



T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN FAKÜLTESİ FİZİK BÖLÜMÜ
Termodinamik Laboratuvarı
FİZ 352



İçindekiler Tablosu

LABORATUVAR KURALLARI.....	i
1. Deney: Öz Isı	1
1.1. Deneyin Amacı:	1
1.2. Teorik Bilgiler.....	1
1.3. Deneyin Yapılışı	3
2.Deney: Termoelektrik Dönüştürücü	6
2.1. Deneyin Amacı	6
2.2. Teorik Bilgiler.....	6
2.4.Deneyin Yapılışı	9
3.Deney : Termal Verimlilik	12
3.1. Deneyin Amacı:	12
3.2. Teorik Bilgiler.....	12
3.4. Deneyin Yapılışı	14
4.Deney: e/m Tayini.....	18
4.1. Deneyin Amacı	18
4.2 Teorik Bilgi.....	18
4.2. Deneyin Yapılışı	21
5.Deney: Fotoelektrik Olay	23
5.1. Deneyin Amacı	23
5.2. Teorik Bilgiler.....	23
5.3. Deneyin Yapılışı	27
6.Deney: Millikan'ın Yağ Damlası Deneyi.....	30
6.1. Deneyin Amacı	30
6.2. Teorik Bilgiler.....	30
6.3. Deneyin Yapılışı:	33
7. Deney: Franck-Hertz Deneyi	36
7.1. Deneyin Amacı	36
7.2. Teorik Bilgiler.....	36
7.3. Deneyin Yapılışı:	41
8. Deney: Atom Spektrumları.....	43
8.1. Deneyin Amacı	43
8.2. Teorik Bilgiler.....	43
8.3. Deneyin Yapılışı	48

LABORATUVAR KURALLARI

- Her öğrenci derse gelirken, deney föyünü, çok fonksiyonlu bir hesap makinesini, milimetrik kâğıdını ve en az 20 cm’lik bir cetvelini getirmelidir.
- **Öğrenci derse gelmeden önce, yapacağı deneyin teorik bilgilerini boş beyaz kâğıda siyah veya mavi tükenmez veya pilot kalemle yazacaktır. Ön hazırlığı yapmadan gelen öğrencinin deney raporu 60 puan üzerinden değerlendirilecektir.**
- İlgili asistanlar, teorik bilginin hazırlanıp hazırlanmadığını paraf atarak kontrol edeceklerdir.
- Deneyin yapılışı yazılırken, kullanılan deney düzeneği çizilecektir.
- **Zaman kalması durumunda telafi deneyi yapılacaktır.**
- Belirtilen süre içinde gelmeyen raporlar değerlendirmeye alınmayacaktır.
- Öğrencinin gelmediği veya teslim etmediği deneye ait rapor notu, 0 (sıfır) olarak değerlendirilecektir.
- **Öğrenci, laboratuvar dersine gelmediği hâlde, yapmadığı deneyin raporunu veremez.**
- Öğrenci, hazırladığı deney raporunun aslını vermek zorundadır. Deney raporunun fotokopisi kabul edilmez. Öğrenciler teslim ettikleri raporlarını geri alamayacaklardır.
- **Rapor, mavi ya da siyah tükenmez veya pilot kalem ile yazılacaktır.**
- Hesaplamalar kısmında, hesaplamalarda kullanılan formüller belirtilecek, en az bir örnek hesaplama gösterilecek, bulunan değerlerin birimleri yazılacak, varsa ilgili tablo veya tablolar doldurulacaktır.
- Grafik çizim kurallarına uygun olarak, grafikler, milimetrik kâğıda kurşun kalem ile çizilecektir.
- **Ara sınav haftasında, laboratuvar dersi yapılmayacaktır.**

Öğrenciler tüm rapor notlarını ve ortalamasını dönem sonunda öğrenir.

1. Deney: Öz Isı

1.1. Deneyin Amacı: Katıların öz ısılarının ve ısı kapasitelerinin belirlenmesi..

1.2. Teorik Bilgiler

Bir cismi meydana getiren moleküllerin kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamı ısı olarak tanımlanır. Bir cismin sahip olduğu ısı enerjisi, cismin sıcaklığının bir fonksiyonudur. İki cisim arasındaki ısı akışı, aralarındaki sıcaklık farkı nedeniyle meydana gelir ve ısının akış yönü yüksek sıcaklıktaki cisimden düşük sıcaklıktaki cisme doğrudur. Bir katıya ısı aktarıldığında, atomları birbirlerine bir yayla bağlanmış gibi titreşmeye başlar ve cismin toplam iç enerjisi, moleküllerinin ortalama kinetik enerjisi ve dolayısıyla katının sıcaklığı artar. Sıcaklık, bir cismi oluşturan moleküllerin ortalama kinetik enerjilerinin bir ölçüsü olarak tanımlanır. Cismin sıcaklığındaki değişimin miktarı cismin kütlesine, yapıldığı malzemeye ve ortam sıcaklığına bağlıdır.

Kütlesi m olan bir cismin sıcaklığını ΔT kadar değiştirmek için cisme verilmesi gereken ısı miktarı veya termal enerjideki değişim;

$$\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta T = m \cdot c \cdot (T_{\text{son}} - T_{\text{ilk}}) \quad (1.1)$$

bağıntısı ile tanımlanır. Eşitlikte ΔQ ile ΔT 'nin işaretleri pozitif (+) ise olay bir ısınmayı; negatif (-) ise bir soğumayı temsil eder. Isı aktarımı ölçümlerini doğru yapmak ve çevreye ısı kaybını önlemek için kalorimetre olarak bilinen yalıtılmış bir cihaz kullanılır.

Tablo 1.1. Isı aktarımı

Isı aktarımının yönü	ΔQ 'nun işareti	ΔT 'nin işareti	Malzeme sıcaklığındaki değişim
Isı soğurulur	+	+	Sıcaklık artar
Isı yayılır	-	-	Sıcaklık azalır

Denklem 1.1'de, c , maddenin ısınma ısısı veya öz ısısı olarak adlandırılır ve bir cismin birim kütlesinin (1gr) sıcaklığını 1°C veya 1K değiştirmek için cisme verilmesi veya cisimden alınması gereken ısı miktarı olarak tanımlanır ve birimi $\text{cal/gr}^\circ\text{C}$ veya cal/grK 'dir.

Bir cismin sıcaklığını bir derece (1°C) değiştirmek için gerekli olan termal enerji miktarı cismin ısı kapasitesi olarak adlandırılır ve

$$C = m \cdot c \quad (1.2)$$

eşitliği ile verilir. Isı kapasitesi cismin büyüklüğüne bağlı olarak değişirken; öz ısı cismin büyüklüğünden bağımsızdır ve yalnızca cismin yapıldığı malzemenin cinsine bağlıdır. Bazı katıların öz ısı değerleri aşağıda tablo halinde verilmiştir:

Tablo 1.1. Bazı katıların öz ısı değerleri

Materyal	$c(\text{cal/gr}^{\circ}\text{C})$
Alüminyum (Al)	0,215
Demir (Fe)	0,107
Bakır (Cu)	0,092
Pirinç	0,093
Çelik	0,119

Termodinamik sistemlerde enerji değişimi, sistemin mikroskobik düzeydeki tüm enerji biçimlerinin toplamı olan iç enerji (U) üzerinden tanımlanır. Bir sistemin termodinamik bir süreç sonucunda başlangıç durumundan son duruma geçişindeki iç enerji değişimi, durum değişkenleri cinsinden şu şekilde ifade edilir:

$$\Delta U = U_{\text{son}} - U_{\text{ilk}} \quad (1.3)$$

Termodinamiğin Birinci Yasası, enerjinin korunumu ilkesinin makroskobik sistemlere uygulanmış halidir. Bu yasaya göre, kapalı bir sistemin iç enerjisindeki değişim (ΔU), sisteme aktarılan net ısı (Q) ile sistem üzerinde (veya sistem tarafından) yapılan net işin (W) cebirsel toplamına eşittir:

$$\Delta U = Q + W \quad (1.4)$$

Bu matematiksel ifadede enerjinin sisteme giriş veya çıkış yönü, kullanılan işaretler bakımından kritik öneme sahiptir:

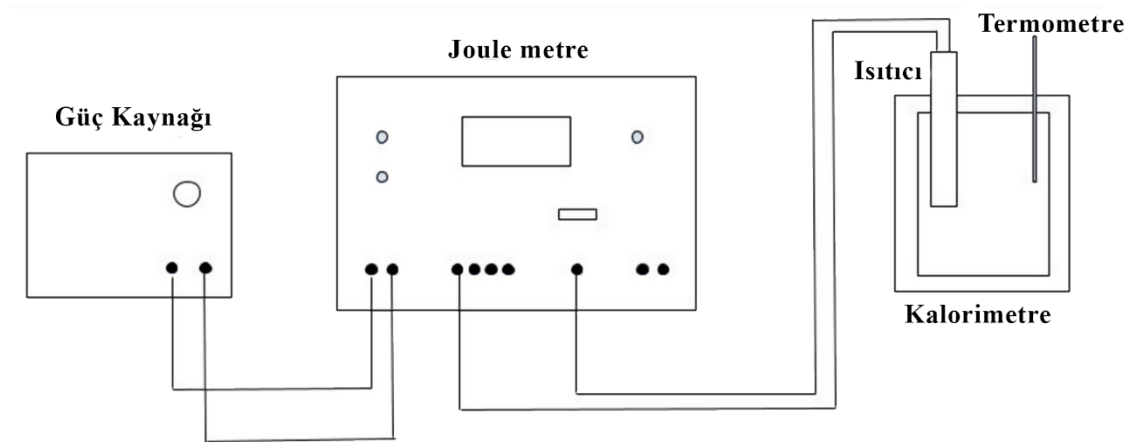
- İş (W): Modern fiziksel kimya ve termodinamik standartlarına göre; eğer ortam sistem üzerinde iş yapıyorsa sisteme enerji girişi olduğu için $W > 0$ (pozitif) kabul edilir. Aksine, sistem ortam üzerinde iş yapıyorsa (örneğin genleşme işi), sistem enerji kaybettiği için $W < 0$ (negatif) olarak alınır.
- Adyabatik İzolasyon: Sistemin çevresinden tamamen izole edildiği adyabatik bir süreçte, çevreyle ısı alışverişi gerçekleşmez ($Q = 0$). Eğer bu izolasyona ek olarak sistem üzerinde herhangi bir mekanik iş de yapılmıyorsa ($W = 0$), sistemin iç enerjisi sabit kalır ($\Delta U = 0$). Bu durum, izole sistemlerde enerjinin korunduğunun en net göstergesidir.

Isının aktarımı, iletim (moleküller arasındaki etkileşimler), konveksiyon (kütle taşınımı) ve radyasyon (elektromanyetik ışıınım) aracılığıyla üç şekilde gerçekleşebilir. Katılarda ısı aktarımı iletim yoluyla gerçekleşirken, akışkanlarda (sıvı ve gazlarda) konveksiyon yoluyla meydana gelir.

1.3. Deneyin Yapılışı

Deneyi yapmak için aşağıdaki adımları takip edin.

1. Şekil 1.1’de gösterilen deney düzeneğini kurunuz ve deneye başlamadan önce devrenin doğruluğunu kontrol edin.
2. Güç kaynağını 10V (D.C.)’a ayarlayın.
3. Deneye başlamadan önce materyalin ilk sıcaklığını (T_0) ölçünüz ve öz ısısı ölçülecek katının kütlesini belirleyerek Tablo 1.2’ye kaydedin.



Şekil 1.1. Deney düzeneği.

Not: Kontrol amaçlıdır. Mevcut hataları ilgili araştırma görevlisine bildiriniz.

Tablo 1.2. Deney sonucu elde edilen veriler

$m_{\text{bakır}} = 1008\text{gr}$			$T_o =$			
t (dk)	T (°C)	ΔT (°C)	Q (J)	ΔQ (cal)	c (cal/gr.°C)	C (cal/°C)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						

$m_{\text{demir}} = 1000\text{gr}$			$T_o =$			
t (dk)	T (°C)	ΔT (°C)	Q (J)	ΔQ (cal)	c (cal/gr.°C)	C (cal/°C)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						

$m_{\text{aleminyum}} = 1017\text{gr}$			$T_o =$			
t (dk)	T (°C)	ΔT (°C)	Q (J)	ΔQ (cal)	c (cal/gr.°C)	C (cal/°C)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						

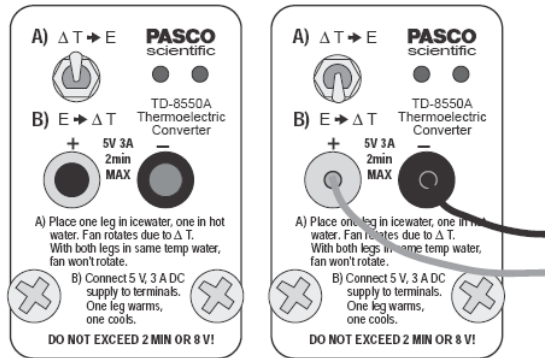
4. Güç kaynağının ve joulemetrenin düğmeleri eş zamanlı açılarak kronometreyi sayıma başlatın.
5. Kronometre aracılığıyla 1 dakikalık zaman aralıklarıyla termometredeki sıcaklık değerini ve joulemetredeki ısı enerjisi miktarını okuyarak Tablo 1.2'ye kaydedin.
6. İkinci bir katı için ölçüme başlamadan önce, termometre ve ısıtıcıyı katı içerisine yerleştirerek, sistemin termal dengeye gelmesini ve termometrede okunan sıcaklık değerinin sabitlenmesini bekleyin. Bu süre içerisinde termometrenin katıyla temasını kesmeyin ve katıya kesinlikle dokunmayın.
7. 3-5 arasındaki adımları tekrarlayın.
8. Ölçümler tamamlandıktan sonra her bir katıya 1 dakika zaman aralığı içinde verilen ısı enerjisi miktarı (ΔQ) ve bu ısı enerjisi etkisiyle katının sıcaklığındaki değişim miktarını (ΔT) belirleyerek her bir katı için öz ısı (c) ve ısı kapasitesi (C) değerlerini hesaplayarak ilgili tabloları doldurun.
9. Elde ettiğiniz verileri kullanarak her bir katı için $\Delta Q = f(c)$, $c = f(\Delta T)$ ve $t = f(T)$ grafiklerini çizerek yorumlayın.

