayıcı anot (A), g_2 ızgarasından geçen elektronları toplamak için g_2 ızgarasının arkasına yerleştirilmiştir. Durdurma potansiyeli (U_3), g_2 ızgarası ile A anodu arasına uygulanmaktadır. Bu nedenle sadece yeterli kinetik enerjiye sahip olan elektronlar, anoda ulaşır ve anot akımını arttırırlar.

Bu deneyde, sürücü potansiyel (U_1) ve durdurma potansiyeli (U_3) sabit tutulurken hızlandırma potansiyeli (U_2) 0 volttan 30 volt değerine çıkartılacak ve buna karşılık gelen toplayıcı akımı (I_A) ölçülecektir. Bu akım başlangıçta artar, fakat g_2 ızgarasının önündeki elektronların kinetik enerjisi, çarpışma sırasında cıva atomlarını ($E_{Hg}=4.9$ eV) uyarmak için gerekli enerjiyi transfer etmeye yeterli olduğunda bir maksimum değere ulaşır. Anot akımının değeri çarpışma sonunda durdurma potansiyelini (U_3) aşamadığından yani hızlandırma potansiyeli (U_2) 4,9 eV'a ulaştığında hızla düşer.

Hızlandırma potansiyeli (U_2) arttıkça, elektronlar, (g_2) ızgarasından yeterince uzakta bulunan cıva atomlarını uyarmak için yeterli enerji düzeyine ulaşır. Çarpışmadan sonra elektronlar bir kez daha hızlanırlar ve hızlandırma potansiyeli yeterli düzeye ulaştığında ($U_2 = 2 \times 4,9 = 9.8$ eV) yeniden bir cıva atomunu uyarabilecek kadar enerjiyi elektrik alanından soğururlar. Sonuçta ikinci bir maksimum daha oluşur ve U_2 'nin daha büyük değerlerinde toplayıcı akımı (I_A) için daha fazla maksimum nokta elde edilir. Böylece bu pik değerleri 4.9 eV'un katları şeklinde tekrarlanır.

2. DENEY

İçinde bir damla cıva bulunan Franck-Hertz deney seti, elektrik bağlantılarıyla birlikte Şekil 3'de gösterilmektedir. Franck Hertz tüpü ısıtıldığında oluşacak cıva buharı içerisinden hızlandırma potansiyeli yardımıyla çok sayıda elektron geçirdiğimizi düşünelim. Bu durumda tüpün çıkışından elektron akımını ölçebiliriz. Hızlandırma potansiyelini (U_2) arttırdıkça elektron akımının da artması beklenebilir. Fakat yapılan gözlemlerde, elektron akımında bazı potansiyel değerlerinde artma yerine azalma gözlenmektedir. Elektron akımındaki bu beklenmedik değişimin sebebi, elektronların esnek olmayan çarpışmaları sonucu enerji kaybederek anoda ulaşamamalarından kaynaklanmaktadır.

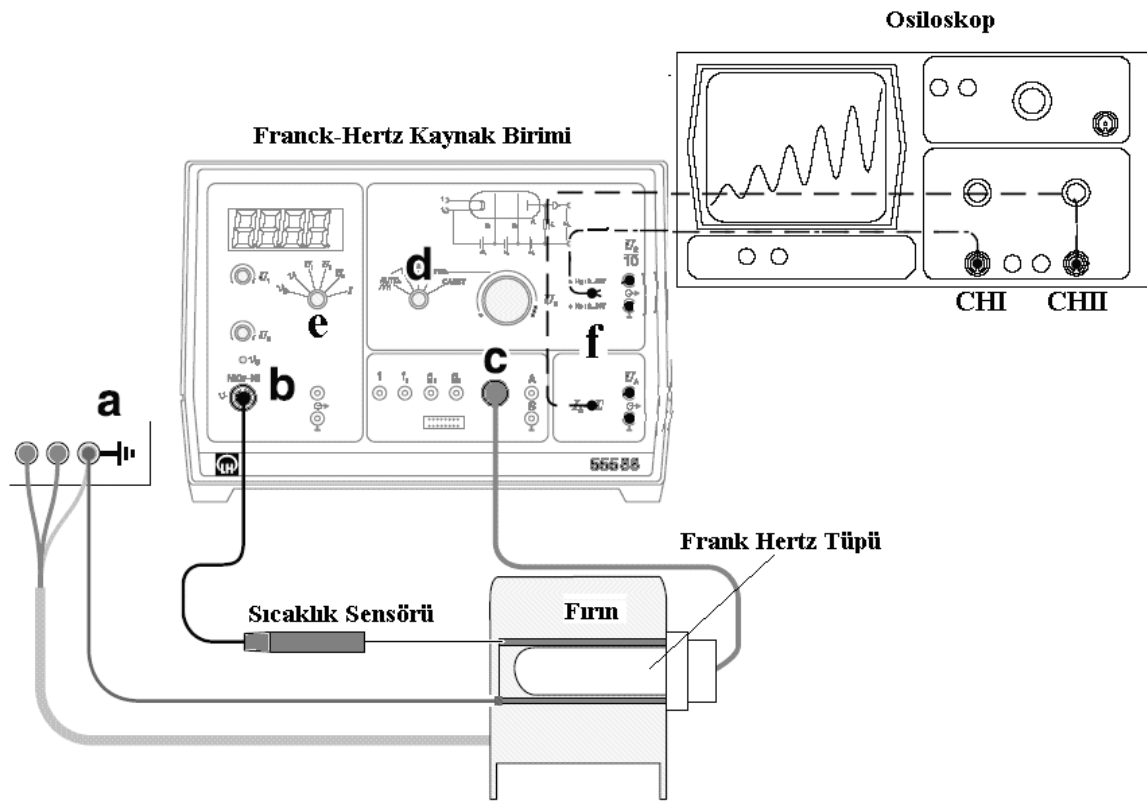
2.1 Deneyde Kullanılan Malzemeler

- Franck-Hertz Tüpü, Hg
- Franck-Hertz tüpü (Hg) için 1 priz, Çok pinli girişli
- Elektrikli fırın, 220 V
- Franck-Hertz kaynak birimi
- Sıcaklık sensörü (NiCr-Ni)
- 1 adet iki kanallı osiloskop
- 2 adet perdelenmiş BNC/4 mm' lik kablo
- 1 XY-Yt kaydedici SR 720
- Bağlantı kabloları

2.2 Deney Setinin Kurulması

Yukarıda verilen malzemeleri kullanarak ve Şekil 3'e bakarak deney setini aşağıdaki sıraya göre kurunuz.

1. Franck-Hertz kaynak biriminin kapalı olduğundan emin olunuz.
2. 4 mm'lik güvenli soketleri kullanarak kaynak biriminin arkasına (a) Franck-Hertz ısıtıcı fırını bağlayınız.
Not: 4 mm'lik elektrik fişi ile yeşil-sarı güvenli soketlere bakır kolun bakır ara kablosunu bağlayınız. (Girişim alanından Franck-Hertz tüpünü perdelemek için)
3. Sıcaklık sensörünün DIN fişini kaynak biriminin (b) soketine ve Franck-Hertz tüpünün DIN fişini (c) soketine takınız.
4. Franck-Hertz kaynak biriminin sağ tarafındaki U2/10 çıkış soketlerini (f) sırasıyla osiloskobun kanal I (CHI) ve kanal II (CHII) girişine bağlayınız.
5. CHI'yi 0.5 V/DIV ve CHII'yi 2V/DIV skalasına ayarlayınız.
6. Osiloskopu X-Y moduna getiriniz.



Şekil 3: Cıvalı Franck-Hertz deney düzeneği

Soru1: a) Tüp içinde oluşabilecek olayları düşünerek akımda gözlenebilecek inişli çıkışlı davranışların sebebini açıklayınız. b) Enerjideki bu kayıp sizce tüpün çıkışından alınan elektron akımındaki azalmayı tam olarak açıklayabilir mi?

Soru2: Bir elektronun civa atomuyla esnek çarpışması sonucu kaybedeceği kinetik enerjinin elektronun kinetik enerjisine oranının, $\frac{\Delta K}{K_0} \approx \frac{4m_{elk}}{M_{civa}}$ olduğunu gösteriniz.

Soru3: Civa atomunun enerji seviyeleri diyagramını araştırınız. Hızlandırılan elektronun enerjisinin 0 ile 4 eV arasında olması durumunda anod akımında nasıl bir değişim gözlenebilir? Açıklayınız.

2.3 Deneyin Yapılışı

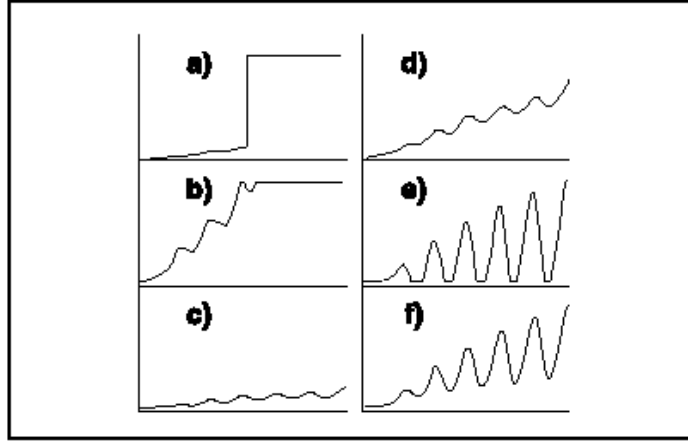
- 1- Franck-Hertz kaynak biriminin arkasındaki açma düğmesini açınız. (Bir kaç saniye sonra, cıva için LED göstergesi yeşilden kırmızıya dönecektir.)
- 2- Osiloskobu açınız.
- 3- Başlangıçta **(e)** anahtarını U_2 durumuna getiriniz. Daha sonra çalışma mod anahtarını **(d)** MAN konumuna getiriniz. Bu düğme ile hızlandırma potansiyel değerini $U_2 = 1.6$ volta göre ayarlayınız.
- 4- Franck-Hertz kaynak biriminin **(e)** anahtarını U_1 sürücü potansiyel moduna getiriniz ve U_1 ayarlama düğmesini kullanarak sürücü potansiyel değerinin $U_1 = 1.6$ volt'a ayarlayınız.
- 5- Aynı şekilde bu anahtarı U_3 durdurma potansiyel moduna getiriniz ve U_3 ayarlama düğmesini kullanarak durdurma potansiyelini yaklaşık $U_3 = 1.65$ volta ayarlayınız.
- 6- Çalışma mod düğmesini **(d)** (MAN) konumundan (∇) konumuna getiriniz.
- 7- Osiloskoptan Franck-Hertz eğrisinin net olarak görülmesi için cıva tüpünü yaklaşık 15 dk ısıtınız.
- 8- Bu sürede **(e)** anahtarı **v** durumuna getirerek **v** sıcaklığı yaklaşık $v = 180^\circ\text{C}$ 'ye yükselinceye kadar bekleyiniz.
- 9- Osiloskobda Kanal I (CHI) yatay eksenini (x), Kanal II (CHII) ise düşey eksenini (y) göstermektedir. Bu nedenle CHII'nin **Volt/Div** düğmesi 0.5 skalasına göre ayarlandığında yatay ekseninde her bir aralık 0.5 volt'u göstermektedir. Aynı şekilde CH I'nin **Volt/Div** düğmesi 2 skalasına göre ayarlandığından düşey eksenindeki her bir aralık 2 volt'u göstermektedir. Dikkat etmeniz gereken CH I in bağlandığı yerde yazan $U_2/10$ göstergesidir. Bu gösterge, çıkış voltajının onda birinin osiloskoba ulaştığını söyler. Bu nedenle yatay ekseninde bulduğunuz değeri 10 ile çarpmanız gerekir. OHM yasasına göre akım ile gerilim arasında $V = IR$ ilişkisi olduğundan (R : direnç=sabit) osiloskobun düşey ekseninden ölçülen volt değeri R sabitine bölünürse akım elde edilir. Bu nedenle, Franck-Hertz eğrilerin için akım-gerilim eğrisi çizileceği zaman akım değeri yerine doğrudan düşey eksenindeki volt değeri kullanılarak. Osiloskop ekranında Franck-Hertz eğrilerini hassas olarak gözleyebilmeniz için osiloskop üzerindeki x ve y yönündeki kaydırma düğmelerini kullanınız.

Franck-Hertz Eğrisine hassas olarak ayarlayabilmesi için aşağıda bazı açıklamalar yapılmıştır. Ayrıca, aşağıda bir tane de Franck_Hertz ölçüm örneği verilmiştir. Siz de gerekiyorsa bu bölümü dikkatlice okuyup hassas bir şekilde ölçümlerinizi yapabilirsiniz.

2.4 .Franck-Hertz Eğrisinin Ayarlanması (Optimizasyonu)

a) V_s 'nin Ayarlanması

Eğer Franck-Hertz Eğrisi keskin bir şekilde artarsa (Şekil 3'e bakınız) fırının açılan kısmından Franck-Hertz tüpü içerisinde bir gaz boşalımı olduğunu görebilirsiniz. (Mavi ışık)



Şekil 4: V , U_1 ve U_3 doğru parametrelerin seçilmesiyle Franck-Hertz eğrilerinin ayarlanması sırasında oluşan görüntüler.

Bu durumda çalışma mod düğmesini hemen RESET durumuna getiriniz ve düzenek çalışma sıcaklığına ulaşana kadar bekleyiniz.

Eğer (gerekirse) tornavida uçlu potansiyometreyi kullanarak V_s değerini arttırınız (5 V kadar) ve yeni ısısal denge kuruluncaya kadar birkaç dakika bekleyiniz.

b) U_1 'in Ayarlanması:

Sürücü potansiyeli (U_1) ne kadar büyük olursa elektron yayınım akımı da o kadar fazla olur.

Eğer Franck-Hertz eğrisi dik olarak yükselirse, bir başka deyişle, akım ölçen yükselticinin üst sınırı $U_2 = 30$ V altındaki değerlere ulaşır ve Franck-Hertz eğrisinin üst kısmı kesilir; (Şekil 3b), eğri dikliği (steepness) Şekil 3d'deki gibi oluncaya kadar U_1 potansiyelini düşürünüz.

Eğer Franck- Hertz eğrisi Şekil 3c'de gösterildiği gibi hemen hemen çok düz bir yapıdaysa, yani toplayıcı akımı (I_A) tüm alanlarda 5 nA altında kalıyorsa, eğri dikliği Şekil 3d'deki gibi oluncaya kadar U_1 değerini (maksimum 4.8 V) arttırınız.

Franck-Hertz eğrisi U_1 sürücü potansiyeli artırılmasına rağmen hala düz bir yapıdaysa, tornavida uçlu potansiyometre kullanarak fırın sıcaklığı için V_s değerini düşürünüz.

c) U_3 ‘ün Ayarlanması:

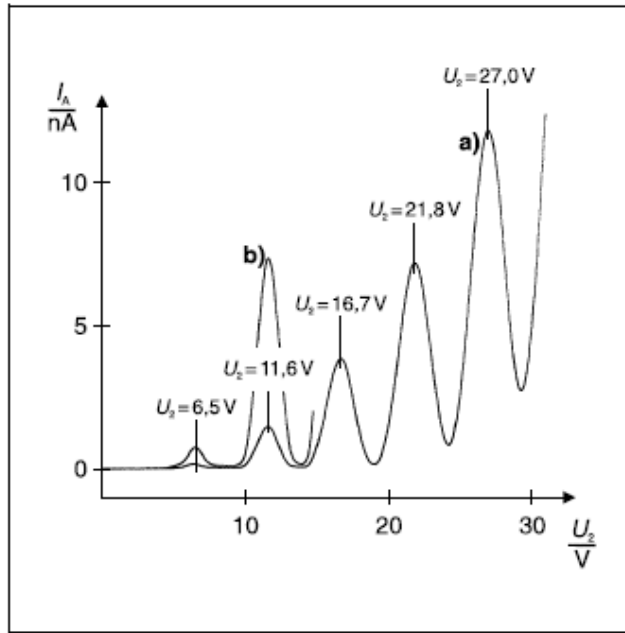
Daha büyük bir durdurma gerilimi U_3 , Franck-Hertz eğrisinin üzerinde maksimum ve minimumların daha iyi tanımlanmasını sağlarırken aynı zamanda, toplam toplayıcı akımı azalır.

Eğer Franck-Hertz eğrisinin maksimum ve minimumu yeterince belirlenemiyorsa (Şekil 3d). Bu durumda;

- İlk önce durdurma gerilimini U_3 (maksimum 4.5 V) ve sürücü potansiyeli U_1 ’i Şekil 3f’de gösterilen eğriyi elde edinceye kadar arttırınız.
- Eğer Franck-Hertz eğrisinin minimumu tabandan kesilirse (Şekil 3e): Bu durumda,
- İlk olarak durdurma gerilimini U_3 arttırınız. (Maksimum 4.5 V) ve sonra sürücü potansiyel U_1 değerini eğri Şekil 3f’ deki görülen biçimi alıncaya kadar azaltınız.

2.5. Ölçüm Örneği ve Değerlendirme

$U_1 = 1,58$ V, $U_3 = 3,95$ V, $V_s = 180^0$ C Şekil 4’te ardışık maksimumlar arasındaki aralıkların ortalama değeri bize hızlandırma potansiyel değerini $\Delta U_2 = 5,1$ V’ u verir. Aynı zamanda bu $\Delta E = 5,1$ eV’ luk enerji transferine karşılık gelir.



Şekil 5. a) Civanın Franck-Hertz eğrisi, b) Ordinatu beş kat büyütülmüş bir maksimum N nokta.

Bu enerji değerini literatürde verilen enerji değeriyle karşılaştırsak civa atomlarının 1S_0 taban durumundan 3P_1 birinci uyarılmış durumuna geçiş enerjisi için gerekli olan $E_{Hg} = 4,9$ eV olan değerine yakın olduğunu görürüz.

G_2 ızgarasında elektronların kinetik enerjisi $K.E = (U_1+U_2)$ eV olarak hesaplanır. Bunun temelinde, $U_1+U_2= 4,9$ Volt'ta toplayıcı akımın birinci maksimumunu bekliyor olmamız yatar. Aslında, birinci maksimum $U_1+U_2= 8,1$ Volt' a kadar kaydedilmemektedir. İki değer arasındaki fark katot K ve G_2 ızgarası arasındaki etkin temas(kontak) potansiyelidir.

Önemli Not: Pek çok faktör etkin kontak potansiyelini etkilemektedir. Bunların içinde en önemlisi burada bahsedilmeye değerdir. Gerçek kontak potansiyeli katot ve ızgara materyallerinin yayınıminin farklı çalışmasıyla oluşmaktadır. Sırasıyla, karışık oksit katodu ve gaz yüklerinin yayınımin özellikleri, ızgaranın cıva kaplamasında önemli rol oynar. Sıcak katottan yayılan elektronların sahip olduğu ilk hız katodun sıcaklığına bağlıdır.

3.Sonuç ve Rapor

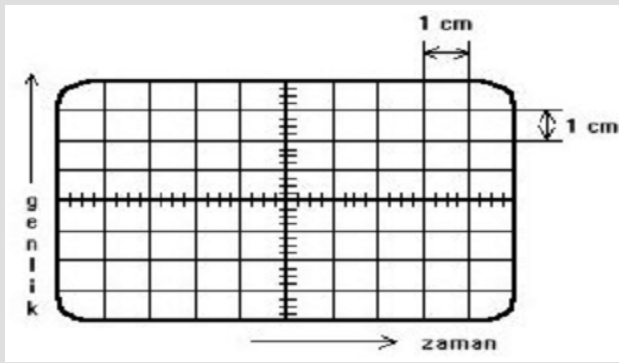
Ad Soyad:

No:

Grup:

Tarih:

Hesaplamalar1: Gözlemlediğiniz şekli aşağıdaki osiloskop ekranına çiziniz.

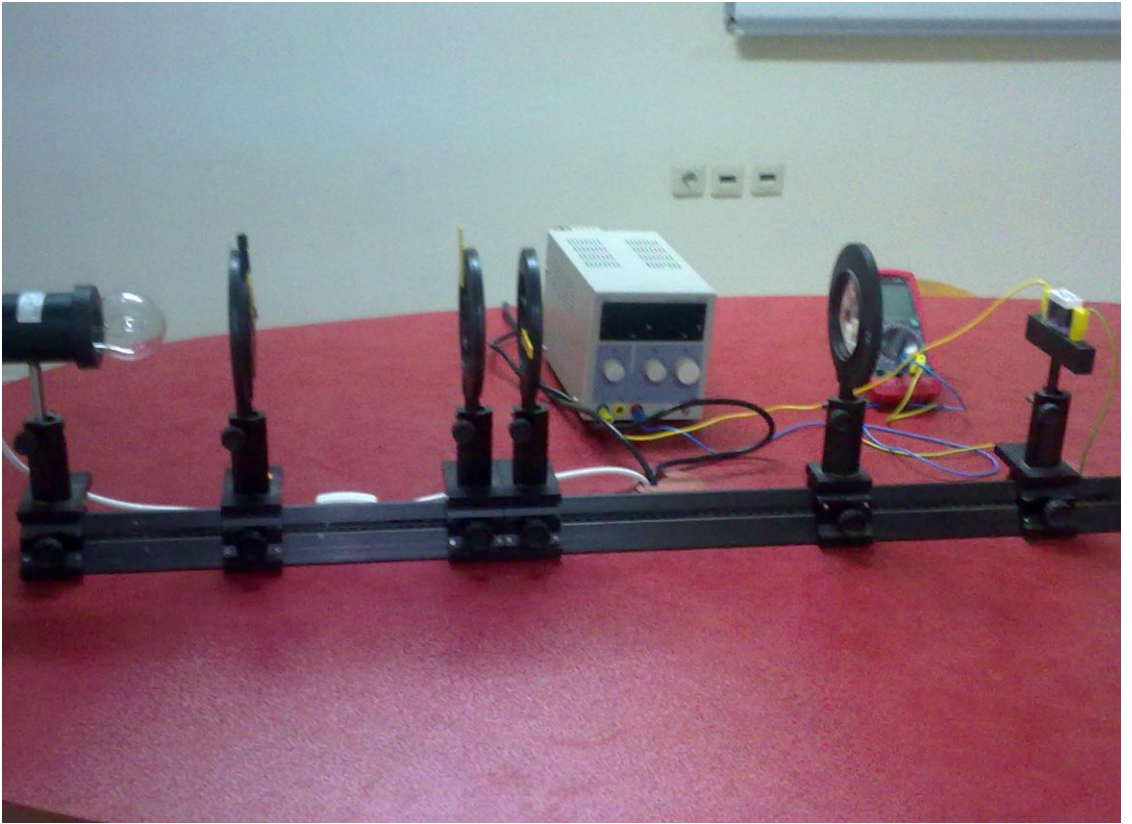


Hesaplamalar2: Komşu iki tepe noktası arasındaki mesafeleri belirleyiniz.