2. Deney: Termoelektrik Dönüştürücü

2.1. Deneyin Amacı: Termoelektrik dönüştürücülerin yapısı ve çalışma prensibi hakkında bilgi vermek

2.2. Teorik Bilgiler

Deneyde kullanacağımız termoelektrik dönüştürücü iki tane alüminyum bacak arasına monte edilmiş, bir termoelektrik ısı pompasından oluşmuştur. Termoelektrik ısı pompaları çıkan elektrik akımı küçük bir motoru ve dolayısıyla da bu küçük motorun shaftına bağlı olan motoru çalıştırır. Bu dönüştürücü ile 1821 yılında keşfedilmiş olan Seebeck etkisi rahatlıkla gözlemlenebilir. Bu etkide, bu termoelektrik ısı pompası üzerindeki sıcaklık farkı küçük olan motorun dönmesini sağlayacak büyüklükte bir akım meydana getirir ($\Delta T \rightarrow E$).



Şekil 2.1. Anahtar pozisyonu.

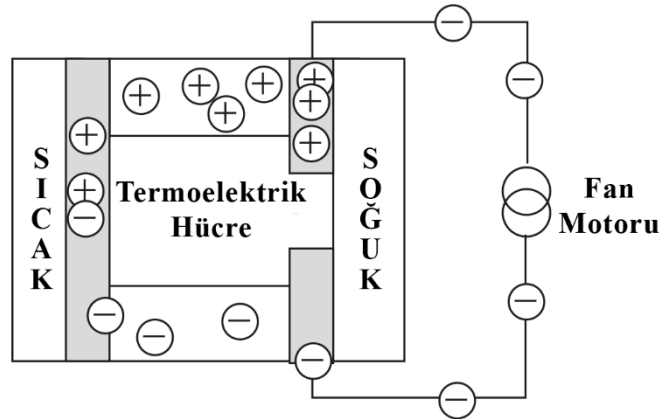
Örneğin; dönüştürücünün alüminyum bacaklarından bir tanesi sıcak suda bir tanesi soğuk suda olduğu zaman küçük motor dolayısıyla fan dönecektir. Aynı zamanda dönüştürücü ile 1834 yılında keşfedilmiş olan Peltier etkisini de gözlemlemek mümkündür. Termoelektrik ısı pompasının bir ucundan diğer ucuna doğru akım akmaya başladığı zaman, termoelektrik dönüştürücünün alüminyum bacakları arasında sıcaklık farkı meydana gelir ($E \rightarrow \Delta T$). Bu pozisyonda bir bacak ısınırken diğer bacak soğumaya başlar. Sonuçta dönüştürücü bir termal kapasitör gibi davranır. Bu durumda anahtar $\Delta T \rightarrow$

E konumuna alınırsa, alüminyum bacaklar arasında oluşmuş sıcaklık farkı küçük motorun dönmesini sağlar.

Şekil 2.1’de termoelektrik dönüştürücünün üst kısmı görülmektedir. Anahtar yukarı konumuna alındığı zaman Seebeck etkisi, aşağı konumuna alındığı zaman ise Peltier etkisini görmek mümkündür. Şimdi Seebeck ve Peltier etkilerini daha detaylı bir şekilde inceleyelim.

2.4. Seebeck Etkisi :

Termoelektrik dönüştürücü, termoelektrik hücrelerin birbirine seri bağlanması sonucu meydana getirilmiş bir cihazdır. Bu hücrelerin görevi, termal enerjiyi fanı döndürebilecek nitelikte olan elektrik enerjisine çevirmektir. Her bir hücre yarı iletken yapıdadır. Bir termoelektrik hücresinin basitleştirilmiş diyagramı aşağıdaki gibidir.



Şekil 2.2. Termoelektrik dönüştürücü hücresi (Seebeck etkisi).

Seebeck etkisi sürecinde, alüminyum bacaklara verilen ısıdan dolayı hücredeki bazı elektronların enerji seviyeleri yükselir. Daha yüksek enerji seviyelerinde, elektronlar yarıiletken kristal yapısında daha uzun süre kalamazlar ve serbest hale geçerler. Elektronlar serbest hale geçtiklerinde, kristal içerisinde elektronların yeri boş kalır ve böylece holler oluşur. Daha düşük enerjili elektronlar serbest bir şekilde hareket edemezler fakat bu elektronlar holden hole atlamak kaydıyla kısıtlı bir biçimde hareket edebilirler. Bu şekilde holler yarıiletken materyalin bir ucundan diğer ucuna taşınabilirler.

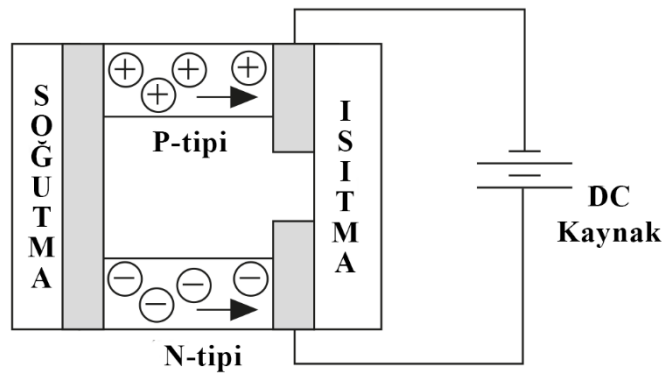
Elektronların hareketi N tipi yarıiletken boyunca, hollerin hareketi ise P tipi yarıiletken boyunca olmalıdır. Elektronlar Şekil 2.2’deki devreyi boydan boya geçerler.

ve bu devrede oluşan akım ile fan motoru döner. Devreden akan elektronlar devre sonunda hücreye geri döner ve burada P tipi yarıiletkenin holleri ile karşılaşılır. Bu olay hücrenin soğuk kısmına yakın bir yerde gerçekleşir. Böylece elektronlar hollerin içerisine tekrardan yerleşirler ve fazla enerjilerini bu şekilde vermiş olurlar.

Dönüştürücünün alüminyum bacakları arasında sıcaklık farkı olduğu sürece elektron ve hollerin hareketi sürekli olacak ve bu şartlar altında fan da dönmeye devam edecektir. Bununla beraber; sıcaklık farkı yok ise, elektronları fark enerjilerini aktarabilecekleri yer olmadığından herhangi bir akım oluşması söz konusu olmayacaktır. Buradan termoelektrik dönüştürücünün çalışma prensibinin termodinamiğin ikinci kanununu çerçevesinde olduğu sonucuna varılabilir.

2.5. Peltier Etkisi

Peltier etkisi süresince; elektrik potansiyel farkı, elektron ve hollerin hareket etmesini sağlar. Elektronlar, N tipi yarı iletkenin bir ucundan diğer ucuna doğru hareket ederken, holler elektronlarla aynı yönde olmak kaydıyla holler P tipi yarı iletkenin bir ucundan diğer ucuna doğru hareket ederler. Enerji bu hareketin sonucu olarak holler ve elektronlar tarafından taşınır. Bu durumda hollerin ve elektronların terk ettiği bölgeler serinlemeye başlar. Soğuk bacadan sıcak bacağa doğru olan ısı transferi devreden geçen taşıyıcıların ve termoelektrik hücrelerin sayısı ile orantılıdır.



Şekil 2.3. Termoelektrik dönüştürücü hücresi (Peltier etkisi).

2.4.Deneyin Yapılışı

Seebeck Etkisi :

Termoelektrik dönüştürücü termodinamiğin birinci ve ikinci kuralları arasındaki ilişkinin gözlenmesi amacı ile tasarlanmıştır. Deneyin bu bölümünde gözlenecek olan Seebeck etkisi termodinamiğin ikinci kanununun doğrulanmasını sağlar. Termoelektrik dönüştürücü şekilde görüldüğü gibi kaplar içerisine yerleştirilir ve dönüştürücü üzerindeki anahtar yukarı pozisyona alınır. Dönüştürücünün alüminyum ayaklarından biri soğuk su içeren kaba, diğeri ise sıcak su içeren kaba yerleştirilir. Anahtar aşağı pozisyondayken, voltmetre yardımıyla dönüştürücü üzerindeki gerilim değeri kaydedilir (sıcak ve soğuk su arasındaki sıcaklık farkı ne kadar büyük olursa, deneyden elde edilen sonuçlar o kadar başarılı olur). Anahtar yukarı konuma getirildiğinde, sıcak sudan kaynaklanan termal enerjinin bir kısmı dönüştürücü tarafından alınarak elektriksel enerjiye çevrilir ve bu nedenle fan hareket eder. Daha sonra sıcak ve soğuk su daha büyük bir kap içinde karıştırılır. Bu konumda dönüştürücünün her iki bacağı büyük kap içerisine bırakılır. Bu durumda fan dönmeyecektir.

Sıcak ve soğuk suyun karıştırılması ile suyun içerisinde bulunan toplam enerji değişmeyecektir. Dolayısıyla suyun içerisinde fanı döndürecek kadar yeterli enerji vardır. Fakat bu termodinamiğin ikinci kanununa ters düşmektedir. Bu işlemler farklı sıcaklıkta sular kullanılarak tekrarlanır. Ölçülen değerlerden faydalanılarak ilgili tablo doldurulur ve $\Delta T = f(V)$ grafiği çizilir.

İkinci kanun bu ihlali $\Delta S = Q/T$ entropi denklemi kullanılarak açıklanabilir. Bu formülde ΔS entropideki değişim Q transfer edilmiş ısı ve T ise ısının transfer edildiği sıcaklıktır. Suyun bulunduğu kaplar içerisindeki ısı transferi aşağıdaki gibi açıklanabilir:

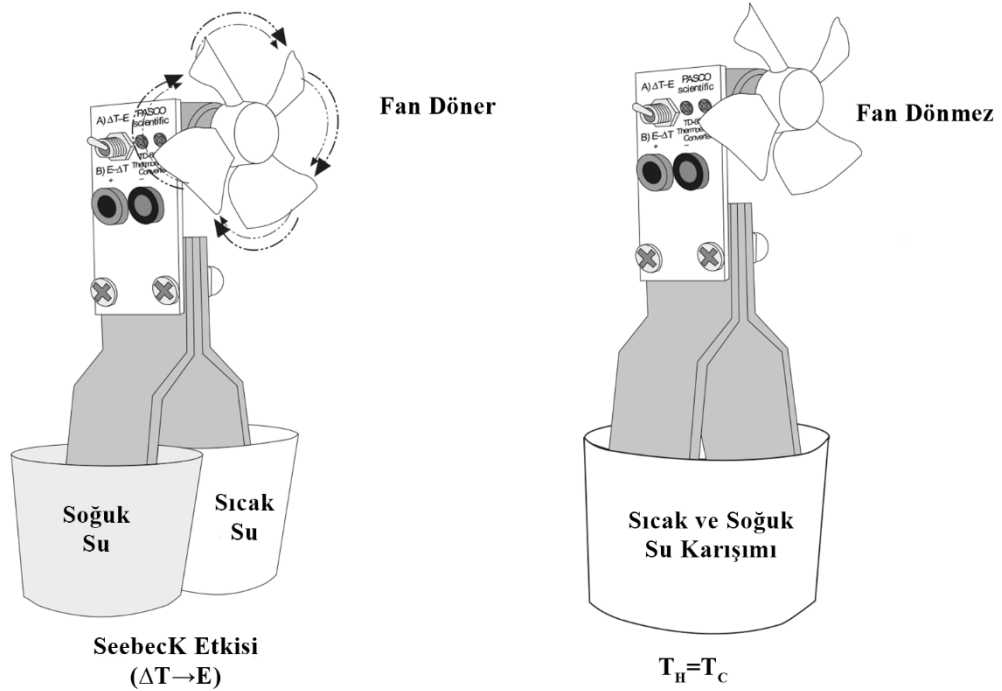
1. Sıcak suyun entropisindeki değişim $\Delta S_h = \frac{Q_h}{T_h}$ negatif, çünkü sudan dönüştürücünün içine doğrudur.

2. Soğuk suyun entropisindeki değişim $\Delta S_c = \frac{Q_c}{T_c}$ pozitifdir, çünkü ısı transferi dönüştürücüden soğuk suya doğrudur.

3. İkinci kanuna uygun olarak entropideki toplam değişim $\Delta S = \Delta S_c + \Delta S_h$ pozitif olmalıdır. Dolayısıyla $\frac{Q_c}{T_c} > \frac{Q_h}{T_h}$ olmalıdır.

4. Termoelektrik dönüştürücüdeki fan döndüğü zaman ısıнын bir miktarı sıcak sudan transfer edilir ve işe dönüştürülür. Bu durumda transfer olan ısı işe dönüştürüldüğü için tekrar soğuk suya transfer olmaz. Dolayısıyla fan döndüğü zaman $Q_h > Q_c$ olur.

5. 3. ve 4. ifadeler eğer $T_h > T_c$ ise doğrudur. Su karıştırıldığında ($T_h = T_c$) eğer fan dönüyorsa termodinamiğin ikinci kanunu bertaraf edilmiş olur.



Şekil 2.4. Seebeck etkisi.

Tablo 2.1 Deneyde elde edilen veriler.

V (Volt)
ΔT (°C)

Peltier Etkisi :

Peltier etkisi süresince, akım dönüştürücünün termoelektrik ısı pompasından akar ve alüminyum bacaklar arasında bir sıcaklık farkına sebep olur. Dönüştürücü üzerindeki kırmızı ve siyah soketlere D.C. bir güç kaynağı bağlanır. Dönüştürücü üzerindeki anahtar

Not: Kontrol amaçlıdır. Mevcut hataları ilgili araştırma görevlisine bildiriniz.