Hesaplamalar3: Bulduğunuz sonucu cıva atomundaki birinci uyarılma enerji seviyesi olan 4.9 eV ile karşılaştırarak % hata hesabınızı yapınız. (Karşılaştırma için, geniş olan ilk tepeden sonraki iki tepe arasını alınız)

SONUÇ ve YORUM:

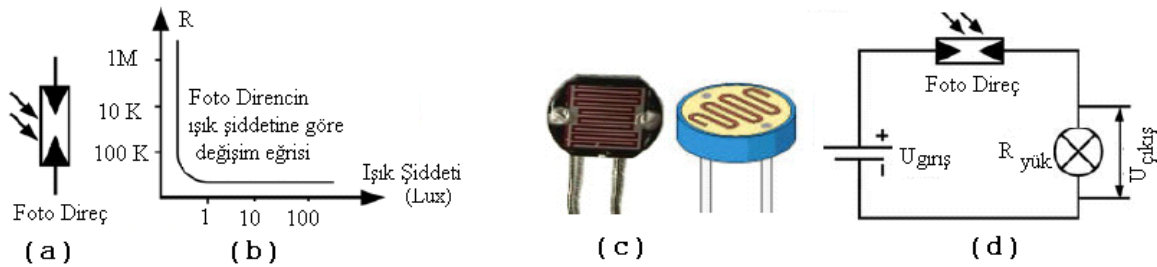
6-FOTO DİRENCİN AKIM- GERİLİM KARAKTERİSTİĞİNİN BELİRLENMESİ



DENEYİN AMACI: Sabit bir Φ akısında, U gerilimin fonksiyonu olarak, I_{ph} fotoiletkenlik akımını ve sabit bir U geriliminde Φ akısının fonksiyonu olarak fotoiletkenlik akımı I_{ph} ' yi ölçmektir.

1.TEORİ

Fotodirençler (LDR light dependent resistance) ışığa duyarlı dirençler olup optik devre tasarımlarında kullanılan en popüler devre elemanlarıdır. Çalışma ilkesi normal ayarlı bir dirençten farklı değildir, ancak değeri üzerindeki herhangi bir mekanik ayar ile değil, aldığı ışığın şiddetine göre değişir. LDR üzerine düşen ışık şiddeti ile ters orantılı olarak direnç gösterir. Işıқта küçük direnç, karanlıkta yüksek direnç gösteren devre elemanlarına **foto direnç** denir. Foto direnç karanlıkta birkaç MΩ direnç gösterirken aydınlıkta 100 Ω veya daha küçük bir direnç gösterir. Foto dirençlerin yapımında CdS (kadminyum sülfür), CdSe (kadminyum selenür), Ge (germanyum), Se (selenyum) ve Si (silisyum) gibi ışığa duyarlı maddeler kullanılır. Şekil 1 bir foto direncin sembolü, ışık şiddetine göre değişim eğrisi ve uygulama devresi verilmektedir.



Şekil 1. a) Fotodirencin görünüşü: , b) Fotodirencin çalışma eğrisi, c) Fotodirençler, d) Fotodirencin uygulama devresi

Fotoiletkenlik; bir katıda, ışık soğurumuna bağlı olarak σ elektrik iletkenliğinin değişme etkisidir. İç foto etki olarak adlandırılan durum olduğu zaman, soğrulan foton enerjisi, elektronlarının valans bandından iletim bandına geçişini ve valans bandında yaratılan hollerle tuzakların yük değişimlerini sağlar. Böylece, kristal örgüde yük taşıyıcılarının sayısı ve bunun sonucu olarak iletkenlik de artar.

$$\Delta\sigma = \Delta p \cdot e \cdot \mu_p + \Delta n \cdot e \cdot \mu_n \quad (1)$$

Burada, e: elektron yükü, Δp : hole konsantrasyonunun değişimi, Δn ; Elektron konsantrasyonunun değişimi, μ_p ; hollerin mobilitesi (hareketliliği), μ_n ; elektronların mobilitesidir.

Devreye bir V voltajı uygulandığı zaman, devredeki fotoakım;

$$I_{ph} = \frac{A}{d} \cdot \Delta\sigma \cdot V \quad (2)$$

İle değişir.

Burada, A: Akım yolunun arakesiti, d: Elektrotlar arasındaki uzaklıktır.

Yarıiletken dirençler (rezistörler) yani fotoiletken hücreler üzerine düşen ışıma bağlı olarak akı yaratma temelinde geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Sokak lambalarını kontrol ve anahtarlama, ışıkölçer (fotometre)’lerde kullanılır. En yaygın kullanılan yarıiletken malzemeler ise kadmiyum bileşikler ve bunların içinde özellikle CdS’dir.

Deneyde, bir CdS fotodirenci üzerine bir lambadan çıkan ışık gönderilir. Bu durumda ϕ ışık akısı, ardışık yerleştirilen 2 kutuplayıcı filtre yardımıyla taşınır. Eğer filtrelerin kutuplama düzlemleri α açısıyla birbirlerine karşı döndürülürse, akı,

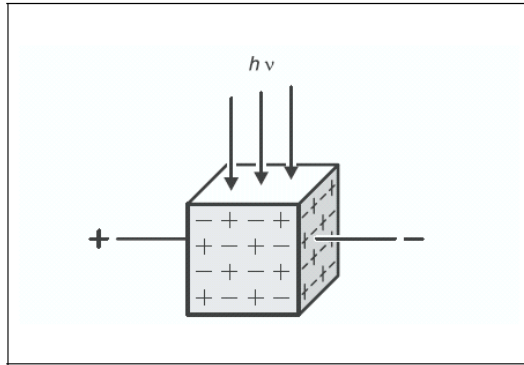
$$\Phi = \Phi_0 D \cdot \cos^2 \alpha \quad (3)$$

olur. Burada Φ_0 ; kutuplayıcı filtreleri yokken oluşan akı, D : Kutuplayıcı düzlemleri paralel yapıldığında oluşan geçirgenlik(şeffaflık) tir.

Fotoiletkenlik, sabit bir ışık akısında fotorezistör’e uygulanan voltajın bir fonksiyonu olarak (akım–voltaj karakteristiği) ve sabit bir voltajda (akım–akı karakteristiği) akının bir fonksiyonu olarak ölçülür.

1.1. İdeal Bir Fotoiletkenlik Modeli

İdeal Bir Fotoiletkenlik Modeli Şekil 2’de verilmiştir. Elektron–hole çiftleri dışarıdan kaynaktan verilen ışık ve kristal içindeki yeniden birleşimler ile kristal boyunca üretilir ve yeniden birleşmeye zorlanır. (-) elektrottan kristale giren elektronlar (+) elektrottan kristalden ayrılan elektronlar ile yerdeğiştirirler.



Şekil 2. İdeal Bir Fotoiletkenlik Modeli

Soru1: Fotodirenç, fototransistör ve fotodiyodun çalışma ilkelerini açıklayınız.

Soru2:a) Işık akısı ile foto akım arasındaki ilişkiyi açıklayınız.**b)** Foto direncin kullanım alanlarını yazınız.

2. DENEY

2.1. Deneyde Gerekli Malzemeler

- LDR Fotorezistör
- Elementleri tutucu
- Ayarlanabilir slit
- 1 Çift kutuplama filtresi
- $f = +150$ mm Mercek
- Optik binici: H90 mm/B=50 mm
- Optik set (1 m)
- Lamba tutucusu
- Lamba 6V/30 W
- Kapasitör
- DC Güç kaynağı (0-16V)
- Transformator (çevirici):6/12 V
- Multimetre
- Bağlantı kabloları

2.2. Deney Setinin Kurulması

Deney setinin kurulumu Şekil 2' de gösterilmiştir. Optik tezgahın üzerindeki optik binicilerin sol tarafının konumları cm cinsinden verilmiştir. Optik eksen üzerinde deney setinin bütün parçalarının yüksekliklerini tam olarak ayarlayabilmek için, optik malzemelerin parçaları optik binici yerinde tam olarak sabitleştirilmemiştir. Bunun için aşağıdaki işlemleri sırasıyla yapınız.

Optik tezgah üzerine optik biniciyi bağlayınız.

1) İlgilenilen aracın sapı içerisine fotorezistörü tıkaç ile kapatınız ve onu sağdaki optik biniciye koyunuz.

2) Lambayı sol taraftaki optik biniciye yerleştiriniz ve bunu transformatörün 6V çıkışına bağlayınız.

3) Çentikli vidaları kullanarak lambayı merkezleyiniz ve homojen bir ışık ışınının fotorezistörü aydınlatabilmesi için lamba tüpünü hareket ettirerek lambayı tam olarak ayarlayınız.

4) İnce kenarlı merceğin dışbükey kısmını, lambaya bakacak şekilde deney seti üzerine yerleştiriniz ve optik biniciyi sağa sola kaydırarak merceği ayarlayıp ışık ışınlarını fotorezistör üzerine odaklayınız.

5) İki adet kutuplayıcı filtresini ve ayarlanabilir yarığı (slit) sisteme bağlayınız ve filtrelerin kutuplayıcı düzlemleri arasındaki α açısını 0^0 'ye ayarlayınız ve ayarlanabilen yarığın yarıçapını yaklaşık 0,2 mm 'ye kadar açınız.

6) Fotorezistörün aydınlatmasını kontrol ediniz, gerekiyorsa kurmuş olduğunuz deney setini yeniden düzenleyiniz.

7) Ayarlanabilir yarığı tam olarak kapatınız.

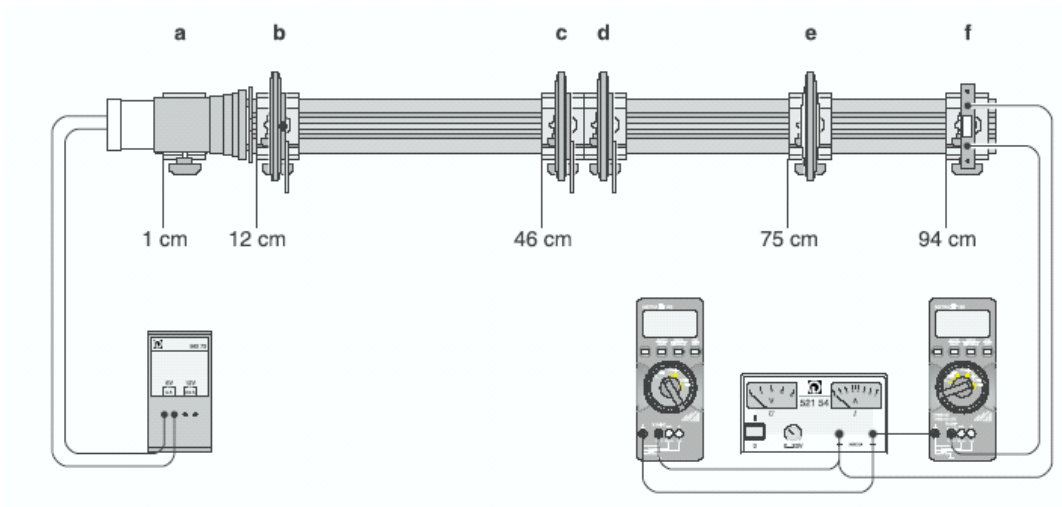
8) DC güç kaynağını bağlayınız. Voltaj ölçümü için (METRAH14S marka) Digital/analog voltmetreyi paralel bağlayınız. Fotoakımını ölçmek için (METRAHİT 18 s A/D)multimetreyi seri olarak bağlayınız (mA akım değişimini ölçmek için).

9) V voltajını 16V'a ayarlayınız.