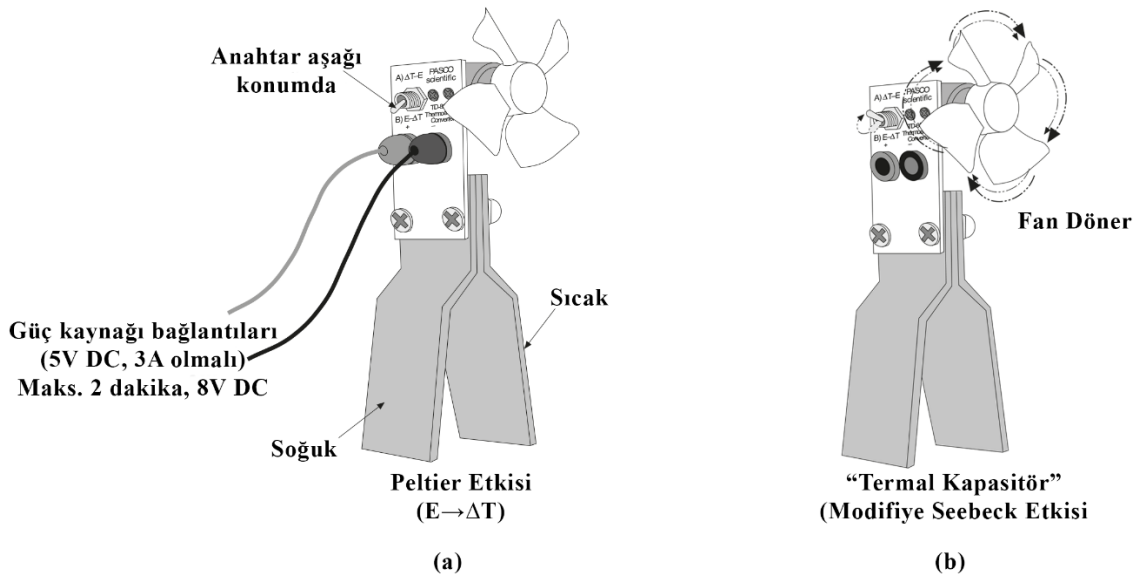
($E \rightarrow \Delta T$) pozisyonuna alınır. Bu işlemler yapılırken dönüştürücünün bacakları kesinlikle suda olmaması gereklidir. Güç kaynağı açılır ve birkaç dakika içerisinde dönüştürücünün her iki alüminyum bacağı arasında bir sıcaklık farkı olduğu hissedilir. Bu işlem belirli voltaj değerleri için tekrarlanır ve her seferinde alüminyum bacaklar arasındaki sıcaklık farkı ölçülerek not edilir. Sonuçlardan faydalanılarak gerekli tablo doldurulur ve $\Delta T = f(V)$ grafiği çizilir.

Önemli Not: Termoelektrik dönüştürücüye kesinlikle 2 dakikadan fazla gerilim uygulamayınız ve 8 Voltu aşmayınız. Aksi takdirde dönüştürücü bozulabilir.

Tablo 2.2 Deneyde elde edilen veriler.

V (Volt)
ΔT (°C)

Peltier etkisi gözlemlendikten sonra D.C. güç kaynağı dönüştürücünden çıkartılır ve dönüştürücü üzerindeki anahtar $\Delta T \rightarrow E$ pozisyonuna alınır. Bu konumda sıcaklık farkından dolayı Şekil 2.5(b)'deki gibi akım akışı olacak ve bu akım motorun dönmesini sağlayacaktır.



Şekil 2.5. (a) Peltier etkisi, (b) Termal kapasitör.

3. Deney : Termal Verimlilik

3.1. Deneyin Amacı: Çalışma sıcaklıklarının bir fonksiyonu olarak ısı motorunun Carnot verimliliği ve gerçek verimliliğinin belirlenmesi

3.2. Teorik Bilgiler

Termodinamikte termal verimlilik, çalışırken termal enerji kullanan bir cihazın (içten yanmalı motor, fırın, buzdolabı, buhar kazanı gibi) performansının bir ölçüsü olarak tanımlanır ve boyutsuz bir büyüklüktür. Isı motoru ise, Şekil 3.1’de görüldüğü gibi, termodinamik bir çevrimde çalışan, çalışmak için sıcak rezervuar ile soğuk rezervuar arasındaki sıcaklık farkını kullanan ve ısıyı mekanik işe dönüştüren bir cihazdır. Tüm ısı motorları farklı sıcaklıklardaki iki enerji rezervuarı arasında çalışır. Sıcak ve soğuk rezervuarların sıcaklıkları iç kısımlarına yerleştirilmiş termistörün (ısıl direncin) direnci ölçülerek belirlenir. İçerisine yerleştirilmiş ısıtıcı bir R_i direnci üzerinden akım geçirilerek, sıcak rezervuarın sıcaklığının artırılması sağlanır. Böylece termistör değerindeki değişimi sağlayan giriş gücü (P_h);

$$P_h = I_h V_h \quad (3.1)$$

eşitliği ile verilir. (3.1) denkleminde I_h , sıcak rezervuar üzerinden geçirilen akım; V_h ise sıcak rezervuara uygulanan gerilim değeridir.

Termal verimlilik cihazında, ısı motoru bir yük direnci üzerinden akım geçirilerek çalışır. İş, yük direnci tarafından harcanan ısıya (Joule ısıtması) dönüştürülür. Değeri R olan bir yük direnci üzerindeki gerilim V_o olmak üzere, yük direnci tarafından harcanan güç (P_o),

$$P_o = \frac{V_o^2}{R} \quad (3.2)$$

bağıntısıyla ifade edilir. Cihazın gerçek verimliliği (η) ise,

$$\eta = \frac{P_o}{P_h} \quad (3.3)$$

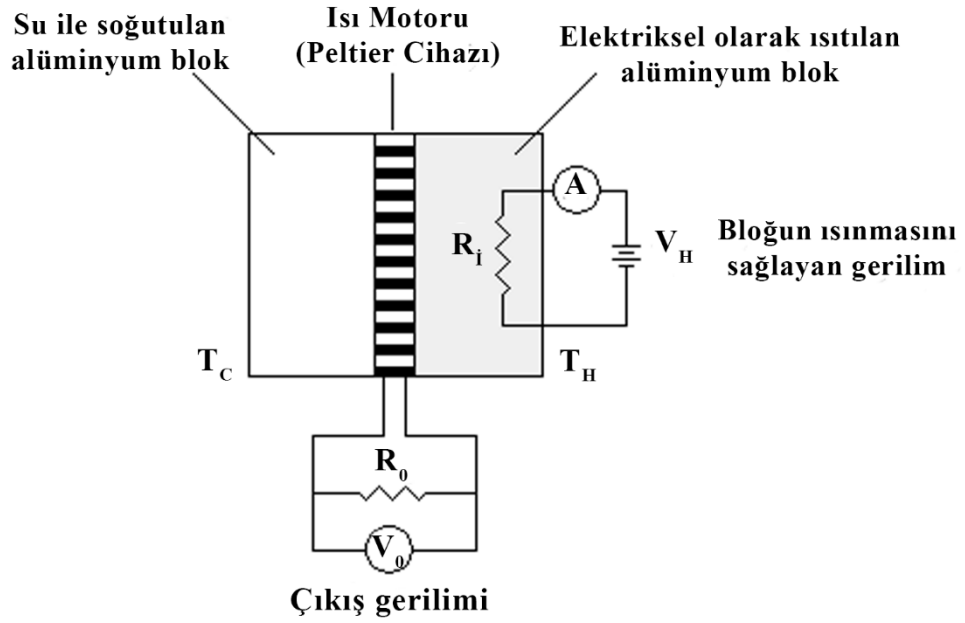
ifadesi ile verilir.

Not: Kontrol amaçlıdır. Mevcut hataları ilgili araştırma görevlisine bildiriniz.

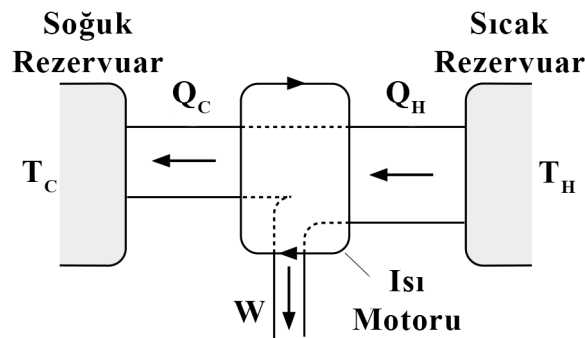
Enerjinin Korunumu Yasası (Termodinamiğin Birinci Yasası) gereğince, sıcak rezervuardan alınan ısı miktarı (Q_h), ısı motoru tarafından yapılan iş (W) ile soğuk rezervuara aktarılan ısı (Q_c) toplamına eşittir ve

$$Q_h = W + Q_c \quad (3.4)$$

ifadesi ile tanımlanır.



Şekil 3.1. Isı motoru.



Şekil 3.2. Isı motorunun çalışma prensibi

İki sıcaklık arasında çalışan bir ısı motorunun maksimum verimliliği, Carnot verimliliğidir. Çünkü Carnot verimliliğinde sürtünme, ısı iletimi ve cihazın iç direncinin Joule ısıtması nedeniyle ortaya çıkan enerji kayıplarının olmadığı varsayılmıştır. Carnot

Not: Kontrol amaçlıdır. Mevcut hataları ilgili araştırma görevlisine bildiriniz.

verimliliği, kullanılan motorun tipine bağlı olmayıp, yalnızca mutlak sıcaklıkların oranına bağlıdır ve

$$\eta_{\text{carnot}} = \frac{T_h - T_c}{T_h} = 1 - \frac{T_c}{T_h} \quad (3.5)$$

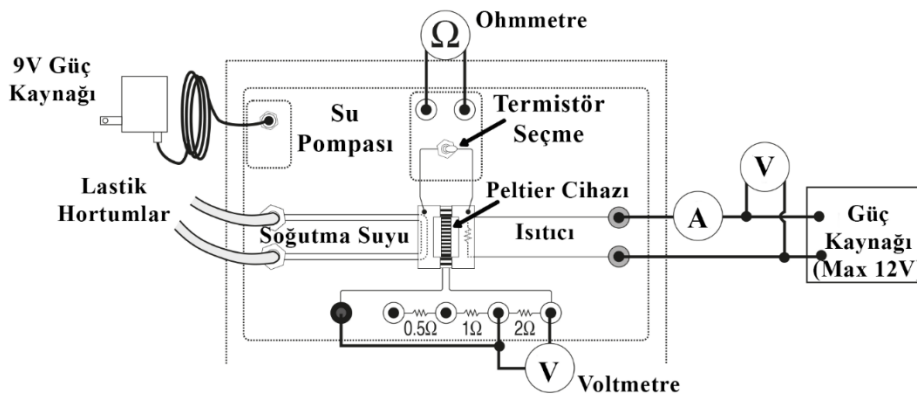
veya

$$\eta_{\text{carnot}} = \frac{W}{Q_h} = \frac{Q_h - Q_c}{Q_h} = 1 - \frac{Q_c}{Q_h} \quad (3.6)$$

eşitlikleri ile ifade edilir. (3.5) denkleminde T_h ve T_c sıcaklıkları, Kelvin cinsindendir. Carnot verimliliğinin değeri daima cihazın gerçek verimliliğinden büyük, 1'den küçüktür ($n < n_{\text{carnot}} < 1$). Termodinamiğin ikinci yasası uyarınca %100'lük verime sahip bir ısı motoru yapmak imkânsızdır. Çünkü böyle bir durumda $Q_c = 0$ olmalıdır. Bu koşul ise $T_c = 0K$ (mutlak sıfır) olması halinde sağlanır. Ancak Termodinamiğin Üçüncü Yasası'na göre mutlak sıfır sıcaklığına erişilemeyeceğinden dolayı bir ısı motorunun verimliliği %100 olamaz. Bununla birlikte, bir ısı motorunun verimliliğini geliştirmek için T_h artırılmalı (yüksek sıcaklık materyalleri, yani ısıya dayanıklı materyaller gerektirir), T_c azaltılmalıdır (verimli ısı aktarımı gerektirir).

3.4. Deneyin Yapılışı

Deneyi yapmak için Şekil 3.3'teki devre düzeneğini kurarak aşağıdaki basamakları takip ediniz.



Şekil 3.3. Devre düzeneği.

1. Buz-su banyosu hazırlayın ve termal verimlilik cihazından çıkan her iki lastik hortumu bu banyoya daldırın.
2. Su pompasına bağlı olan 9V'luk transformatörü prize takın. Pompanın çalıştığını duyduğunuz anda, su "out" işaretli lastik hortumdan dışarı verilmelidir.
3. Termistörün (ısıl direncin) bağlantı uçlarına ohmmetreyi bağlayın.
4. Isıtıcı direncin uçlarına DC güç kaynağını bağlayarak gerilimi 10V'a ayarlayın.

Not: Bu değer, sıcak rezervuar için maksimum sıcaklık elde etmek istendiğinde, ayarlanması önerilen bir değerdir. 12V'dan küçük olan her gerilim uygundur. Termal verimlilik cihazı 5 dakikadan fazla ve sıcak tarafın sıcaklığı 80°C'nin üzerinde olacak bir şekilde **çalıştırılmamalıdır**. Eğer bu sıcaklık 93°C'yi aşarsa, cihazın zarar görmesini engellemek için, termal bir şalter akımı otomatik olarak kesecektir.

5. Şekil 3.2'de gösterildiği gibi yük direncine bir voltmetre bağlayın. 2Ω'luk yük direncinin seçimi keyfidir. Yük dirençlerinin herhangi biri de kullanılabilir.
6. Sıcak ve soğuk rezervuarların sıcaklıklarının sabit olması için, sistemin dengeye gelmesini bekleyin. Bu işlem başlama sıcaklığına bağlı olarak 5 ile 10 dakika sürer.
7. Her bir tarafa ohmmetreyi anahtarlama için çelik şalteri (devirmeli anahtarı) kullanarak sıcak ve soğuk tarafın sıcaklık dirençlerini ölçün. Okunan değerleri Tablo 3.2'de kaydedin. Cihazın önündeki kartı veya Tablo 3.1'i kullanarak okuduğunuz direnç değerlerine karşılık gelen sıcaklık değerlerini belirleyin ve bu sıcaklıkları Tablo 3.2'ye kaydedin.