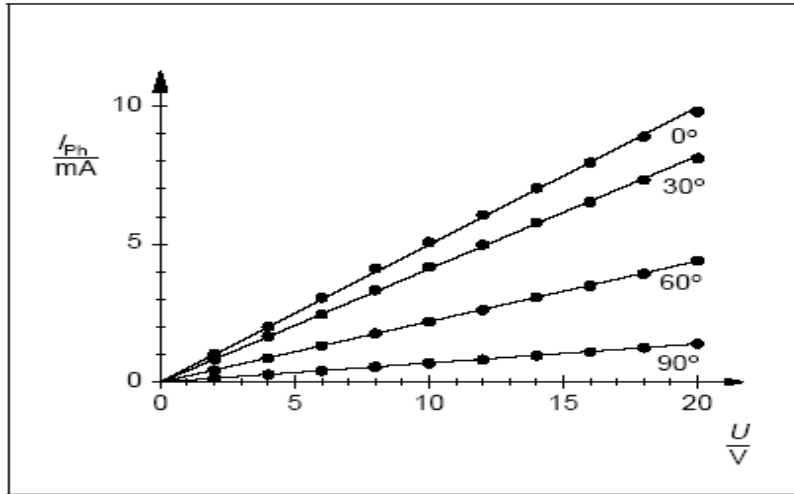
10) Fotorezistörden geçecek olan I akımını en fazla 9 mA olacak şekilde ayarlanabilir yarık aralığını yavaş yavaş açınız ve bundan sonra yarık aralığını değiştirmeyiniz.

2.3. Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

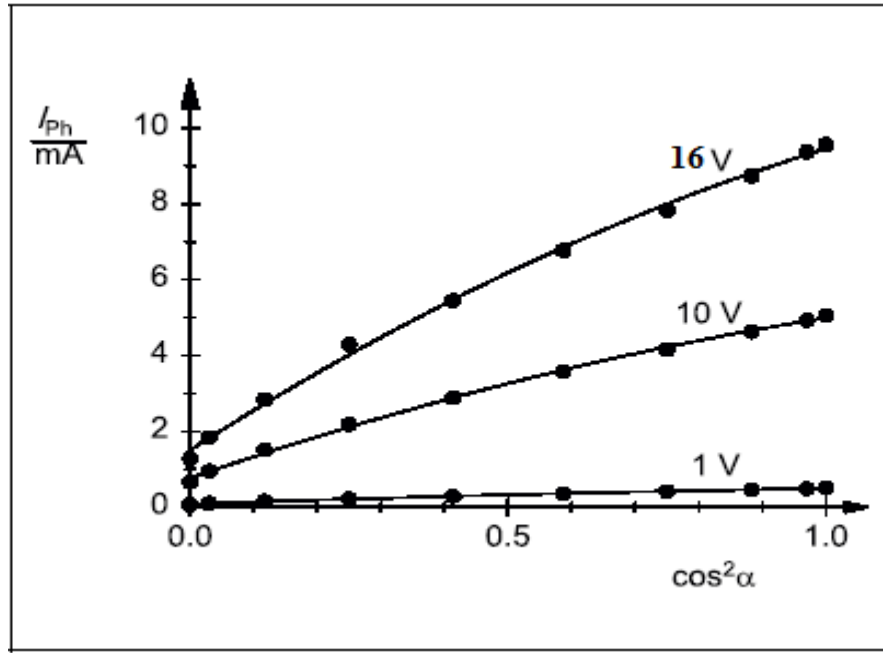
Fotorezistör fazla yüklendiğinde bozulur: Bu nedenle, arttırma gücünü en fazla $P=0,2$ watt olacak kadar arttırınız. Deney odasındaki arta kalan ışıktan fotorezistörünüz etkilenecektir. Ölçüm aletlerinin tam olarak okunabilmesi için odadaki ışıkların tamamını söndürünüz ve kesin sonuç almak için ışık kaynaklarının sabit kaldığından emin olunuz.



Şekil 2. Deney düzeneği.



Şekil 3. CdS fotorezistörün I-V karakteristiği.



Şekil 4. CdS fotorezistörün $I-\phi$ karakteristiği.

3.Sonuç ve Rapor

Ad Soyad:.....

No:.....

Grup:.....

Tarih:.....

Hesaplamalar1. Sabit ϕ akısında, V voltajının bir fonksiyon olarak I_{PH} fotoakımın ölçülmesi:

Gelen ışık ışınlarının yolunu kesiniz ve çevreden kaynaklanan I_0 fotoakımını belirleyiniz.

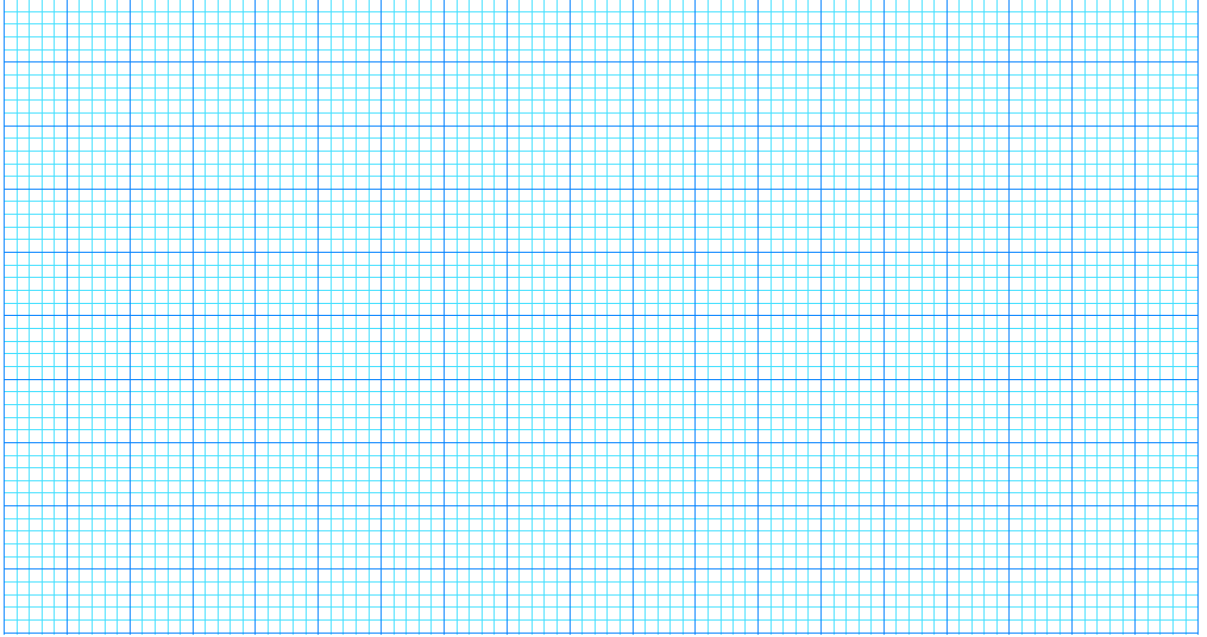
V voltajını 16V ‘tan başlayarak, 2 volt’luk aralıkta 2 V’ a kadar düşürünüz ve her seferinde I_{PH} fotoakımını ölçünüz.

$\alpha = 0^0$ için yapmış olduğunuz bu ölçümleri $\alpha = 30^0, 60^0$ ve 90^0 için tekrarlayıp Tablo 1’i oluşturunuz ve akım voltaj grafiğini çiziniz.

Tablo 1. Filtrelerin kutuplama düzlemleri arasındaki farklı α açıları için U voltajının bir fonksiyonu olarak ölçülen I_{PH} fotoakımı.

U(Volt)	I_{PH} (mA) $\alpha = 0^0$	I_{PH} (mA) $\alpha = 30^0$	I_{PH} (mA) $\alpha = 60^0$	I_{PH} (mA) $\alpha = 90^0$
16				
14				
12				
10				
8				
6				
4				
2				

Akım-voltaj grafiğini çiziniz



Elde ettiğiniz Akım –voltaj grafiğinde farklı V voltaj değerlerinde I_{PH} fotoakımı nasıl değişmektedir? Birkaç cümle ile açıklayınız.

Hesaplamalar 2. Sabit V voltajında ϕ akısının bir fonksiyonu olarak I_{PH} fotoakım ölçülmesi

V voltajını tekrar 16V'a ayarlayıp ışığı kapatınız ve çevredeki artık ışıktan kaynaklanan I_0 fotoakımını tekrar ölçünüz.

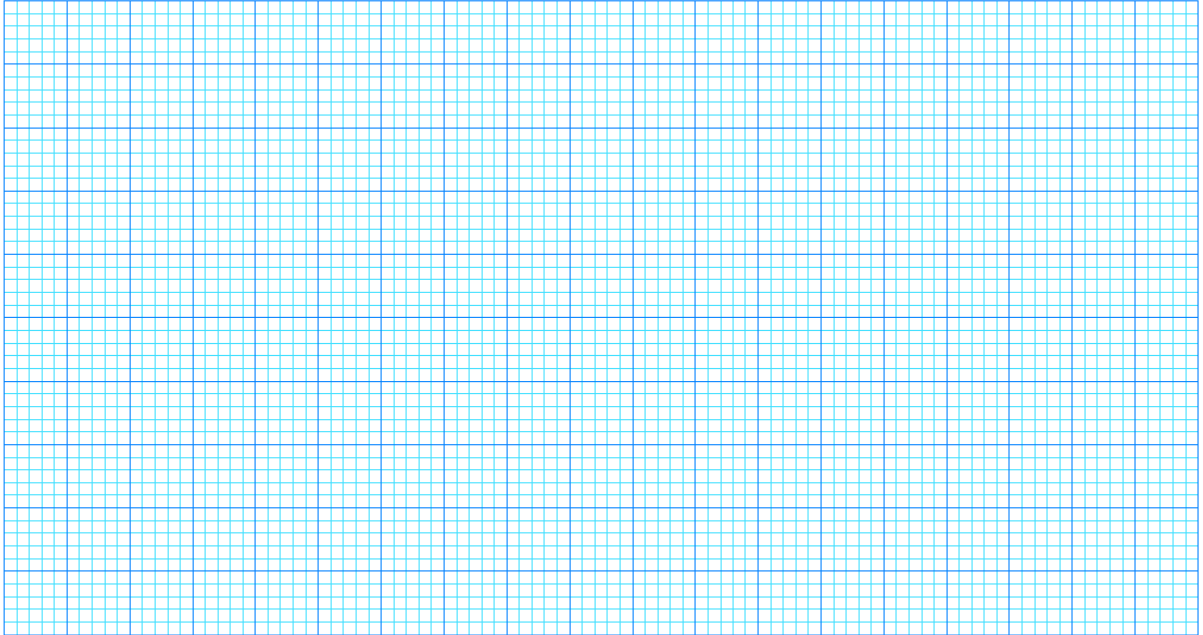
ϕ akısını değiştirmek için filtrelerin kutuplama düzlemleri arasındaki α açısını 0° den başlayarak 10° aralıklarla 90° ye kadar arttırınız. Her seferinde I_{PH} fotoakımını ölçüp bu değeri kaydediniz.

Aynı ölçümleri $U = 10$ volt ve $U = 1$ volt için tekrarlayıp Tablo 2'yi oluşturunuz ve akım, akı grafiğini çiziniz.

Tablo 2. Farklı V voltajlarındaki filtrelerin kutuplama düzlemleri arasındaki α açısının bir fonksiyonu olarak I_{PH} fotoakımları.

α°	I_{PH} (mA) V=16 V	I_{PH} (mA) V=10 V	I_{PH} (mA) V=1 V
0			
10			
20			
30			
40			
50			
60			
70			
80			
90			

Akım –akı grafiğini çiziniz.



Elde ettiğiniz Akım–akı grafiğinde ϕ akısının bir fonksiyonu olarak I_{PH} fotoakımı nasıl değişmektedir? Birkaç cümle ile açıklayınız.

Değerlendirme:

a) Sabit bir ϕ akısında U voltajının bir fonksiyonu olarak I_{PH} fotoakımının ölçülmesi.

Sabit bir akıda (filtrelerin kutuplama düzlemleri arasındaki α açısı sabittir) uygulanan V voltajı ile I_{PH} fotoakımı arasındaki ilişki (yani akım–voltaj karakteristiği) Şekil 3’de gösterilmektedir. (2) eşitliğine göre veri noktaları her bir karakteristik için orijinden geçen bir doğru üzerindedir. Her karakteristiğin eğimi akıya bağlıdır.

b) Sabit bir V voltajında ϕ akısının bir fonksiyonu olarak I_{PH} fotoakımının ölçülmesi.

Sabit bir voltajda I_{PH} fotoakımı ile akı arasındaki ilişki (akım–akı ilişkisi) Şekil 4’ te verilmektedir. (3) eşitliğine göre, $\cos^2 \alpha$ terimi akı için bağıl bir ölçümdür (α filtrelerin kutuplama düzlemleri arasındaki açıdır). Beklenildiği gibi, fotoakım artan akıyla artar. Bununla birlikte, karakteristikler tam olarak çizgisel (lineer) değildir. Eğim artan akıyla yavaş yavaş azalmaktadır.

SONUÇ ve YORUM:

7- SOĞURMA TAYFÖLÇER (ABSORPSİYON SPEKTROMETRESİ) VE NİCEL (KANTİTATİF) ANALİZ



DENEYİN AMACI: Değişik kimyasal eriyik derişimlerinin soğurma tayföçeri (fotometre) ile belirlenmesi

1. TEORİ

Radyasyonun (ışığın), iyon ve moleküller tarafından soğurulması nicel olarak birçok yöntemlerin gelişmesine yol açmıştır. Bu yöntemle, analiz yöntemlerinden başka soğurma tayfı ile kimyasal maddelerin formüllerini, yapılarını, kararlılıklarını ve analiz için kullanılacak en uygun dalga boyunu ve ortam koşullarını öğrenebiliriz.

Bir foton bir madde tarafından soğurulduğunda, soğuran sistemin (molekül veya atomun) enerjisi soğurulan fotonun frekansıyla orantılı olarak bir miktar artar.

$$E_2 - E_1 = h\nu \quad (1)$$

Burada, $E_2 - E_1$, CGS birim sistemine göre erg cinsinden molekülün enerjisindeki artış, h Planck sabiti, ν soğurulan fotonun frekansıdır. Bilindiği gibi fotonun frekansı ile dalga boyu arasında,

$$\nu = c/\lambda \quad (2)$$

ilişkisi vardır. Burada, c ışık hızı, λ soğurulan ışığın dalga boyudur. Analitik yöntemler için ışığın soğurulma derecesini ölçmek ve bunun yardımıyla konsantrasyonunu saptamak için Lambert-Beer Yasasını kullanırız. Işık geçtiği yüzeyin soğurmasını veren matematiksel eşitlik Lambert tarafından

$$dI = -kI db \quad (3)$$

şeklinde ifade edilmiştir ve bu eşitliğe Lambert Yasası denir. Burada, I maddeye gelen ve ışığın şiddetini, k bir sabit, b ; üzerine ışık düşen maddenin kalınlığını ifade eder. (–) işareti madde kalınlığı (b) arttıkça tabakadan geçen ışık şiddetinin (I) azaldığını gösterir. Birbirini izleyen her tabaka üzerine düşen ışığın eşit kesrini soğurur. Bu soğurma maddenin üzerine düşen ışığın şiddetinden bağımsızdır. 3 eşitliği I için düzenlenirse

$$\frac{dI_t}{I_o} = -k.db \quad (4)$$

$$\int \frac{dI_t}{I_o} = -k \int_0^b db \quad (5)$$

$$\ln \frac{I_t}{I_o} = -k.b \quad (6)$$

ya da

$$\log_{10} \left(\frac{I_t}{I_0} \right) = -\frac{k}{2.305} b \quad (7)$$

olarak elde edilir (7) denkleminde konsantrasyon faktörü de dikkate alınır,

$$\log \frac{I_t}{I_0} = -\varepsilon \cdot b \cdot C \quad (8)$$

eşitliği elde edilir ve bu eşitlik Lambert-Beer Yasası olarak bilinir. Burada, I_0 madde üzerine gelen ışık şiddeti, ε molar soğurma katsayısı, c konsantrasyonu ifade eder.

$\frac{I_t}{I_0}$: maddeden geçen ışın demeti şiddetinin gelen ışın demeti şiddetine oranıdır ve buna o

maddenin geçirgenliği (T) denir. Bir maddeye gelen ışın (I_0) demeti madde tarafından soğurulan (A) yansıtılan (R) ve geçirilen (T) ışınların toplamına eşittir ($A+R+T=1$) eğer maddede yansıma ve saçılma olmadığı kabul edilirse $T+A=1$ olur bu ise soğurulan ve geçen ışının yüzde olarak miktarının toplamı 1 olduğu anlamına gelir.

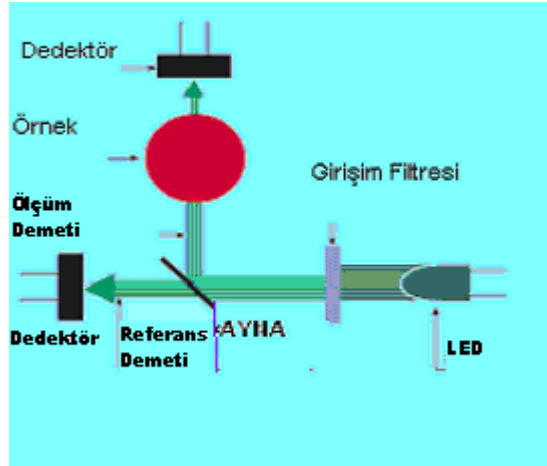
Bir maddenin analizi için seçilecek dalga boyunda o maddenin ışığı yeterince soğurması gerekir. Öte yandan, bu soğurulan ışık miktarı çok aşırı olduğunda maddeden geçen ışık miktarı ölçülemeyecek kadar az olur. Bu iki limit matematiksel olarak %15 ile %65 T olarak saptanmıştır. En iyi ölçme ise % 36.8 T 'de yapılır. Yani geçirgenlik %36.8 (T) ise soğurulan % 63,2 (A) dır.

Bir başka noktada, ölçüm yapıldığı bölgede % T 'nin dalgaboyu ile pek fazla değişmemesinin gerektiğidir. Her kalorimetre veya spektrofotometre bir dalga boyuna ayar edildiği zaman sadece o dalga boyunun değil, kullanılan filtrenin geçirgenliğine göre (Şekil 1) onun komşusu olan bir çok dalga boyunu ($\cong 20 \mu m$) bir demet halinde madde üzerine düşürür. Bu nedenle ölçüm yapılacak dalga boyu soğurma tayfinin 'düz' olan bölgelerinden seçilmelidir.

Bir tayfölçerde veya renkölçerde Şekil 1'de görüldüğü gibi ışık kaynağından çıkan beyaz ışık demeti aletin giriş aralığından geçerek ya bir kırınım ağı veya bir prizma, Michelson girişim ölçeri yardımıyla içerdiği dalga boylarına ayrılır. Bunların içinden dalga boyları birbirine yakın ince bir demeti analiz için örneğe göndermek gerekir. Işık demeti örnekten geçtikten sonra, aletin ışık şiddetini ölçen elektronik parçasına (foto-tüp) gelir.

Soru1: Geçirgenlikle dalga boyu arasındaki ilişkiyi tartışınız? Tayfölçer ile yoğunluğu bilinmeyen bir maddenin yoğunluğu nasıl saptanır?

Soru2: Işığın soğurulması maddenin hangi özelliklerine bağlıdır? Soğurma, ışığın şiddetine bağlıdır. Neden?



Şekil 1. Fotometrenin yapısı

2. DENEY

2.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler

- 1- 1 adet Fotometre cihazı (Şekil 2) ve aksesuarları (10 ml orantılı enjektör, mm'lik ölçekli karıştırma kabı ve çubuğu)
- 2- 1 adet çözelti hazırlamak için X (krom sülfat, nikel sülfat, demir, bakır vs olabilir) numunesi
- 3- 5 adet aynı kalınlık ve aynı çapa sahip cam tüpler (Şekil 3). Bu tüplerden birine 10 ml saf su ve diğerlerine sırasıyla C, C/2, C/4 ve C/8 derişimli X numunesi çözeltileriyle doldurunuz.
- 4- Saf Su



Şekil 2. Deney Seti

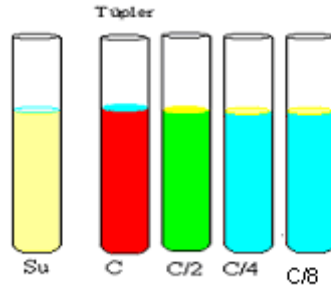
2.2. Deneyi Yaparken Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar:

- 1-Tüplerin kullanılmasında çok dikkatli olmak gerekir.
- 2-Bir tüpü daima saf su için, diğerlerini de ölçüm yapılacak olan numune için kullanın. Tüplerin ışık demetinin geçtiği alt kısmına elle dokunmayın. Çünkü elleriniz kirli ya da terli olduğu zaman tüpler üzerine leke bırakır ve bu lekeler ışığı

azda olsa soğuracağından deney sonuçlarında hataya neden olur. Ölçüm yapacağınız çözeltiyi koymadan önce aynı çözeltiyle tüpü bir kaç defa çalkalayın.

2.3. Deneyin Yapılışı

Şekil 2’de görülen Fotometrenin fişi prize takılarak cihaz çalışmaya hazır hale getirilir. Tablo 1’de verilen değişik dalga boyları için ölçüm cihazına karşılarında yazan teknik modlar girilmelidir. Bunun için hangi dalga boyunu seçilecekse cihaza o dalga boyunun teknik modu girilmelidir. Tablo 1’de verilen dalga boyları için modlar yazılıp enter tuşuna basıldığında o dalga boyunda çalışmaya başlayabilirsiniz.



Şekil 3: Hazırlanmış olan 10 ml saf su ve diğerlerine sırasıyla c, c/2, c/4 ve c/8 derişimli X numunesi çözeltileri

İlk olarak her dalga boyu için 1 (saf su) ve C (en yoğun derişimli çözelti) tüplerle aşağıdaki işlemleri tekrarlayınız ve Tablo 1’e kaydediniz.

- Saf su dolu (10ml) tüpü, cihazdaki bölmesine düzgün bir şekilde yerleştiriniz.
- ZERO (sıfırlama) tuşuna basınız. (Kalibrasyon için her testten önce saf su ile öncelikli olarak sıfırlama yapınız
- Kısa bir süre bekledikten sonra sıfırlanma tamamlanacaktır. Yerleştirmiş olduğunuz tüpünüzü tekrar bölmeden geri çıkarınız.
- Hazırlanmış olan 2 nolu (C) en yoğun derişimli çözeltiyi tekrar cihazın ilgili bölmesine yerleştiriniz ve aynı hizada yerleştigiinden emin olunuz.
- Cihazın TEST tuşuna basınız ve reaksiyon zamanı olan zamanı bekleyiniz.
- Reaksiyon zamanı bittikten sonra cihaz sonucu otomatik olarak okuyacak ve size sonucu ekranda mabs şeklinde gösterecektir.
- Örneğinizin en duyarlı olduğu dalga boyunu saptamak için Saf su örneği ve en yoğun X numunesi örneği ile yaptığınız soğurma ölçümlerini Tablo 1’ de ki %T’yi (I/I_0) (yüzde soğurma değeri) hesaplamak için tablodaki ilgili yerine yazınız. ve %T’yi hesaplayınız. En küçük değeri veren dalga boyu en duyarlı dalga olarak kabul edilebilir. En yoğun örneği C iki defa 1/2 oranında seyreltilmiş C/2, 1/4 oranında seyreltilmiş C/4 ve 1/8 oranında seyreltilmiş C/8 çözeltilimizle yukarıdaki rutin işlemleri tekrarlayarak göstergeden okuduğunuz geçirgenlik değerini Tablo 2’ye kaydediniz. Başlangıç derişimi C=1 olmak üzere her dalga boyu için soğurma katsayısını (molar soğurma katsayısı) $C=1/2, 1/4, 1/8$ olarak hesaplayınız ve %T’($\ln(I/I_0)$ ’in C’ye karşı grafiğinden) okuduğunuz haliyle λ ’ya karşı grafiklerini çiziniz.