Not: Kesin sıcaklık değerleri elde etmek için, kart üzerindeki sayılar arasında değerler eklemelidir. Örneğin, ohmmetrenin 118,7kΩ okuduğunu varsayalım. Bu değer, 120kΩ = 21°C ve 115kΩ = 22°C aralığında yer alır ve 21°C'nin 120 – 118,7 = 1,3kΩ üzerindedir.

$$\Delta T = (120 - 118,7)k\Omega \cdot \left(\frac{22 - 21^\circ C}{120 - 115k\Omega} \right) = 1,3k\Omega \cdot \left(\frac{1^\circ C}{5k\Omega} \right) = 0,26^\circ C$$

Böylece, $T = 118,7k\Omega = (21 + 0,26)^\circ C = 21,26^\circ C$ olarak belirlenir.

8. Isıtıcı direnç üzerindeki voltajı (V_h), akımı (I_h) ve yük direnci üzerindeki gerilimi (V_o) Tablo 3.2'e kaydedin.

9. Isıtıcı direnç üzerindeki gerilimi 2V düşürün.
10. Beş farklı V_h değeri için veri alıncaya kadar 6'dan 9'a kadar olan basamakları tekrarlayın.
11. Elde edilen verilerin her biri için, sıcak rezervuara sağlanan gücü (P_h) ve yük direnci tarafından harcanan gücü (P_o) hesaplayın ve bunları Tablo 3.3'e kaydedin.
12. Her bir deneme için sıcaklık farkını ($\Delta T = T_h - T_c$) °C cinsinden hesaplayın ve Tablo 3.3'e kaydedin.
13. (3.3) eşitliğini kullanarak gerçek verimlilik (η) değerlerini hesaplayın ve Tablo 3.3'e kaydedin.
14. (3.5) eşitliğini kullanarak Carnot verimliliği (η_{carnot}) değerlerini hesaplayın ve Tablo 3.3'e kaydedin.
15. η ve (η_{carnot}) değerlerini 100 ile çarptıktan sonra, %Verimlilik = $f(\Delta T)$ grafiğini çizin. Grafikleri karşılaştırmak amacıyla çizimler aynı grafik kâğıdı üzerinde yapılabilir.

Tablo 3.1. Direncin sıcaklığa dönüşüm kartı

kΩ	°C	kΩ	°C	kΩ	°C	kΩ	°C	kΩ	°C	kΩ	°C	kΩ	°C
461	-5	197	11	91.1	27	44.9	43	23.4	59	12.9	75	7.45	91
436	-4	187	12	87	28	43	44	22.5	60	12.4	76	7.21	92
413	-3	178	13	83.1	29	41.2	45	21.7	61	12	77	6.98	93
391	-2	169	14	79.4	30	39.6	46	20.9	62	11.6	78	6.75	94
370	-1	161	15	75.9	31	37.9	47	20.1	63	11.2	79	6.53	95
351	0	153	16	72.5	32	36.4	48	19.3	64	10.8	80	6.33	96
332	1	146	17	69.3	33	34.9	49	18.6	65	10.4	81	6.12	97
315	2	139	18	66.3	34	33.5	50	17.9	66	10.1	82	5.93	98
298	3	133	19	63.4	35	32.2	51	17.3	67	9.76	83	5.74	99
283	4	126	20	60.7	36	30.9	52	16.6	68	9.43	84	5.56	100
269	5	120	21	58.1	37	29.7	53	16	69	9.12	85	5.39	101
255	6	115	22	55.6	38	28.5	54	15.5	70	8.81	86	5.22	102
242	7	109	23	53.2	39	27.4	55	14.9	71	8.52	87	5.06	103
230	8	104	24	51	40	26.4	56	14.4	72	8.24	88	4.91	104
218	9	100	25	48.9	41	25.3	57	13.8	73	7.96	89		
207	10	95.4	26	46.8	42	24.4	58	13.4	74	7.7	90		

Not: Kontrol amaçlıdır. Mevcut hataları ilgili araştırma görevlisine bildiriniz.

Tablo 3.2 Isı motoru için veriler

Deneme	$V_h(V)$	$I_h(A)$	$V_o(V)$	$T_h(k\Omega)$	$T_c(k\Omega)$	$T_h(^{\circ}C)$	$T_c(^{\circ}C)$
1	10						
2	8						
3	6						
4	4						
5	2						

Tablo 3.3. Hesaplanan değerler

Ölçüm Sırası	$P_h(W)$	$P_o(W)$	$T_h(K)$	$T_c(K)$	$\Delta T (^{\circ}C)$	η	η_{carnot}
1							
2							
3							
4							
5							

4.Deney: e/m Tayini

4.1. Deneyin Amacı: Bir elektron demetinin manyetik alan etkisiyle saptırılmasını gözlemleyerek Thomson'un e/m ölçümünün doğrulanması ve yerin manyetik alanının büyüklüğünün belirlenmesi.

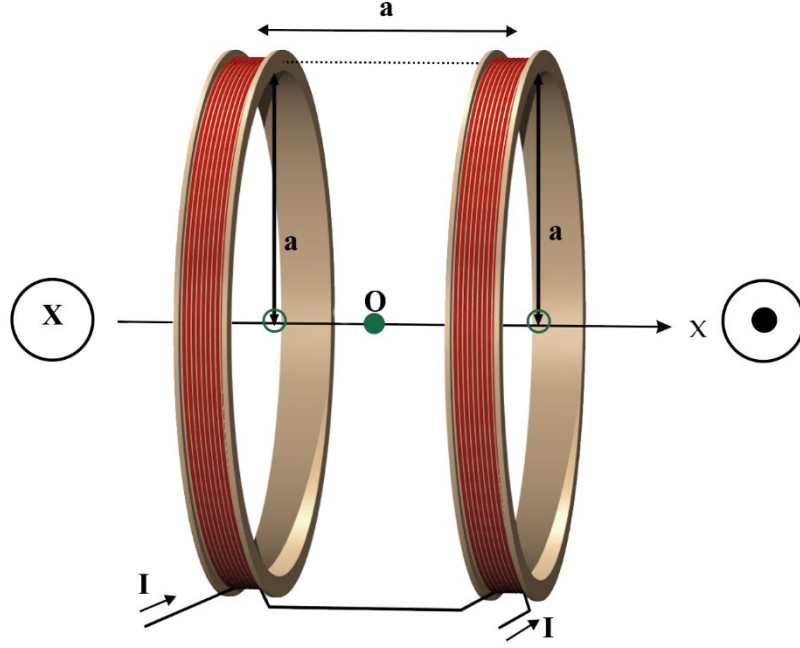
4.2 Teorik Bilgi

J.J. Thomson, katot ışını tüpüne benzer bir cihazla elektronu keşfetti ve elektronun yükünün kütlesine oranını ölçtü. Thomson'un deneyi bir elektrik ve manyetik alanın birlikte bulunduğu bir ortam içinde bir parçacık demetini saptırmayla ilgiliydi. Bunun sonucunda, elektronun varlığını, elektronun bir kütleye sahip olduğu olgusunu, elektronun bir yüke sahip olduğu olgusunu, hem kütlenin hem de yükün sayısal olarak belirtilebileceğini, e/m'nin oranını ve bu oranın atom altı parçacıkların varlığını işaret ettiğini tespit etti. Bu deneyin gerçekleştirilmesinde önemli bir rol oynayan iki temel olay vardır. Bunlar, bir elektrik akımıyla ilişkili bir manyetik alanın varlığı ve bir manyetik alanda hareket eden yüklü parçacığın sapmasıdır.

Yapacağımız deneyde içerisinde az miktarda cıva buharı bulunan vakumlu özel bir tüp kullanacağız. Isıtılan katottan yayınlanan elektronlar katot ve anot arasına uygulanan gerilimle ivmelendirilir. Elektronların bir kısmı, silindirin merkezinde dairesel bir delikten ince bir ışın demeti olarak çıkar. Katottan ayrılan yeterince yüksek kinetik enerjiye sahip elektronlar cıva atomlarıyla çarpışırlar ve böylece atomların bir kısmı iyonlaşır. Rastgele hareket eden elektronlar ile iyonların yeniden birleşmesi üzerine, karakteristik bir mavi renk gözlemlenir. Bu durum, elektronlar cıva buharı içerisinde hareket ederken, elektron demetinin yolunu (izini) görünür yapar. Gözlemlemiş olduğumuz elektron demetini izlemiş olduğu yörüngesinden saptıracak manyetik alanı oluşturmak için, birbirlerinden yarıçaplarına eşit bir uzaklıkla ayrılmış, merkezde çok düzenli bir manyetik alan üreten ve Helmholtz bobinleri olarak bilinen iki paralel bobin kullanılacaktır. Bobinlerin her biri a yarıçaplı olup, N sarım sayısına sahiptir ve birbirleriyle aynı yönde I akımı taşır. Böyle bir sistemin orta noktasındaki (O noktasındaki) manyetik alanın şiddeti,

$$B = \frac{8\mu_0 NI}{5\sqrt{5}a} = 0,715\mu_0 \frac{NI}{a} \quad (4.1)$$

eşitliği ile verilir. Denklemden μ_0 boş uzayın manyetik geçirgenliği olup değeri; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{N/m}^2$ 'dir.



Şekil 4.1. Helmholtz bobinleri.

Amerikalı fizikçi H.A. Rowland, bir **B** manyetik alanı içinde hareket eden q yükü ve v hızına sahip bir parçacığın bir **F** kuvvetine maruz kaldığını gözlemleyen ilk kişidir. Bir e yüküne ve v hızına sahip elektron demeti, Helmholtz bobinleri tarafından üretilen ve hıza dik doğrultuda olan homojen bir B manyetik alanına girdiğinde, üzerine etki eden Lorentz Kuvveti ($F = q(v \times B)$) şu büyüklüğe sahip olur:

$$F_{\text{man}} = evB \sin \theta \quad (4.2)$$

Eğer elektron (yükü parçacık) demetinin hız vektörü ile manyetik alan vektörü birbirine dik ($\theta = 90^\circ$) tasarlandığından, kuvvet maksimum değerine ulaşır:

$$F_{\text{man}} = evB \quad (4.3)$$

eşitliği ile verilir. Manyetik kuvvet, hız vektörüne her an dik olduğu için parçacığın hızının büyüklüğünü değiştirmez, ancak hareket yönünü sürekli değiştirerek onu dairesel

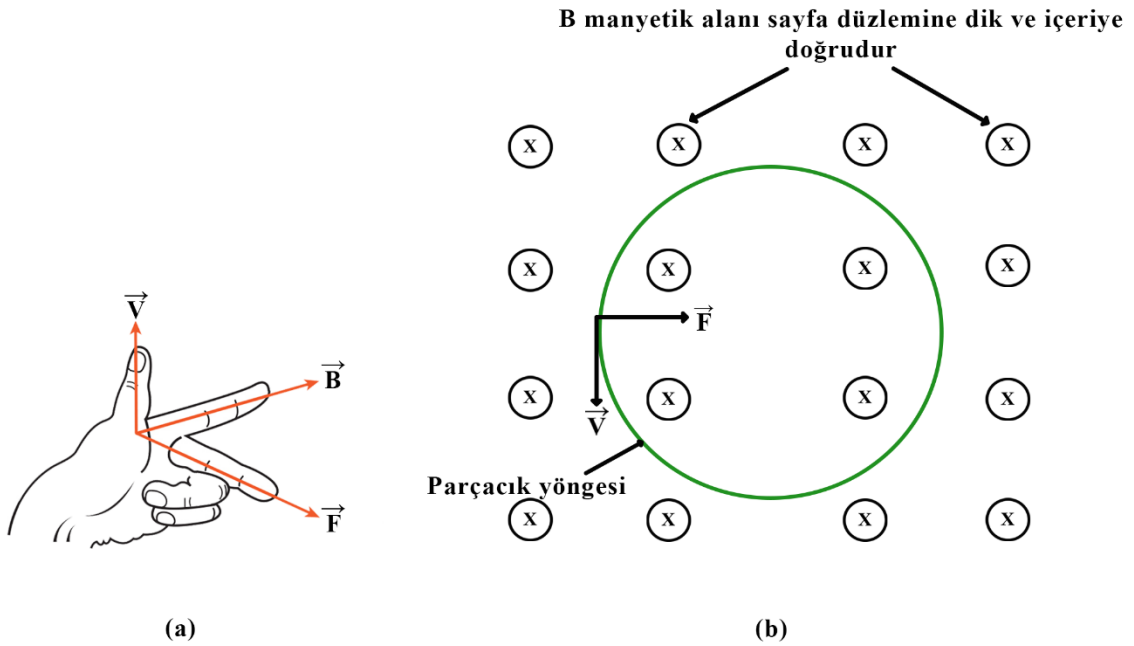
bir yörüngeye zorlar. Bu durumda manyetik kuvvet, sistemin merkezci kuvveti (F_c) görevini üstlenir. Newton'un ikinci yasası uyarınca bu denge şu şekilde ifade edilir:

$$\sum F = ma_c \Rightarrow \frac{mv^2}{r} = evB \quad (4.4)$$

Burada m elektronun kütlesini, v çizgisel hızını ve r ise dairesel yörüngeyi eğrilik yarıçapını temsil eder. Denklem (4.4)'teki hız bileşenlerinden birini sadeleştirerek, yüklü parçacığın manyetik alan içerisindeki dairesel hareketinin yarıçapını (r) veren denklem;

$$r = \frac{mv}{eB} \quad (4.5)$$

şeklindedir. Helmholtz bobinlerinin ürettiği manyetik alan tarafından elektron demeti üzerine etkiyen kuvvetin yönü sağ el kuralı ile Şekil 4.2(a)'da gösterildiği gibi belirlenir.



Şekil 4.2(a) Sağ el kuralı, **(b)** Yüklü parçacıkların manyetik alandaki hareketi.

e/m oranının belirlenebilmesi için elektron demetinin hızının bilinmesi gerekir. Bir v son hızına ivmelendirilen bir elektron demetinin kinetik enerjisi, ivmelendirme voltajı (V_{ivme}) tarafından yapılan işe eşittir ve

$$\frac{1}{2}mv^2 = eV_{ivme} \quad (4.6)$$

bağıntısı ile verilir. Denklem (4.5)'den v çekilip, elde edilen ifade (4.6)'da yerine yazılarak e/m oranı,

$$\frac{e}{m} = \frac{2V_{ivme}}{B^2 r^2} \quad (4.7)$$

şeklinde bulunur.