3. Sonuç ve Rapor

Ad Soyad:

No:

Grup:

Tarih:

Tablo 1. Veri kayıt tablosu

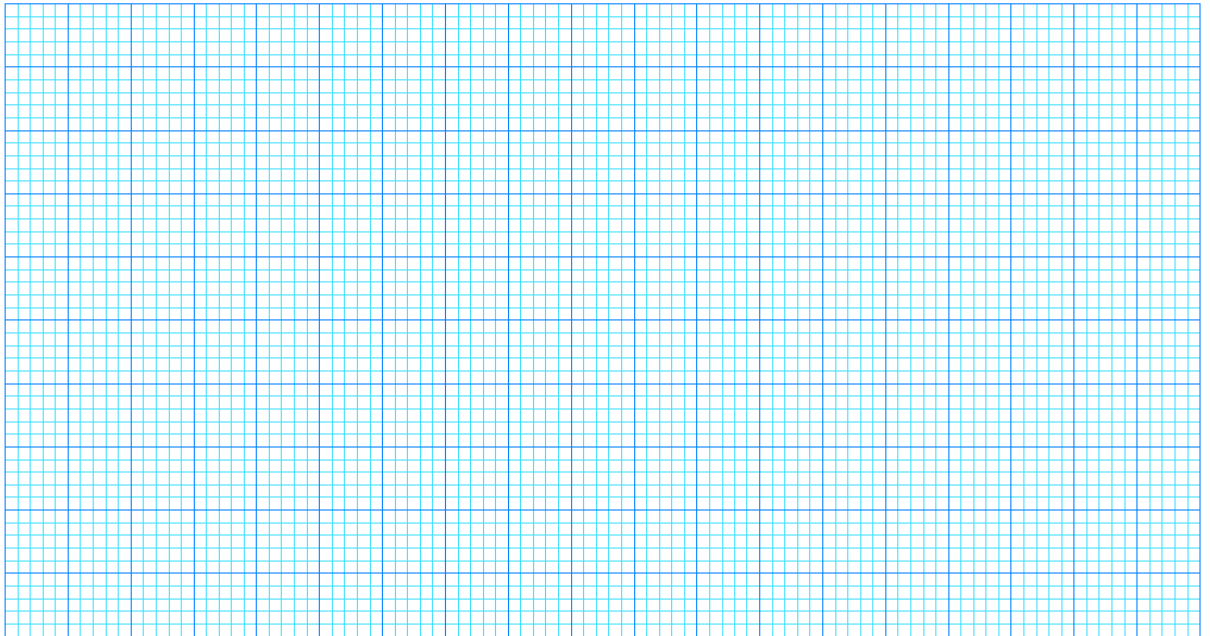
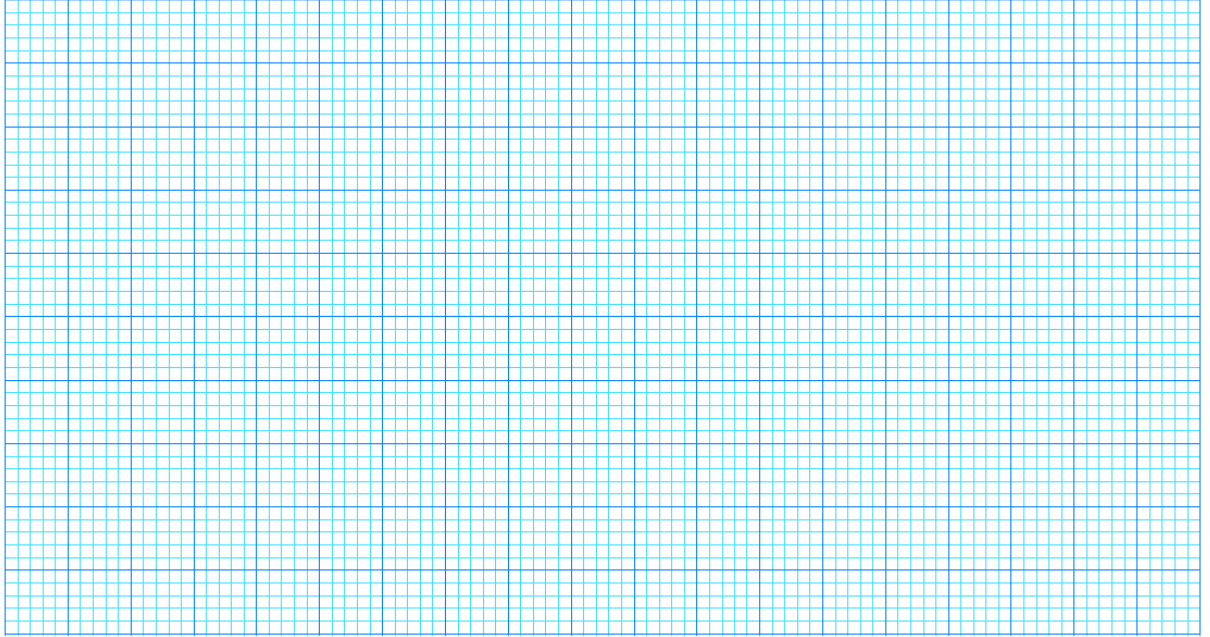
Teknik Modu	λ (nm) Dalga boyu	C derişimli çözelti için ölçülen soğurma Abs(X)	T
900	430		
910	530		
920	560		
930	580		
940	610		
950	660		

Tablo 2. Farklı oranlarda hazırlanan numunenin %T'si

C için, %T	C/2 için, %T	C/4 için, %T	C/8 için, %T

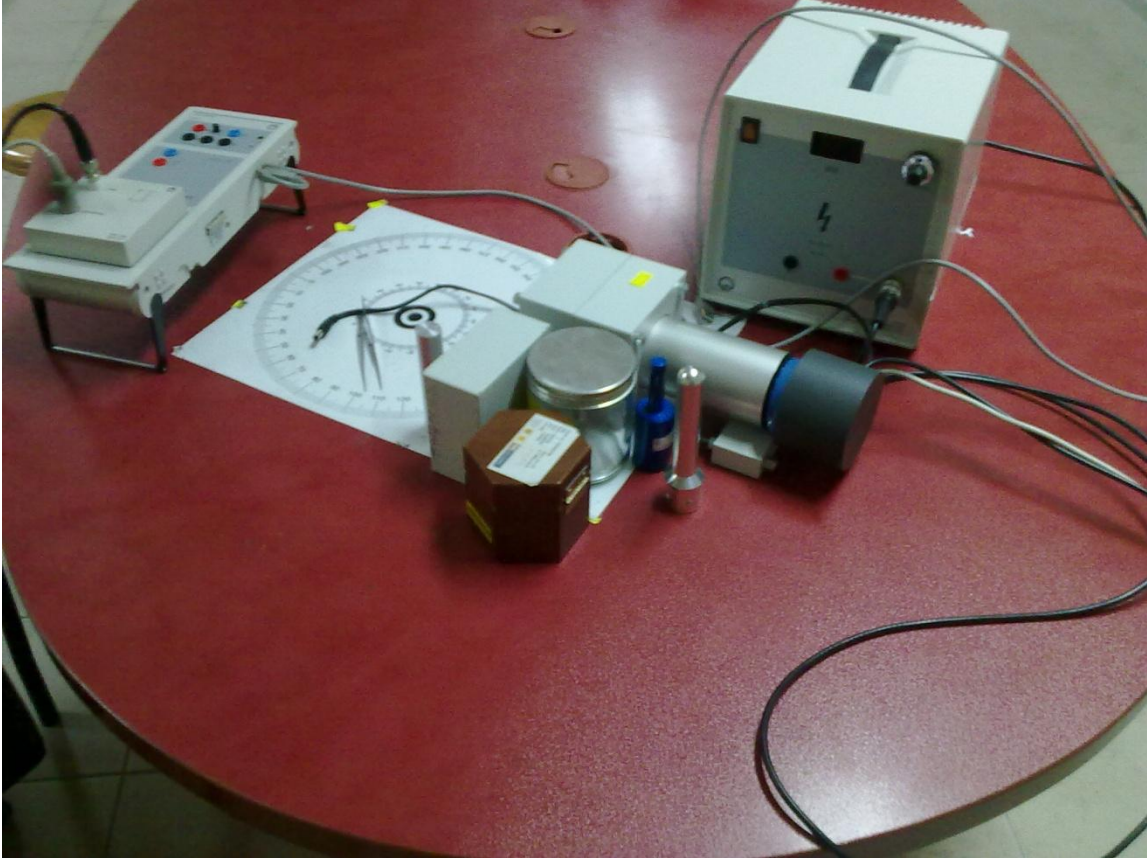
Hesaplamalar1: Tablo 1 ve Tablo 2'de kaydettiğiniz verilerinizi teori bölümünde verilen bağıntılar yardımıyla değerlendiriniz. Sonra deneysel olarak elde ettiğiniz bulgulara göre sizden istenen değerlendirmeleri yapınız ve bulduğunuz sonucu yorumlayınız.

Hesaplamalar2: Maksimum ve minimum duyarlı bölgede konsantrasyon ve soğurma grafiklerini çiziniz.



SONUÇ ve YORUM:

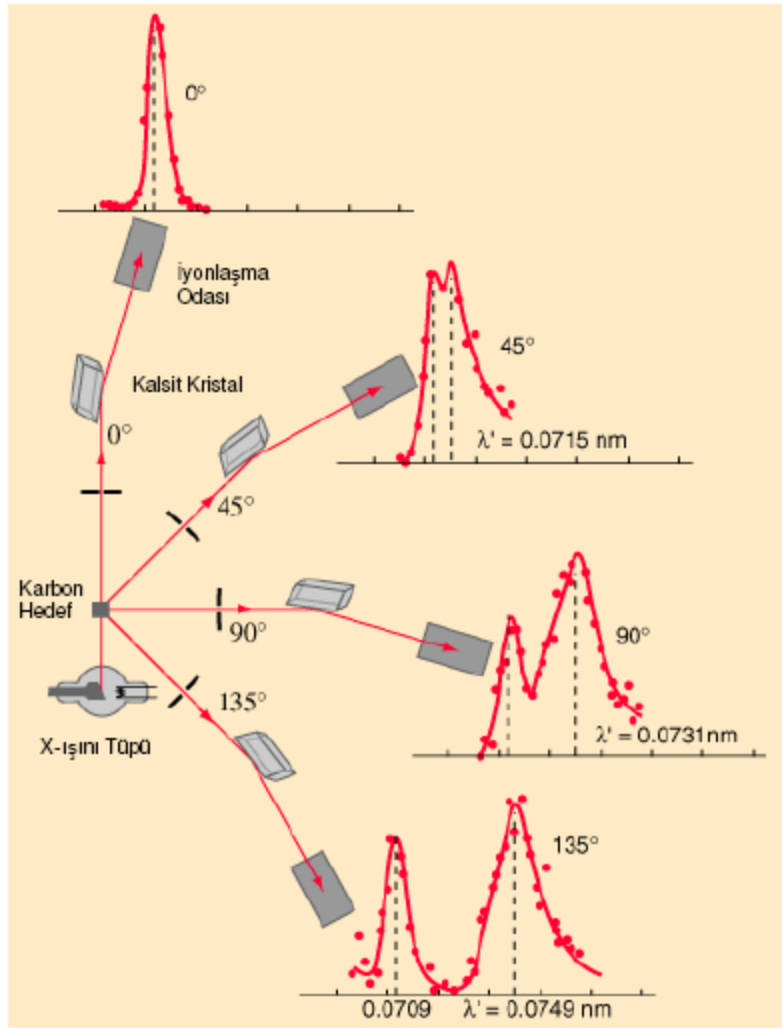
8-COMPTON SAÇILMASI DENEYİ



DENEYİN AMACI: Işığın $h\nu$ enerjili paketçiklerden oluştuğu ve bu paketçiklerin kütleli parçacıklar gibi momentum taşıdığı varsayımına dayanan Compton saçılma formülünün deneysel olarak sınanması.