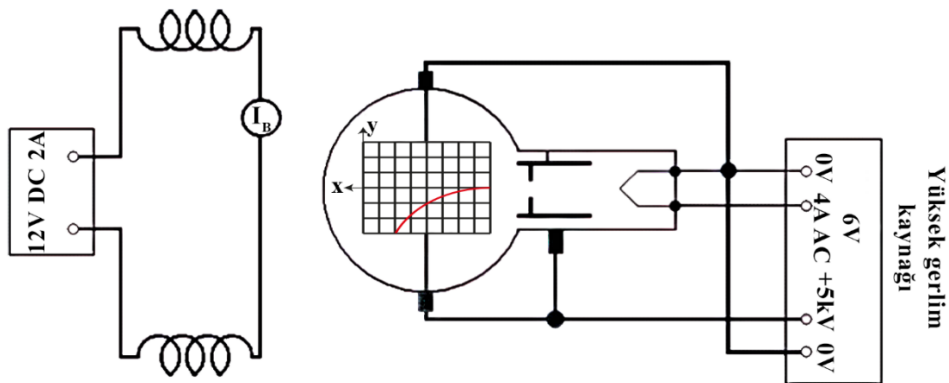
Yapacağımız deneyde dikkate alınması gereken son bir unsur yeryüzünün manyetik alanıdır. Bu alanın elektron demetimiz üzerinde ihmal edilemez bir etkiye sahip olduğu unutulmamalıdır. Bobinin manyetik alanı ile yeryüzünün manyetik alanı ile eş eksenlidir. Bu durumda, elektron demetini saptıran manyetik alan şiddeti B ;

$$B = B_{yeryüzü} \mp B_{bobin} \quad (4.8)$$

şeklinde dir. Denklemde B_{bobin} 'nin işareti bobindeki akımın yönüne bağlıdır. Helmholtz bobinlerindeki akım değeri değiştirilerek B_{bobin} 'in farklı değerleri üretilir ve farklı yörüngeler çizmeleri için elektronlar zorlanır.

4.2. Deneyin Yapılışı

Deneyi yapmak için Şekil 4.4'teki devreyi kurarak aşağıdaki adımları takip edin.



Şekil 4.4. Deney düzeneği.

1. Akım vermeden önce devrenizin doğruluğunu dikkatlice kontrol edin.
2. Anot gerilimini sıfırda tutarak katodu 6V'luk AC gerilimi ile besleyin.
3. Flamanın ısınması için bir süre bekleyin.

4. Anot (ivmelendirme) gerilimini 4000V (DC) değerine ayarlayın.
5. İkinci güç kaynağının dc akımını değiştirerek bobinler tarafından üretilen manyetik alan etkisiyle saptırılan elektron demetinin yörüngesini Tablo 5.1’de verilen (x, y) koordinatlarından geçecek şekilde ayarlayın.
6. Her bir (x, y) değeri için elektron demetinin hareket ettiği dairesel yörüngenin yarıçapını (r) hesaplamak için;

$$r = \frac{x^2 + y^2}{2y} \quad (4.9)$$

eşitliğini kullanın.

7. Her bir (x, y) değeri için bobinlere verilen akım değerini okuyarak Tablo 4.1’e kaydedin.
 8. Denklem (4.2)’i kullanarak manyetik alan şiddeti (B) değerlerini hesaplayarak Tablo 4.1’e kaydedin.
 9. Denklem (4.7)’yi kullanarak e/m oranı değerlerini hesaplayarak Tablo 4.1’e kaydedin.
 10. Ortalama e/m oranını hesaplayarak Tablo 4.1’e kaydedin.
 11. $B = f(1/r)$ grafiğini çizin ve grafikteki doğrunun eğiminden e/m oranının değerini hesaplayınız.
 12. Ortalama e/m oranı değeri ve grafikteki doğrunun eğiminden bulduğunuz e/m oranı değerini, $e/m = 1,7589 \cdot 10^{11} \text{C/kg}$ teorik değeri ile karşılaştırın.
 13. Çizdiğiniz grafikten yararlanarak yerin manyetik alanının büyüklüğünü belirleyiniz.
- Not:** Deneyin yapıldığı laboratuvarın yanındaki trafonun ürettiği manyetik alanın şiddeti $0,8 \times 10^{-4} \text{Tesla}$ ’dır.

Tablo 4.1. Elde edilen sonuçlar.

N = 320 sarım		a = 6,8 cm		I (A)	B (Tesla)	e/m (C/kg)
V _{ivme} (V)	x (cm)	y (cm)	r (cm)			
4000	5	2				
4000	4	2				
4000	3	2				
Ortalama e/m =						

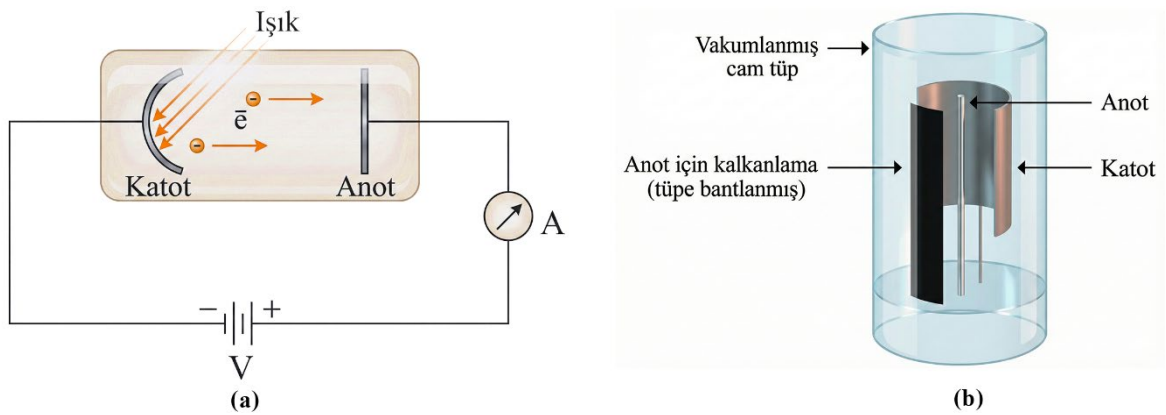
5. Deney: Fotoelektrik Olay

5.1. Deneyin Amacı: Einstein 'in fotoelektrik olay teorisini doğrulamak, Planck sabitini ölçmek ve bir metal yüzeyin iş fonksiyonunu belirlemek.

5.2. Teorik Bilgiler

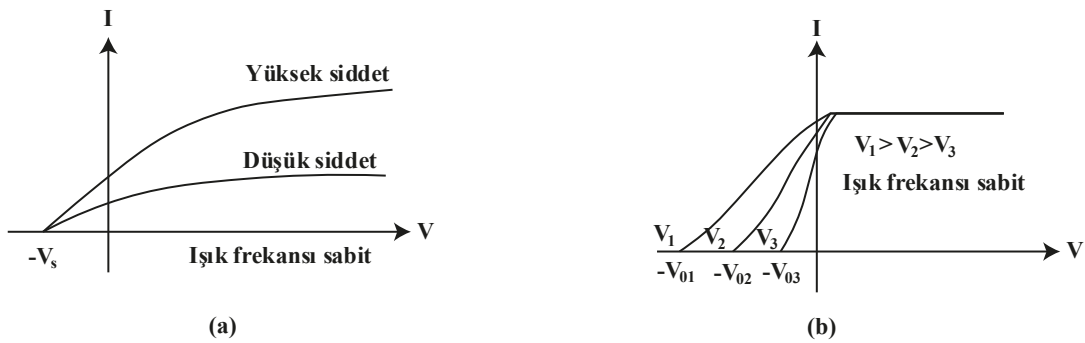
1885'te yayınlanan Maxwell'in elektromanyetizma teorisinin en heyecanlı öngörüsü ışık hızında hareket eden elektromanyetik dalgaların olduğu ve ışığın kendisinin bir dalga olduğu sonucuydu. 1886 ve 1887'de Heinrich Hertz elektromanyetik dalgaları başarılı olarak üretti ve ışığın tüm özelliklere sahip olduğunu da gözlemledi. Işık yansıtılabilir, kırılabilir, merceklerle odaklanabilir ve kutuplanabilirdi. Bu buluş ışığın dalga doğasını kuvvetlice destekledi. Hertz deneyini gerçekleştirirken, ultraviyole ışığın bir metal yüzeyden elektronların kopmasına yol açtığını keşfetti. Bu olay fotoelektrik olay olarak bilinirken, ışığın metal yüzeyden koparılmasına yol açtığı elektronlar ise foto elektronlar olarak adlandırılır.

Işığın klasik dalga teorisine göre, ışığın şiddeti dalganın genliğini belirler ve bu nedenle daha büyük ışık şiddeti, metaldeki elektronların daha şiddetli salınmasına ve metal yüzeyden daha büyük bir kinetik enerjiyle fırlatılmasına yol açar. Aksine, deney, kopan elektronların kinetik enerjisinin ışığın frekansına bağlı olduğunu gösterdi. Işık şiddeti yalnızca kopan elektronların sayısını etkilerken, elektronların kinetik enerjisini etkilemez.



Şekil 5.1. (a) Fotoelektrik olayı gözlemek için bir devre diyagramı, **(b)** Deneyde kullanılacak fototüp.

Şekil 5.1(a)'da fotoelektrik olayın meydana geldiği bir devre diyagramı gösterilmektedir. Vakumlanmış bir cam tüp V potansiyel farkına sahip bir bataryanın negatif ucuna bağlı ve katot adı verilen metal levha içerir. Anot adı verilen diğer metal levha pozitif bir uça beslenir. Tek dalga boyuna sahip bir ışık, katot üzerine düşürüldüğünde, katottan koparılan elektronların anoda doğru hareket etmesi sonucunda, ampermetreden katot ve anot arasındaki aralık boyunca bir yük akışını işaret eden bir akım saptanır. Büyük bir voltaj değeri için, akım bir maksimum değere ulaşır. Uygulanan gerilim negatif olduğunda, anot ile katot arasında bir itici potansiyelin var olduğu söz konusudur. Böyle bir durumda, yayınlanan ve anoda ulaşmaya çalışan fotoelektronların çoğu itileceği için fotoakım değeri çok küçük bir değere düşer. Uygulanan gerilim, bir V_s durdurma potansiyeline eşit olduğunda, anoda ulaşan elektron yoktur ve ampermetreden okunan akım değeri sıfırdır. Sabit frekansta farklı iki ışık şiddeti için, akımın katot ve anot arasındaki potansiyel farka karşı grafiği Şekil 5.2(a)'da gösterilirken, aynı metal yüzeye düşürülen ve ışık şiddetleri aynı olan, farklı renklerde üç ışık için akım- gerilim karakteristiği ise Şekil 5.2(b)'de gösterilir.



Şekil 5.2.(a) Aynı frekanslı, farklı iki ışık şiddetine sahip ışık için akım-voltaj ilişkisi, **(b)** Aynı metal yüzeye düşen ve aynı ışık şiddetine sahip, farklı frekanslı üç ışık için akım-voltaj ilişkisi

Durdurma potansiyeli ışıının şiddetinden bağımsızdır ve maksimum kinetik enerji ile ilişkisi

$$K_{\text{maks}} = eV_s \quad (5.1)$$

ile verilir.

1900’da, Max Planck siyah cisim ışımasını açıklamak için, bir cismin yaydığı radyasyonun cismin sıcaklığı ile nasıl ilişkili olduğu problemi üzerinde çalışırken, deneysel veri ile çok yakından uyumlu bir formül üretti. Fakat formül yalnızca, titreşen bir molekülün enerjisi belirli değerler alabildiğinde anlamlıydı. Buna göre enerji, bir sabitle çarpım halinde olan titreşim frekansı ile orantılı olmalıydı. Bu sabit Planck sabiti olarak bilinmektedir ve değeri $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ ’dir.

Planck’ın çalışmasına dayanarak, Einstein ışığın aynı zamanda yığınlar halinde enerjisini verdiğini, ışığın, her biri frekansının Planck sabiti katında enerjiye sahip olan quanta veya foton olarak adlandırılan küçük parçacıklardan oluştuğunu önerdi. Tek bir fotonun enerjisi,

$$E = h\nu \quad (5.2)$$

olmak üzere, metal yüzeyden koparılan foto elektron için maksimum kinetik enerji,

$$K_{\text{maks}} = E - \phi = h\nu - \phi \quad (5.3)$$

eşitliği ile verilir. Denklem (5.1)’deki eşitlik denklem (5.3)’de kullanılarak

$$eV_s = h\nu - \phi \quad (5.4)$$

elde edilir. Eşitlikte ϕ , bir elektronu metale bağlayan enerjiyi temsil eden metal yüzeyin iş fonksiyonu olup

$$\phi = h\nu_0 \quad (5.5)$$

eşitliği ile verilir. Bu eşitlikte ν_0 eşik frekansıdır. Her bir metal için ϕ değeri farklıdır ve malzemenin karakteristik bir özelliğini temsil eder. Einstein’ın foton teorisi, fotoelektrik olay açıklandığında ışığın dalga teorisiyle ortaya çıkan üç itirazı şu şekilde açıklamaktadır:

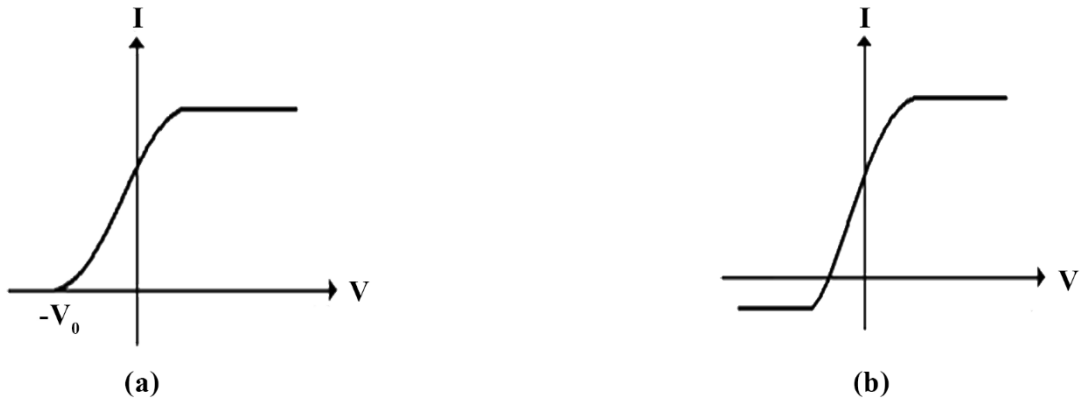
1. Sabit frekanslı bir ışık için, ışık şiddeti artırılırsa, metal yüzeye çarpan fotonların sayısı ve bundan dolayı yüzeyden kopan elektron (fotoelektron) sayısı artar.

Fotoelektron sayısının artması fotoakımın da artmasını yol açar. Ancak, ışık şiddetinin artırılması fotonun enerjisi değiştirmez.

2. K_{maks} sıfıra eşitse, $h\nu = \phi$ olur ve bu durumda, elektron kurtulmak için yeterli enerjiyi henüz kazanmıştır ve bir kinetik enerjiye sahip değildir. Eğer ν , ν_0 kesim frekansının altına düşürülürse, foton enerjisi iş fonksiyonundan daha küçük olacaktır ve fotonların sayısı ne kadar çok olursa olsun, fotoelektronlar yayınlamak için yeterli enerjiye sahip olamayacaklardır.

3. Enerji küçük paketler halinde belirdiğinden, fotonlar ve elektronlar arasında birebir etkileşim olduğundan, fotoelektronlar hemen hemen ani olarak yayınlanır. Yani ışığın metal yüzeye düşürülmesi (aydınlatma) ile fotoelektronların yayınımları arasında fark edilebilir bir zaman gecikmesi yoktur.

İlk yapılan deneylerde, alkali-metal yüzeyler kullanılmıştır. Bu yüzeylerin verimlilikleri %1 civarındadır. Modern foto tüplerde ise sezyum-antimonide fotokatot yüzeyler kullanılmaktadır ve bu yüzeylerin verimliliği %20 civarındadır ve iş fonksiyonları küçüktür. Fakat bu yüzeylerin iş fonksiyonu düzgün olmadığı için negatif potansiyeller için fotoakımda keskin bir sona erme sözü konusu değildir.

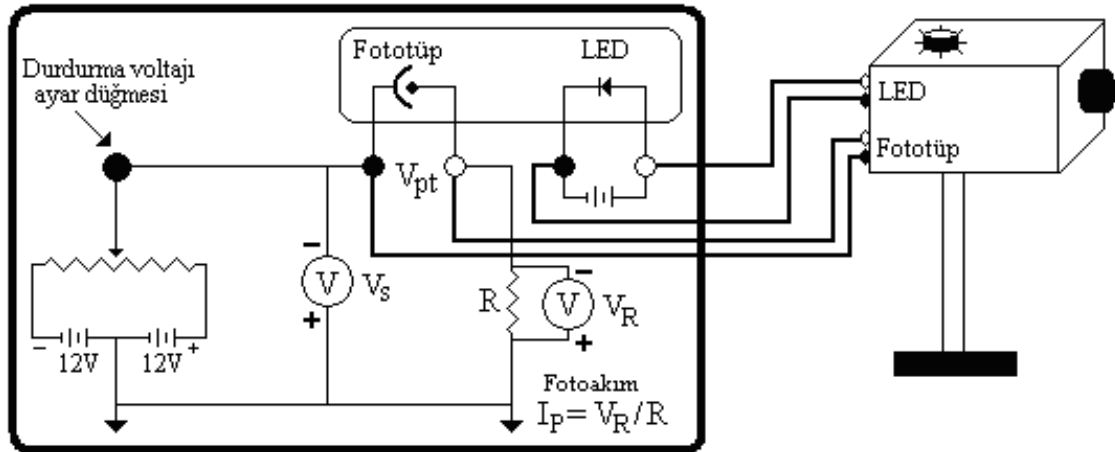


Şekil 5.3. (a) Fototüpün ideal I-V karakteristiği grafiği, **(b)** Fototüpün deneysel I-V karakteristiği grafiği.

5.3. Deneyin Yapılışı

Deneyin birinci kısmında uygulanan durdurma voltajına bağlı olarak fotoakım değerlerinin değişimini incelemek için aşağıdaki adımları takip edin.

1. Şekil 5.4'teki devre düzeneğini kurun.
2. Fototüpте havası boşaltılmış tüp içindeki hedef metalin (katodun) yönünün LED'lere doğru olduğundan emin olun.
3. Fototüp ünitesi içine dışardan ışık girmesini engelleyerek iyi bir analiz için gerekli olan karanlık ortamı sağlayın.
4. Fototüp ünitesi üzerindeki düğmeden ışığın dalga boyunu (λ_1) 470nm olarak seçin.
5. Bağlantıları kontrol ettikten sonra kontrol ünitesinin fişini elektriğe takın.
6. Kontrol ünitesi durdurma voltajı ayarlama düğmesini kullanarak durdurma voltajı değerlerini (V_s) Tablo 5.1'de verilen değerlere adım adım ayarlayın.



Şekil 5.4. Devre düzeneği.

7. Her bir adımda ayarladığınız V_s değerlerine karşın fotoakım voltajı (V_R) değerlerini voltmetreden okuyarak Tablo 5.1'e yazın.
8. Fototüp ünitesi üzerindeki düğmeden dalga boyunu (λ_2) 525nm olarak seçin.
9. 6-7 adımlarını tekrarlayın.
10. Her bir dalga boyu için okuduğunuz fotoakım voltajı ($V_{\text{fotoakım}}$) değerlerini $R = 100\text{k}\Omega$ 'a bölerek devreden geçen fotoakım (I_p) değerlerini hesaplayarak Tablo 5.1'e yazın.
11. Ölçümde kullandığınız her bir dalga boyu (470nm, 525nm) için $I_p = f(V_{\text{durdurma}})$ grafiğini çizerek yorumlayın.

Tablo 5.1. Farklı dalga boylarında, durdurma voltajına karşı fotoakım voltajı ve fotoakım değerleri.

	$\lambda_1 =$	$\lambda_2 =$	$\lambda_1 =$	$\lambda_2 =$
V_{durdurma} (V)	$V_{\text{fotoakım}}$ (V)	$V_{\text{fotoakım}}$ (V)	I_p (A)	I_p (A)
-12				
-11				
-10				
-9				
-8				
-7				
-6				
-5				
-4				
-3				
-2				
-1				
0				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				

Deneyin ikinci kısmında Planck sabitinin belirlemek amacıyla aşağıdaki adımları izleyin.

1. Kullanılan ışığın dalga boyunu 605nm olarak seçin.
2. Devreden geçen fotoakım değerinin sıfır olduğu durdurma voltajı ayar düğmesini kullanarak, fotoakım voltajının sıfır olduğu anı belirleyin ve bu andaki V_s değerini Tablo 6.2'ye kaydedin.

Not: Kontrol amaçlıdır. Mevcut hataları ilgili araştırma görevlisine bildiriniz.

3. Dalga boyunu Tablo 5.2'deki değerlere göre sırasıyla seçerek 2. adımdaki işlemi tekrarlayın.
4. Kullandığınız ışığın frekansını (ν) $\nu = c/\lambda$ eşitliğini kullanarak hesaplayın ve bulduğunuz değerleri Tablo 5.2'ye kaydedin.

Tablo 5.2. Farklı dalga boylarında kullanılan ışık için durdurma voltajı değerleri.

λ (nm)	ν (Hz)	V_{durdurma} (V)	h_{deneysel} (J.s)	h_{teorik} (J.s)	% δ
605					
525					
470					
400					

5. Tablo 5.2'deki değerleri kullanarak durdurma voltajının frekansa karşı $V_{\text{dur}} = f(\nu)$ grafiğini çizin.
6. Grafikten Planck sabitinin ve katottaki hedef metalin iş fonksiyonunun (Φ) değerlerini hesaplayın ve eşik frekansının (ν_0) değerini belirleyin.
7. Grafikten hesapladığınız değeri Planck sabitinin teorik değeri karşılaştırarak hatayı veya sapmayı yüzde olarak (% δ) hesaplayın.
8. Grafikten belirlediğiniz (ν_0) değeri ile Denklem (5.5)'den hesapladığınız (ν_0) değerini karşılaştırarak (% δ) hesaplayınız.

6.Deney: Millikan'ın Yağ Damlası Deneyi

6.1. Deneyin Amacı: Elektronun yükünü hesaplamak

6.2. Teorik Bilgiler

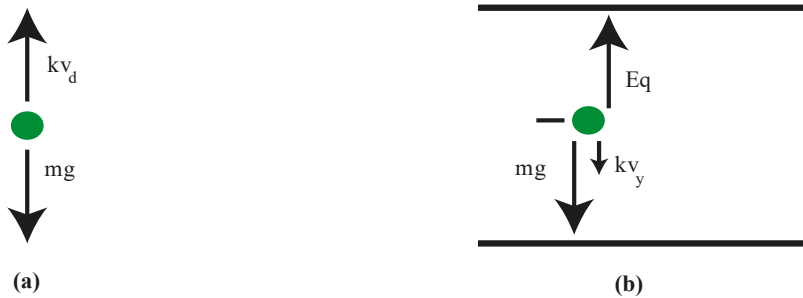
J.J. Thomson tarafından, bilinen ilk atom altı parçacık olan elektronun e/m oranının ölçülmesinden sonra geriye elektronun yükünü ve kütlesini belirleyebilmek kalıyordu. Bu sorunun çözümü için Thomson arkadaşlarıyla birlikte, bir elektron kazanmış veya kaybetmiş olan daha büyük M kütleli bir su damlasının elektrik alandaki hareketini incelemişlerdir. Damlanın M kütlesi ayrı bir yöntemle ölçülürse elektronun yükünün bulunabileceği ve e/m oranı kullanılarak elektronun kütlesinin de hesaplanabileceği düşünülmüştür. Ancak, su damlalarının çabuk buharlaşması ve deneysel hata payını %50'nin altına indirilememesi nedenlerinden dolayı başarılı olunamamıştır. Buharlaşma sorunu Amerikalı fizikçi Millikan tarafından yağ damlaları kullanılarak çözüldü. Millikan kullandığı düzenekte, yatay ve paralel iki iletken levhaya uygulanan potansiyel farkın etkisiyle düşey doğrultuda düzgün bir elektrik alan oluşmasını sağlamış ve levhalar arasındaki ortama yağ damlaları püskürtmüştür. Elektrik alan yokluğunda damlalar ağırlıkları etkisiyle aşağı yönde düşerken hava direnci nedeniyle çabucak limit hıza erişirler. Bir elektrik alanı uygulandığında, Millikan bazı damlaların daha çabuk düştüğünü, fakat bazılarının yukarı yönde çıkmaya başladığını gözlemledi. Buna göre, damlalar hem pozitif ve hem de negatif yük kazanmışlardı. Ayrıca elektrik alanda durgun bazı damlaların, aniden yukarı veya aşağı yönde hareket ettiklerini gözlemledi. Bu durum, damlacığın havadan bir yük kapıldığını gösterir. Millikan değişik sıvılar kullandı, damlacığın yükünü değiştirebilmek için havayı X-ışınlarıyla iyonlaştırdı. Tüm bu gözlemler sonucu damla yüklerinin temel bir yükün pozitif ve negatif tam katları olduğunu gösterdi. Bu temel yükün değeri $1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$ 'dur.

Millikan deneyinin iki önemli sonucu vardır. Birincisi, elektronun yükünün belirlenmesiyle, Thomson'un e/m oranı ifadesinden elektronun kütlesi de belirlenmiştir. İkinci ve belki de daha önemli sonucu ise, pozitif veya negatif tüm yüklerin aynı temel yük (e) değerinin tam katları olduğunu göstermesidir.

Deney esnasında kullanacağımız sette, aralarında hava tabakası bulunan dairesel ve birbirine paralel iki pirinç levhadan oluşan bir kondansatörün kapalı bir gözlem odası içinde bulunmaktadır. Deneyde kullanılacak yağ püskürtücüsü atomlaştırıcı görevi görerek, yağ damlalarının mikroskopik boyutlarda olmasını sağlar. Yağ damlalarının püskürtülmesi esnasında, gözlem odasının yan ve alt taraflarında basıncın etkisiyle içerideki havanın dışarı çıkmasını sağlayan iki farklı delik bulunmaktadır. Gözlem odası içerisine aşırı miktarda yağ damlası düşmesini önlemek ve daha rahat gözlem yapabilmek için, kondansatörün üst levhası üzerindeki deliğe damla sınırlama kapağı yerleştirilir. Levhanın boyutuna kıyasla oldukça küçük olan bu delikten geçen mikroskopik boyutlardaki yağ damlalarının gözlem odası içerisine düşmesi sağlanır. Yağ damlaları püskürtülürken deliğin çeperleri ve oda içindeki hava molekülleri ile çarpışmaları sonucunda sürtünme ile elektriklenerek, bazıları pozitif, bazıları da negatif elektrik yükü ile yüklenir. Aynı A kesit alanına sahip ve aralarında d mesafesi bulunan paralel plakalar arasına, bir yüksek gerilim kaynağı ile bir V gerilim farkı uygulandığında, düzlem plakalı kondansatörün levhaları arasında $E = V/d$ şiddetinde düzgün bir elektrik alanı oluşur. Elektrik alanının olmadığı bir hava ortamında düşen ve limit hızına ulaşan bir yağ damlası üzerine etkiyen kuvvetler Şekil 6.1.a’da gösterilmiştir. Kuvvetler eşit ve zıt olduğundan hava ve damla arasındaki sürtünme katsayısı (k) için

$$k = mg/v_d \quad (6.1)$$

eşitliği yazılabilir. Bu eşitlikte v_d düşme hızı, m damlanın kütlesi ve g yerçekimi ivmesidir.