1. TEORİ

Klasik elektromanyetik teoriye göre, ışık; salınan elektrik ve manyetik alanlardan oluşan bir elektromanyetik dalgadır. Işığın elektromanyetik dalga yapısı, 19. yüzyılın sonlarında fizikçiler tarafından genel kabul görmekteydi. Ancak 20. yüzyılın başlarında Max Planck ve Albert Einstein tarafından açıklama getirilen siyah cisim ışıması ve fotoelektrik olay deneyleri ile birlikte, ışığın parçacık yapısına sahip olduğunu ileri süren tezler destek gördü. Buna göre ışık, $h\nu$ enerjili paketçiklerden oluşur ve bu paketçikler $h\nu/c$ kadar momentum taşırlar. Biz bu enerji paketçiklerine *foton* diyoruz. Fotonların, kütleli parçacıklar gibi momentum taşıdıklarının en doğrudan kanıtı, 1922 yılında A. H. Compton tarafından gerçekleştirilen yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaların (ışık) elektronlardan esnek saçılma deneyleridir. Bu saçılmaya günümüzde A. H. Compton' un adına atıfla Compton saçılması denir. A. H. Compton, daha önceden Barkla tarafından yapılan sert X-ışınlarının katı maddelerden saçılma deneylerinden etkilenmiştir. Barkla yaptığı bu deneylerde, katı cisimlerden büyük açı altında saçılan X-ışınlarının iki farklı dalga boyu taşıdığını gözlemlemiştir. Bu dalga boylarından ilki, gelen elektromanyetik dalganın frekansı ile aynı, diğeri farklıdır. Klasik elektromanyetik dalgalar teorisi ile bu ilk dalga boyu açıklanamamaktadır. Gelen elektromanyetik dalganın elektrik alanı, atomlara bağlı elektronları kendi frekansı ile sürer. Salınım hareketi yapan bu elektronlar, her doğrultu boyunca aynı frekansta elektromanyetik dalgalar yayımlarlar. Bu yayımlanan elektromanyetik dalgalar, gelen elektromanyetik dalgalar ile aynı frekanslıdır. Bu süreçte elektronlar atomlardan sökülmez, atomun durumu geçici olarak bozulur. Böyle bir saçılmayı atomlara sıkıca bağlı elektronlar gerçekleştirir. Barkla'nın deneyinde gözlenen diğeri dalga boyu saçılan elektromanyetik dalgalar ise ancak Compton' un hipotezi ile açıklanamamıştır. Compton yaptığı deneyde, bir karbon tabakasından çeşitli açılar altında saçılan X-ışınlarını inceledi. Karbon tabakasından saçılan X-ışınlarının dalga boylarını bir Bragg spektrometresi kullanarak belirleyen Compton, Barkla'nın deney sonuçlarına benzer olarak saçılan iki farklı dalga boyu X - ışını gözlemledi. Bu X-ışınlarından ilkinin dalga boyu gelen X-ışınlarının dalga boyu ile yaklaşık olarak aynı diğeri farklıydı. Bu farklı dalga boyu saçılan X-ışınının dalga boyu saçılma açısı ile belirgin olarak değişmekteydi. Compton'nun deney düzeneği temsili olarak Şekil 1'de gösterilmiştir. Bir X-ışını tüpünden yayımlanan X-ışınları karbon bir tabakadan saçılmaktadır. Saçılan X-ışınlarının dalga boyu bir Bragg spektrometresi ile belirlenir. Bragg spektrometresi basitçe, kalsit kristalden ve iyonlaşma odasından oluşmuştur. Kalsit kristallerinin kristal düzlemleri arasındaki mesafe X ışınlarını Bragg kırınımına uğratmak için uygundur. Kalsit kristallerinden Bragg kırınımına uğrayan X-ışınları iyonlaşma odası yardımıyla tespit edilir. X-ışınlarının kırınım açısı, onların dalga boyları hakkında bilgi verir.

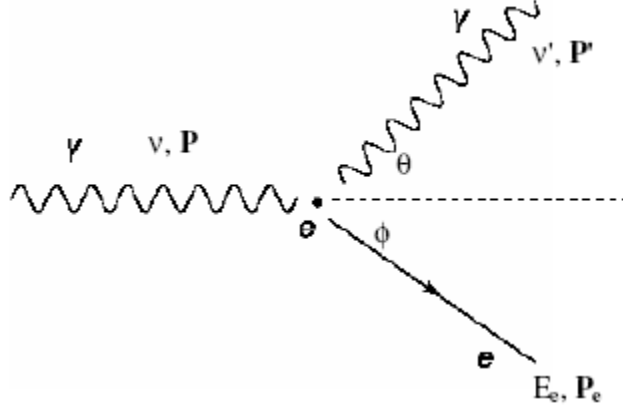


Şekil 1. Karbon hedeften saçılan X-ışınları

Compton, deneyinde 0.0709 nm dalga boylu X-ışınları kullanmıştır. Karbon hedeften 0, 45, 90 ve 135 derecelik açılarla saçılan X-ışınlarının şiddet–dalga boyu grafikleri ise Şekil 1.'de gösterilmektedir. Grafiklerden görüldüğü gibi, 0° saçılma açısı için yalnızca 0.0709 nm dalga boylu tek bir tepe mevcutken, diğer saçılma açılarında bir tanesi 0.0709 nm civarında olmak üzere iki tepe vardır. Bu ikinci tepe 0.0709 nm'den daha büyük bir dalga boyunda meydana gelmektedir ve açığa bağlı olarak değişimi çok belirgindir. Compton, deneyden elde ettiği saçılan X-ışını spektrumunu açıklayabilmek için Einstein'nin fotoelektrik etkiye ilişkin varsayımından ilham alarak, ışığın $h\nu$ enerjili paketçiklerden oluştuğunu ve bu paketçiklerin kütleli parçacıklar gibi momentum taşıdığını varsaydı. Bu varsayım ile, saçılan X-ışını spektrumundaki 0.0709 nm civarındaki tepe noktasının atoma sıkıca bağlı elektronlar tarafından saçılan X-ışınlarıyla ve diğer tepe noktasının atoma çok gevsek bağlı elektronlar tarafından saçılan X-ışınlarıyla oluştuğunu göstermeyi basardı.

X-ışınlarının atomlara çok gevsek bağlı olan dış kabuktaki elektronlardan saçıldığı durumu düşünelim. Bu durumda elektronları serbest olarak düşünmek yanlış olmaz. Simdi ν frekanslı ışığın $h\nu$ enerjili fotonlardan oluştuğunu ve bu fotonların $h\nu/c$ kadar momentum taşıdığını varsayarak, (Compton varsayımı) ışığın serbest elektronlardan saçılması problemi inceleyelim. ν frekanslı bir foton başlangıçta durgun olan m_0 kütleli bir elektronla çarpışsın.

Çarpışmadan sonra geliş doğrultusu ile θ açısı yapan ν' frekanslı bir foton çıkmakta ve elektron geliş doğrultusu ile ϕ açısı yapacak şekilde E_e enerjisi ile geri tepmektedir (bakınız Şekil 2).



Şekil 2. Serbest elektrondan saçılan foton

Enerjinin korunumu yasasından,

$$h\nu + mc^2 = h\nu' + E_e \quad (1)$$

Yazılabilir. Saçılma bir düzlem üzerinde gerçekleştiğinden momentumun korunumunu,

$$\frac{h\nu}{c} = \frac{h\nu'}{c} \cos \theta + P_e \cos \phi \quad (2)$$

$$0 = \frac{h\nu'}{c} \sin \theta - P_e \sin \phi \quad (3)$$

Denklemleri ile yazabiliriz. (2) ve (3) denklemlerinin karelerini alıp toplayarak ϕ bağıllığı yok edilebilir

$$c^2 P_e^2 = (h\nu)^2 + (h\nu')^2 - 2(h\nu)(h\nu') \cos \theta \quad (4)$$

Göreceli enerji-momentum bağıntısı,

$$E_e^2 - P_e^2 c^2 = m_e^2 c^4 \quad (5)$$

kullanılarak (4) bağıntısındaki $P_e^2 c^2$ terimi yok edilir ve (1) ile verilen enerjinin korunumu yasası kullanılırsa,

$$\lambda - \lambda' = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta) \quad (6)$$

ile verilen Compton formülü elde edilir. Burada λ gelen fotonun ve λ' saçılan fotonun dalga boyudur. Bu denklem ilk kez A. H. Compton tarafından çıkarılmıştır. Compton'un saçılan X-ışınlarının dalga boyunun saçılma açısına bağlı olarak uzadığı gözlemini teorik olarak açıklamaktadır. (6) Compton formülünün çıkarılması sırasında elektronların serbest kabul edildiği hatırlanmalıdır. Şekil 1. ile verilen saçılan X-ışınlarının spektrumundaki λ' dalga boyu tepe noktası (6) Compton formülü ile açıklanmaktadır. Bu tepe noktası atomlara çok gevsek bağlı elektronlardan saçılan X-ışınları tarafından oluşturulmuştur. Spektrumdaki $\lambda = 0.0709$ nm civarındaki tepe noktası ise atomlara sıkıca bağlı olan elektronlardan saçılan X-ışınları tarafından oluşturulur. Böyle bir durumda elektronlar serbest kabul edilemez ve bir foton böyle sıkıca bağlı bir elektrona çarptığında tüm atom geri teper. Dolayısıyla, (6) formülündeki elektronun kütlesi m_e yerine elektronun kütlesinden onbinlerce kere daha büyük olan atomun kütlesi kullanılmalıdır. Bu durumda açığa bağlı olarak, saçılan X ışınlarının dalga boyundaki kayma, gözlenmesi mümkün olamayacak kadar küçük olabilir. Karbon atomu için bu kayma, serbest elektrona kıyasla 22000 kere daha küçüktür. (Şekil 1.'deki 90° ile saçılan X-ışınlarının spektrumu incelenirse çok küçük de olsa böyle bir kaymanın olduğu görülebilir.) Compton saçılmasının önemi, bir fotonun enerjisi için verilen $E=h\nu$ bağıntısının evrenselliğini gözlem sonuçları ile kanıtlamış olmasıdır. Compton deneyine göre fotonlar, "bölünemez" ve ν frekanslı bir foton her zaman $h\nu$ enerjisine ve $h\nu/c$ momentumuna sahiptir. Bu bağlamda fotonları "ışık parçacıkları" olarak düşünebiliriz. Işık kuantumları için kullanılan "foton" terimi de fizik literatürüne A. H. Compton tarafından kazandırılmıştır. Compton saçılması daha sonraki yıllarda C. T. R. Wilson'nın geri tepen elektronların izlerini kendi adıyla bilinen buhar odası kullanarak belirlemesi ile kuşkuyla yer bırakmayacak şekilde ispatlanmıştır. A. H. Compton 1927 yılında Nobel fizik ödülü ile ödüllendirilmiştir.