Şekil 6.1.a. Elektrik alan yokken, **b.** Elektrik alanı varken hava ortamında düşen bir yağ damlası üzerine etkiyen kuvvetler.

Bir elektrik alanın etkisi altında yükselen bir yağ damlası üzerine etkiyen kuvvetler Şekil 7.2.b’de gösterilmiştir. Yağ damlası üzerine etkiyen elektriksel kuvvet,

$$qE = mg + kv_y \quad (6.2)$$

(6.1) eşitliğindeki k ifadesi (6.2)’de yazıldığında yağ damlasının düzgün elektrik alan içerisinde yükselme hızı

$$v_y = \frac{qv_d}{mg}E + v_d \quad (6.3)$$

ifadesi ile verilir. Bu eşitlikte qv_d/mg oranına s dersek ($s = qv_d/mg$);

$$v_y = sE + v_d \quad (6.4)$$

bağıntısı bulunur.

Küresel bir cismin η viskozite katsayılı bir viskoz ortamdaki düşme hızı ile yarıçapı arasındaki ilişkiyi veren Stokes yasası kullanılarak, yağ damlasının yarıçapı

$$a = \sqrt{(9\eta v_d / 2g\rho)} \quad (6.5)$$

eşitliği ile ifade edilir. Damlaların düşme hızı 0,001m/s’den daha küçük olduğunda, Stokes Yasası geçersiz olur. Bu hıza ve daha küçük hızlara sahip damlaların yarıçapı yaklaşık olarak 2mikron ($2 \cdot 10^{-6}m$) olup, hava moleküllerinin ortalama serbest yolu ile karşılaştırılabilir. Bu deneyde kullanılan damlaların hızları 0,0001m/s ile 0,00001m/s aralığında olacaktır, viskozite bir düzeltme faktörüyle çarpılmalıdır. Böylece, damlanın a yarıçapı

$$a = \sqrt{\left(\frac{b}{2P}\right)^2 + \frac{9\eta v_d}{2g\rho}} - \frac{b}{2P} \quad (6.6)$$

eşitliği tanımlanır. Eşitlikte b, bir sabit; P, paskal cinsinden barometrik basınçtır. Yağ damlasının kütlesi, bir kürenin hacim ifadesinden,

Not: Kontrol amaçlıdır. Mevcut hataları ilgili araştırma görevlisine bildiriniz.

$$m = \frac{4}{3} \pi a^3 \rho \quad (6.7)$$

ile verilir. Bu eşitlikte, ρ yağın yoğunluğudur. Böylece yağ damlası üzerindeki yük

$$q = \frac{mgs}{v_d} = \frac{\frac{4}{3} \pi g s \rho \left[\sqrt{\left(\frac{b}{2P}\right)^2 + \frac{9\eta v_d}{2g\rho}} - \frac{b}{2P} \right]^3}{v_d} \quad (6.8)$$

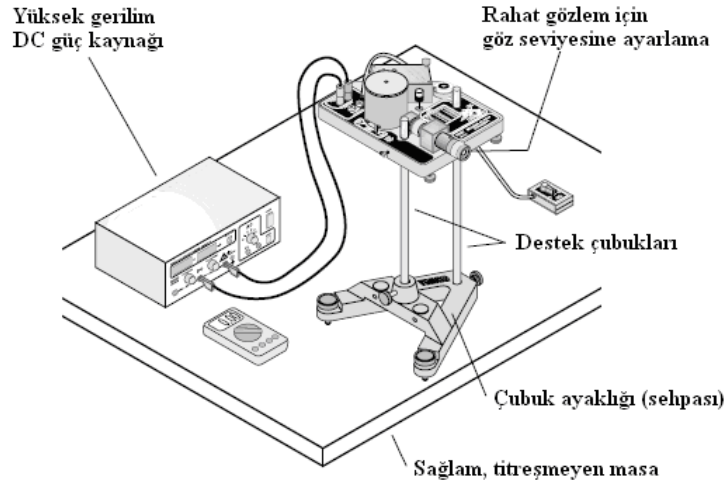
eşitliği ile verilir.

Tablo 6.1. Denklemlerde kullanılan fiziksel semboller ve ifade ettikleri nicelikler

Sembol	İfade ettiği nicelik	Birimi (SI) ve değeri
d	Kondansatör levhaları arasındaki mesafe	$7,62 \times 10^{-3} \text{ m}$
ρ	Yağın yoğunluğu	886 kg/m^3
g	Yerçekimi ivmesi	$9,81 \text{ m/s}^2$
η	Kuru havanın viskozitesi	$1,841 \times 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$ (22°C’de)
b	Sabit bir sayı	$8,22 \times 10^{-3} \text{ Pa.m}$
P	Barometrik basınç	$101,3 \times 10^3 \text{ Pa}$

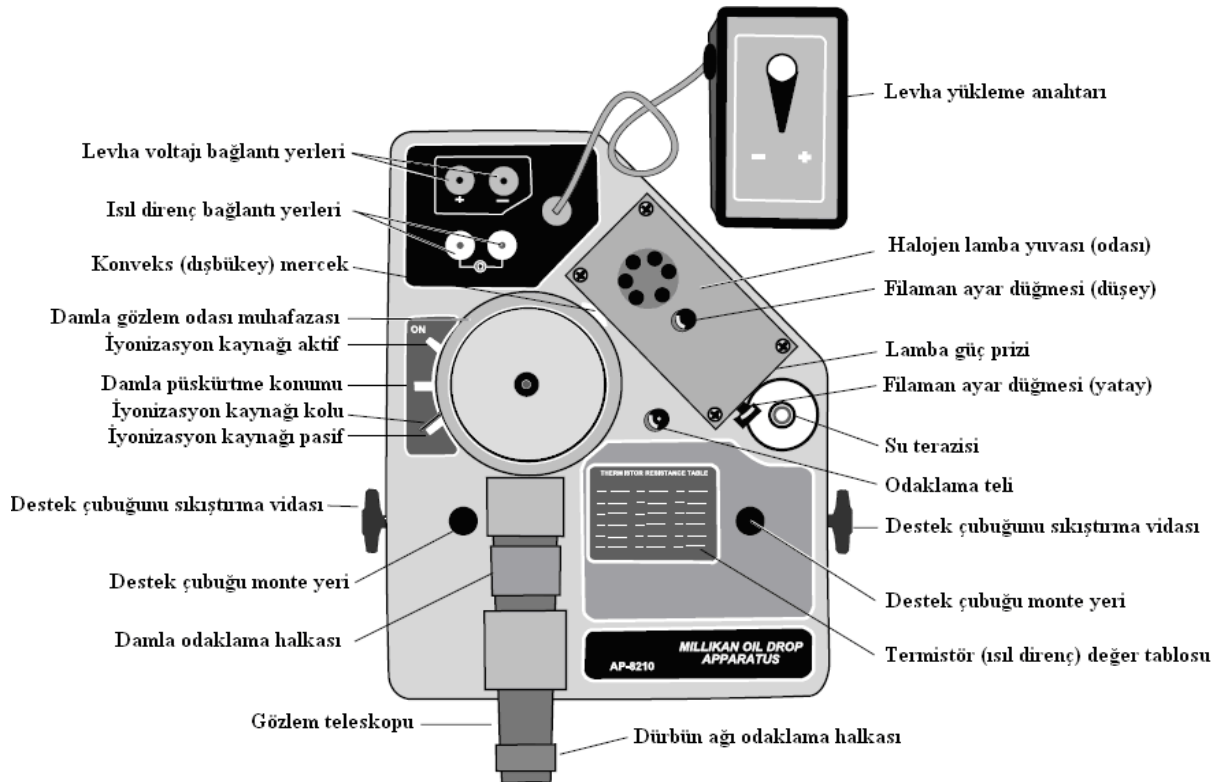
6.3. Deneyin Yapılışı:

Deneyi yapmak için Şekil 6.2’deki düzeneği kurarak aşağıdaki adımları sırasıyla uygulayın.



Şekil 6.2. Deney düzeneği

1. Gözlem teleskopunun odaklanma ve ışık ayarlarının yapıldığından emin olun.
2. Levha yükleme düğmesinin “Plates Grounded” konumunda bulunduğundan emin olduktan sonra, yüksek gerilim kaynağını açarak 200V’a ayarlayın. **Yüksek gerilim kaynağı açıldıktan sonra kesinlikle damla gözlem odasına dokunmayın.**
3. Gözlem odası sıcaklığını belirlemek için direnç değerini kaydederek platform üzerindeki tablodan bu direnç değerine karşılık gelen sıcaklık değerini not edin.
4. Levha yükleme anahtarının “Plates Grounded”, iyonizasyon kaynağını ise “Spray Droplet Position” konumuna getirin.
5. Damla gözlem odasının kapağı üzerindeki deliğe püskürtücünün uç kısmını aşağıya doğru dik olacak şekilde yerleştirin ve gözlem teleskobundan bakarak, damla gözlem odasına düşen yağ damlalarını görünceye kadar püskürtücüyü sıkın.
6. Gözlem teleskopuyla az sayıda (10-20 tane) damla gördüğünüzde, iyonizasyon kaynağını “OFF” konumuna getirin.



Şekil 6.3. Yağ damlası gözlem odası platformu

7. Levha yükleme düğmesi “Plates Grounded” konumundayken, görünürdeki damlalardan yavaşça düşen ve voltaj uygulandığında yukarı doğru hareket edebilen bir damla seçin.
8. Levhalar yüksüzken, seçilen yağ damlasının limit hızına ulaşmasından sonra 0,5mm aralıklı iki dürbün ağı çizgisi arasındaki düşme zamanını iki defa (t_d) kronometre ile ölçün.
9. $v_d = x/t_d$ bağıntısından yağ damlasının düşme hızını hesaplayınız.
10. Yüksek gerilim kaynağı ile levhalara 200V'luk gerilim uygulayarak, aynı yağ damlasının limit hızına ulaşmasından sonra 0,5mm aralıklı iki dürbün ağı çizgisi arasındaki yükselme zamanını en az iki defa (t_y) kronometre ile ölçün ve Tablo 6.2'ye yazın.
11. Gerilim değerini sırasıyla 300, 400, 500V yaparak **aynı yağ damlası için** 0,5mm aralıklı iki dürbün ağı çizgisi arasındaki düşme ve yükselme zamanlarını ölçün.
12. $v_y = x/t_y$ bağıntısından yağ damlasının yükselme hızını hesaplayınız.
13. $E = V/d$ bağıntısından elektrik alanının şiddetini hesaplayınız.
14. $v_y = f(E)$ grafiğini çizerek doğrunun eğiminden s değerini hesaplayınız.
15. Bulduğunuz eğim (s) değerini denklem (6.8)'de yerine yazarak yağ damlasının yükünün değerini hesaplayınız.

Tablo 6.2. Deney sonucunda elde edilen değerler.

V (Volt)	t_y (sn)	Ort t_y (sn)	v_y (m/sn)	E (V/m)	t_d (sn)	Ort t_d (sn)
200						
300						
400						
500						

7. Deney: Franck-Hertz Deneyi

7.1. Deneyin Amacı: Bohr atom modelini incelemek. Cıva atomlarının sahip olduğu uyarılma enerjilerini belirlemek.

7.2. Teorik Bilgiler

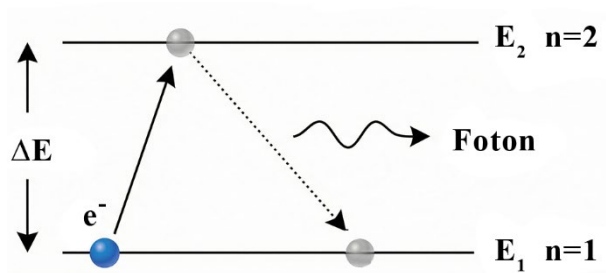
Max Planck'ın ortaya koymuş olduğu kuantum kuramından yola çıkarak, Niels Bohr yeni bir atom modeli ortaya koydu. Bohr'un atom modeli 3 temel varsayıma dayanmaktadır. Bunlara Bohr postulatları denir.

1. Bir atomdaki elektronların sahip oldukları açısal momentum değerleri belirli değerlere sahiptirler.

$$L = mvr = n\hbar \quad (7.1)$$

2. Elektronlar kararlı enerji seviyelerinde dairesel yörüngelerde (orbitaler) hareket ederler. Hareket ettikleri bu yörüngelere enerji düzeyleri denir. Ve elektronlar bu yörüngelerde belli enerji değerlerine sahiptirler.

3. Atom dışarıdan bir enerji aldığında en dış yörüngedeki elektron bir üst yörüngeye (enerji seviyesine) geçer. Bu duruma atomun uyarılması denilir. Uyarılan atomun en dış yörüngesindeki elektron bir üst enerji seviyesine geçer, geri kararlı haline dönerken dışarıdan aldığı enerjiyi ortama foton salar (Şekil 7.1)

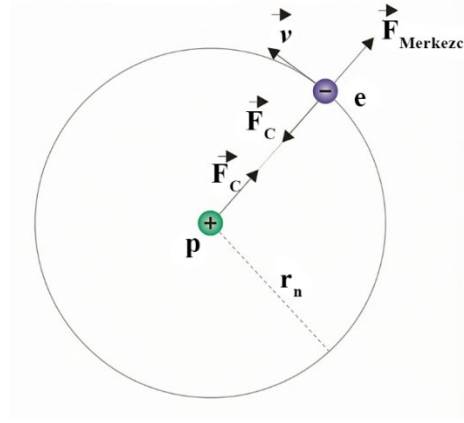


Şekil 7.1. Uyarılan elektronun hareketi (Hidrojen atomu için çizilmiştir).

$$\Delta E = h\nu = E_2 - E_1 \quad (7.2)$$

$$\lambda = \frac{hc}{E_2 - E_1} \quad (7.3)$$

Burada λ yayılan fotonun dalga boyu ve ν ise yayılan fotonun frekansıdır. Bohr'un ortaya atmış olduğu atom modelinde elektronların dairesel bir yörüngede hareket etmelerini sağlayan iki kuvvet mevcuttur. Bu kuvvetler; elektronun dairesel hareketinden dolayı kaynaklanan merkezci kuvveti ve zıt yüklü olan proton ile elektronun arasındaki Coulomb kuvvetidir (Şekil 7.2).



Şekil 7.2. Dairesel yörüngede hareket eden elektrona etki eden kuvvetler.

$$F_c = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r_n^2} \quad (7.4)$$

$$F_{\text{merkezcil}} = \frac{mv^2}{r_n} \quad (7.5)$$

Bu iki kuvvetin birbirini dengelemesi nedeniyle, elektronun kinetik enerjisi söz konusu kuvvetlerin eşitliği esas alınarak hesaplanabilir:

$$\frac{mv^2}{r_n} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r_n^2} \Rightarrow mv^2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r_n} \quad (7.6)$$

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{8\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r_n} \quad (7.7)$$

Bu kinetik enerji ifadesine ek olarak Coulomb kuvvetinden dolayı elektronun sahip olduğu potansiyel enerji ise ;

$$U = \int F dr_n \quad (7.8)$$

Bu denklemden elektronun sahip olduğu potansiyel enerji

$$U = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r_n} \quad (7.9)$$

Elektronun sahip olduğu toplam enerji değeri potansiyel (U) ve kinetik enerjileri (E_k) toplamına eşit olduğundan,

$$E_n = -\frac{1}{8\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r_n} \quad (7.10)$$

Bu eksi işareti, elektronun çekirdek ile bağlı olduğunu ve serbest bir elektron olmadığını göstermesi açısından fizikte büyük öneme sahiptir. Elektronun çekirdekten ayrılması için dışarıdan enerji uygulanması gerekmektedir. Denklem 7.1’de verilen açısal momentum denklemi kullanılarak elektronun herhangi bir yörüngede sahip olduğu yarıçap bulunabilir.

Elektronun sahip olduğu De Broglie dalga boyu

$$\lambda = \frac{h}{mv} \quad (7.11)$$

şeklinde ifade edilir. Elde ettiğimiz (7.1.), (7.4.) ve (7.5.) denklemlerinden elektronun herhangi bir yörüngedeki yarıçapını

$$r_n = \frac{n^2 h^2 \epsilon_0}{m \pi Z e^2} \quad (7.12)$$

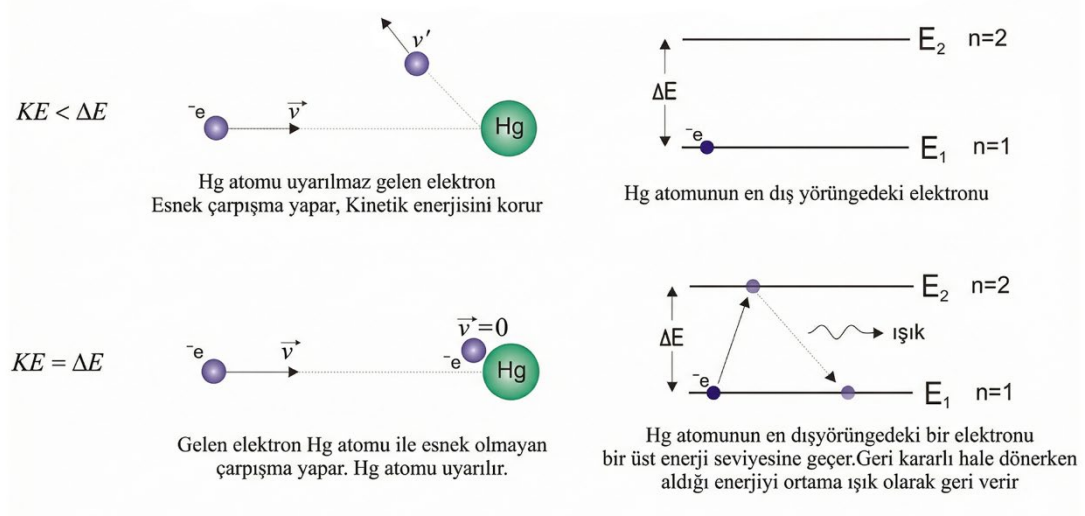
buluruz. Buradan elektronun herhangi bir yörüngedeki enerji değeri,

$$E_n = \frac{m Z^2 e^4}{8 n^2 h^2 \epsilon_0^2} \quad (7.13)$$

olarak bulunur. Bohr modeline göre hidrojen atomunun enerji seviyelerini hesaplamak istediğimizde sabitleri yerlerine koyacak olursak;

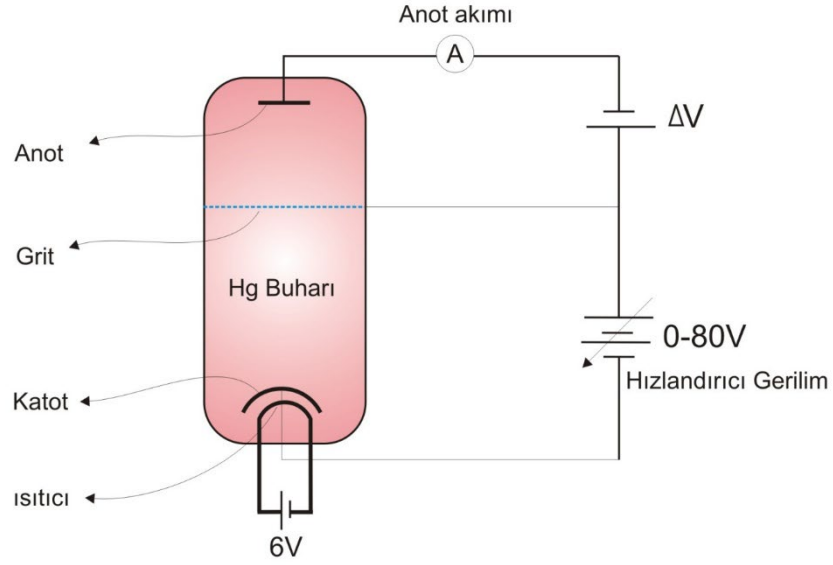
$$E_n = \frac{13,6\text{eV}}{n^2} \quad (7.14)$$

enerji değerlerini bulmuş oluruz. Bohr atom modelinde, atomun enerji ve açısal momentum değerlerinin belirli değerlere sahip olduğunu göstermiştir. Bohr'un bu öngörülerini doğrulamak amacıyla James Franck ve Gustav Hertz bir deney tasarladılar. Bu deneyde belirli potansiyel farkı uygulanarak hızlandırılmış elektronların cıva atomları ile esnek olmayan çarpışma yapılması sağlanır.



Şekil 7.3. Hızlandırılmış olan elektronun cıva atomuyla çarpışma şekilleri.

Cıva atomu ile dolu olan Franck-Hertz tüpü Şekil 7.4'te gösterildiği gibidir. Tüp yaklaşık olarak 150 °C'ye kadar ısıtılarak cıvanın buharlaşması sağlanır. Katot yaklaşık 6V'luk bir gerilim ile beslenir. Isınan katot yüzeyinden elektronlar sökülür ve katot etrafında yükün birikmesi sağlanır. Sökülen elektronlar serbest elektronlardır. Bu elektronlar tüpün içindeki cıva atomları ile çarpışacak olan elektronlardır.



Şekil 7.4. Franck-Hertz tüpünün basit şeması.

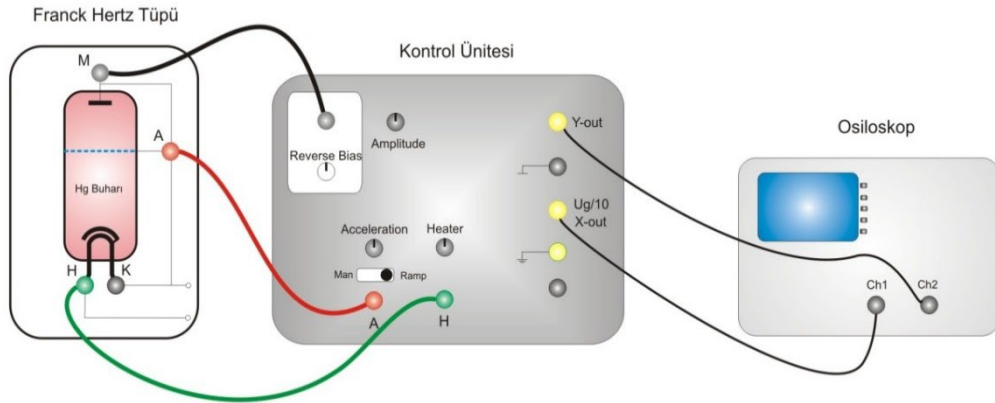
Grit ile katot arasına hızlandırma gerilimi uygulanır. Bu gerilim ısıtıcı yardımıyla katottan kopan ve serbest kalan elektronların hızlandırılarak bir kinetik enerji kazanmasını sağlar. Hızlanan elektronlar tüp içindeki cıva buharı ile esnek ve esnek olmayan çarpışma yaparlar. Grit ile anot arasına uygulanan gerilim ise belirli bir enerji değerinin altındaki elektronların anoda ulaşmamasını sağlar ve böylece daha düzgün bir ölçüm yapılabilir. Anoda ulaşan elektronlar anotta bir akımın oluşmasına sebep olur.

Katottan koparılan elektron hızlandırıldıktan sonra tüp içerisindeki cıva atomlarıyla esnek ve esnek olmayan çarpışmalar yaparlar. Esnek olmayan çarpışma sırasında elektron enerjisinin belirli bir kısmını cıva atomuna aktarır. Bu durumda anoda ulaşan elektron sayısı azalır bu da anot akımının ani olarak azalmasına sebep olur.

Cıva atomunun birinci uyarılmış seviyeye geçebilmesi için $4,89\text{eV}$ 'luk enerji alması gerekir. Bu enerji değerinin altındaki elektronlar cıva atomlarıyla esnek çarpışma yaparlar. Bu enerji değerinin üzerindeki elektronlar ise esnek olmayan çarpışmalar yaparlar ve kendi enerjilerinin $4,89\text{eV}$ 'luk kısmını kaybederek hareketlerine devam ederler. Yalnız bir atomun sadece tek bir çarpışma yapması gerekmez. Yeterli enerjiye sahip bir elektron bir cıva atomunu uyardıktan sonra başka bir cıva atomunu da uyandırabilir. Çünkü hızlandırma gerilimi arttırıldıkça çarpışmaların yeri katoda doğru kayar ve elektron çarpışmadan sonra tekrar hızlandırılır. Bu şekilde ikinci, üçüncü çarpışmalar tüp içerisinde gerçekleşebilir.

7.3. Deneyin Yapılışı:

1. Şekil 7.5’teki devreyi kurun. Fırının sıcaklığını istenilen sıcaklığa getiriniz (150 °C) ve 20 dakika ısınmasını bekleyin.
2. Kontrol ünitesini açmadan önce “ısıtıcı”, “hızlandırıcı” ve genliği en sola getirin. “Reverse Bias” düğmesini merkez pozisyonuna getirin.
3. Kontrol ünitesini çalıştırın.
4. “Man Ramp/60 Hz” butonunu “Ramp” tuşuna getirin.
5. Tüp istenilen sıcaklığa geldikten sonra osiloskobu çalıştırın.
6. Osiloskop üzerindeki horizontal bölümündeki menü tuşuna basın. Ekranın sağ yanında çıkan menü içeriğindeki “Time Base” bölümünden “X-Y” seçeneğini seçin.
7. Kontrol ünitesinin üzerindeki ısıtıcı gerilimini 8V’a, hızlandırma gerilimini 60V’a ve Reverse Bias butonunu da 4V değerine ayarlayın.



Şekil 7.5. Franck-Hertz deney düzeneği.

8. Kontrol ünitesindeki “amplitude” düğmesini kullanarak osiloskop ekranında maksimum sayıda pik elde edin. Bu düğme ekrandaki piklerin genliklerini değiştirmektedir.

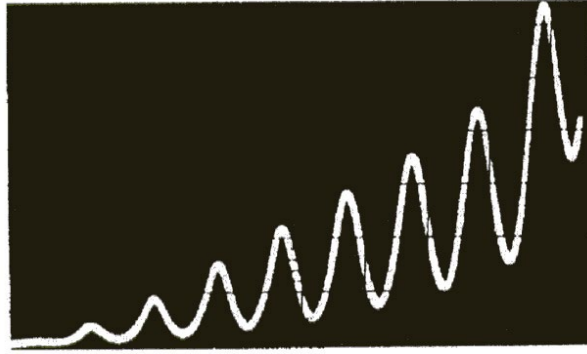
NOT: Osiloskop ekranındaki grafiği sağa-sola hareket ettirmek ve yatay eksenin çarpanını değiştirmek için önce CH1 butonuna basın. Hareket ettirmek ve çarpanı değiştirmek için “vertical” eksen bölümündeki hareket ettiricisini ve çarpanı değiştirme düğmesini kullanın. Grafiği yukarı-aşağı hareket ettirmek ve dikey eksenin çarpanını değiştirmek için ise önce CH2 butonuna basın ve yine vertical eksen hareket ettiricisini

ve çarpan değıştiricisini kullanın.

9. Osiloskop ekranındaki her bir karenin yatayda ve dikeyde kaç volta karşılık geldiğı ekranın sol en alt kısmında görölmektedir.

10. Osiloskop ekranında gözlenmesi gereken grafik Şekil 7.6'daki gibidir.

11. Maksimum sayıda pik gözlendikten sonra osiloskop üzerindeki “utility” tuşuna basın. Ekranda beliren menüden “record” menüsüne girin. Bu menüde en altta çıkan “operate” tuşuna basın ve 1 dakika bekleyin.



Şekil 7.6. Osiloskop ekranında gözlenmesi gereken grafik.

12. Kaydedilen grafiğı gözlemek için osiloskop üzerindeki “run” düğmesine basarak grafiğı ekrana getirin. Ekranda oluşan minimumlar cıva atomlarının uyarıldığı durumlardır. Bu minimumlar arasındaki gerilim değeri ise cıva atomunun 1.uyarılmış seviyeye geçebilmesi için gereken enerji değeridir.

13. Pikler arasındaki gerilim değeri bir yere not edin. Bu okuma işlemini yaparken kontrol ünitesinin x