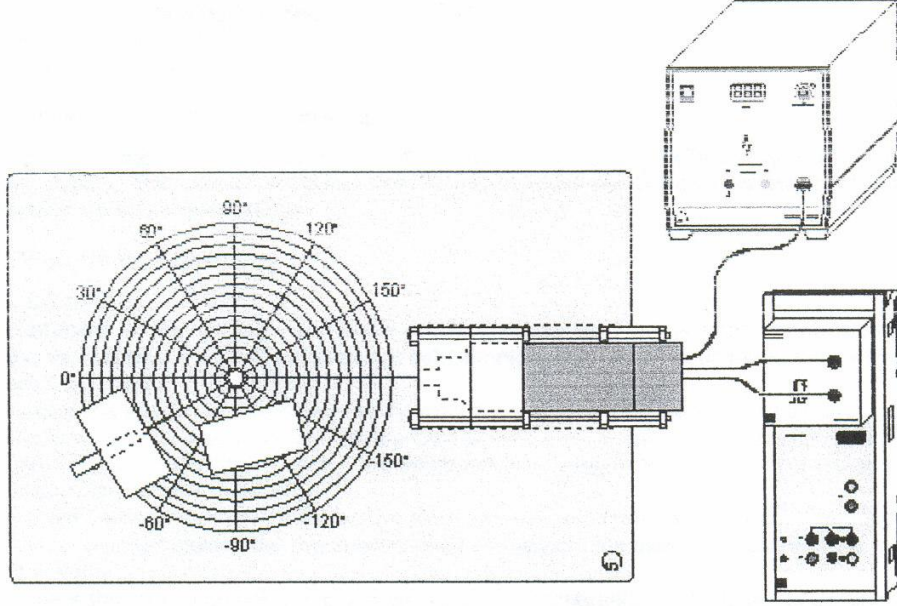
DİKKAT!

Güvenlik Notu:

Bu deneyde kullanılan radyoaktif materyaller, okullarda eğitim amacı ile kullanılmak için onaylıdır. Ancak yine de, bu materyallerin iyonize edici radyasyon üretmeleri nedeni ile aşağıdaki güvenlik kurallarına uyulmalıdır:

- Yetkisiz kişilerin bu materyallere ulaşması engellenmelidir.
- İlk kullanımdan önce materyallerin daha önceden açılmamış olduğuna dikkat edilmelidir.
- Radyoaktif materyaller güvenli kutularında saklanmalıdır.
- Minimum maruz kalma zamanı ve minimum aktivite açısından, radyoaktif materyaller ancak deneyin yürütülmesi için gerekli olduğu sürece güvenli kutularından çıkartılmalıdır.
- Radyoaktif materyalleri vücudunuzdan maksimum uzaklıkta tutmak amacıyla, materyaller sadece metal tutacağıın üst kısmından tutulmalıdır.
- Deney sorumlusu Araştırma Görevlisinin yönlendirmelerine kesinlikle uyulmalıdır.

3. Deney Düzenegi



Gerekli Deney Malzemeleri

- 1- Karma Radyasyon Kaynağı.
- 2- Cs-137 Radyasyon Kaynağı.
- 3- Sintilatör Sayacı.
- 4- Yüksek Gerilim Güç Kaynağı.(1.5 kV)
- 5- Cassy-Algılayıcı ve MCA kutusu.
- 6- Kursun Sintilatör Yuvası.
- 7- Kursun Numune Tutacağı.
- 8- Kursun Perdeleyici.
- 9- Alüminyum Saçıcı.
- 10- CASSY Lab Bilgisayar Programı

4. Deneyin Yapılışı

Bu deneyde γ ışınlarının Alüminyum atomlarındaki elektronlardan Compton saçılması incelenecektir. γ ışınlarını elde etmek için Cs-137 (sezyum-137) radyoaktif izotopu kullanılacaktır. Cs-137, yarı ömrü 32 yıl olan insan yapımı radyoaktif bir izotopdur. Bu izotop γ -bozunumu ile Ba-137 (baryum-137) izotopuna bozunur. Bu bozunumların % 94,6 kadarı baryumun uyarılmış durumuna gerçekleşirken % 5,4 kadarı doğrudan Baryumun taban durumuna gerçekleşir. Uyarılmış haldeki baryum taban durumuna, 156 s yarı ömürle 661,6 keV enerjili γ ışını yayarak geçer. İşte Compton saçılma deneyinde kullanılacak olan ışınlar, bu ardışık bozunumlar sonucu yayımlanan ışınlardır. Cs-137 izotopu yardımı ile üretilen ışınlar sintilatör sayacı ile algılanır. Sintilatör sayacı, ışınlarının enerjilerini belirlemekte

kullanılan bir detektördür. Sintilatör sayacı üzerine gelen ışınları, sayaç içerisinde bulunan özel kristal yapılarla etkileşir. Bu etkileşme sonucu ortaya çıkan ışık flaşları bir foto-çoğaltıcı ile artırılır ve elektrik sinyaline dönüştürülür. Bu elektrik sinyalinin genliği (gerilim dalgasının yüksekliği) ışının enerjisi ile orantılıdır. Sintilatör sayacından elde edilen ölçüm verilerinin bilgisayar ortamına aktarılması Cassy-algılayıcı ve MCA (multichannel analyzer) kutusu yardımı ile gerçekleştirilir. Veriler bilgisayar ortamında “CASSY Lab” bilgisayar programı ile analiz edilir. Sintilatör sayacından elde edilen sayısal veriler kalibrasyon yapılmadığı müddetçe bir anlam taşımaz. Kalibrasyon, enerjisi bilinen ışınları kullanılarak yapılmalıdır. Cs-137 izotopu tarafından yayımlanan ışınlarının enerjisi bilinmektedir. Cs-137 tarafından yayımlanan ışınları daha önceden de belirtildiği gibi 661,6 KeV enerjilidir. Enerjisi bilinen ışının yardımı ile sintilatörün enerji kalibrasyonunu yapmak mümkündür.

Ölçümler için aşağıdaki basamaklar izlenir:

Sintilatör sayacının enerji kalibrasyonu yapılır. Alüminyum saçıcıdan saçılan γ -ışınlarının spektrumu, kaynak ve sintilatör arasındaki farklı açılar için kaydedilir. Bu verilerden Compton saçılması nicel olarak doğrulanır.

1- Deney düzeneği kurulur. Bunun için: sintilatör sayacı (3) yüksek gerilim güç kaynağına(4) ve MCA kutusu ve CASSY-algılayıcı (5) yardımı ile bilgisayara bağlanır. Yüksek gerilim güç kaynağından 760 Volt gerilim uygulanır. Bilgisayar açılır ve CASSY Lab bilgisayar programı çalıştırılır.

2- Sintilatör sayacının enerji kalibrasyonu yapılmalıdır. Bunun için Cs-137 radyasyon kaynağı Compton deney setindeki kursun numune tutacağına (7) yerleştirilir. Numune tutacağı 0° ile işaretlenen yere konur. Alüminyum saçıcı (9) kaldırılır ve sintilatörün kaynağı doğrudan görmesi sağlanır.

3- Spektrum kaydedilir (F2 tusu). Enerji kalibrasyonu 661,6 KeV (Cs-137) çizgisi ile yapılır. (Bunun için; mouse'un sağ tuşuna basılır. “Energy calibration” seçeneği seçildikten sonra açılan kutuda gerekli düzenlemeler yapılır.)

4- Cs-137 radyasyon kaynağı 30° ile işaretlenmiş yere konur. Alüminyum saçıcı görevini görecektir. Alüminyum silindir de kendisi için işaretlenmiş olan yere konur. Kursun perdeleyici (8), kaynakla detektör (sintilatör sayacı) arasındaki doğrudan görüş çizgisi üzerine yerleştirilir. (Böylece, alüminyum saçıcıdan saçılmadan doğrudan sintilatöre gelen radyasyon engellenmiş olur.)

5- Daha sonra alüminyum saçıcı kaldırılır ve yeni bir ölçüm alınır (F9).

6- İki spektrum arasındaki fark (alüminyum saçıcı olduğundaki ve olmadığında spektrumlar arasındaki fark) saçılan γ -ışınlarının spektrumudur.

7- Deneyi, radyasyon kaynağının farklı açıları için tekrarlayınız. (30° , 45° , 60° , 75° , 90° ve 120° için yapmanız tavsiye olunur). Böylece, (6) bağıntısı ile verilen Compton formülündeki saçılma açısı θ 'nın farklı değerleri için formülün doğruluğunu sınamak mümkün olur. Her seferinde, alüminyum saçıcı kullanılarak elde edilen spektrumdan alüminyum saçıcı kullanılmadan elde edilen spektrumu çıkartınız. (Bunun için “overview” butonuna bastıktan sonra, çıkarmak istediğiniz spektruma ait olan grafiği kendisinden çıkaracağınız spektruma ait

olan grafiğin üzerine mouse 'un sol tuşuna basılı tutarak taşıyınız. Açılan pencerede gerekli düzenlemeleri yapınız.) Her defasında kursun perdeleyiciyi, sintilatörle kaynak arasındaki doğrudan görüş çizgisi üzerinde kalacak şekilde kaydırınız.

8- 30°, 45°, 60°, 75°, 90° ve 120° için fark spektrumlarında fare'ye sol tıklayıp GAUSS FİT fonksiyonunu seçiniz daha sonra fark grafiklerinde tepe olarak görülen yere fare ile tarayıp bırakınız (seçim alanı Turkuaz renkli olarak belirecektir.)

9- Gauss fiti eklediğiniz pencerelerde fare'ye sol tıklayıp TEXT ekleyiniz. Böylece gauss fiti geçirdiğiniz grafiğin maksimum değerini elde etmiş olacaksınız. Bu değeri hangi acının fark grafiğinden elde etmiş iseniz veri tablosunda o açığa ait olarak ekleyiniz.

10- Tabloyu 30°, 45°, 60°, 75°, 90° ve 120° değerleri için karşılık gelen gauss fiti enerji değerleri ile doldurunuz.

5. Hesaplamalar:

- 30°, 45°, 60°, 75°, 90° ve 120° açı değerleri için ölçülen $E_{\gamma'}$ değerini teorik olarak ve aşağıdaki Compton saçılmasının enerji formülünü kullanarak $E_{\gamma'}$ değerini deneysel olarak hesaplayınız. ($m_0c^2=511\text{KeV}$)

$$E'_{\gamma} = E_{\gamma} / \left(1 + \frac{E_{\gamma}}{m_0c^2} (1 - \cos \Theta) \right)$$

- 30°, 45°, 60°, 75°, 90° ve 120° açı değerleri için ölçülen $E_{\gamma'}$ değerine karşılık gelen deneysel dalga boyunu λ' hesaplayınız.

$$\lambda - \lambda' = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta)$$

- Compton saçılması dalgaboyu eşitliği yardımıyla teorik λ' değerini hesaplayınız

Sorular:

1) Elde ettiğiniz verileri inceleyiniz. Deneysel olarak elde edilen spektrumdan, (6) ile verilen Compton formülündeki dalgaboyu λ' nasıl belirlenebilir? Tartışınız.

2) Saçılan γ -ışınlarının dalga boyları saçılma açısına bağlı olarak nasıl değişiyor? Veriler, (6) ile verilen Compton formülünü nicel olarak doğruluyor mu?

3) “Deneyin yapılışı” adlı kesimde de anlatıldığı gibi, saçılma spektrumu alüminyum saçıcının olduğunda ve olmadığında spektrumların birbirinden çıkartılması ile bulunur. Neden saçılma spektrumunu bulmak için bu iki spektrum çıkartılmalıdır?

6.Sonuç ve Rapor

Ad Soyad:

No:

Grup:

Tarih:

Açı değeri θ	Deneysel Enerji $E_{\gamma'}$ (KeV)	Teorik Enerji $E_{\gamma'}$ (KeV)	Deneysel λ'	Teorik λ'

Hesaplamalar:

SONUÇ ve YORUM: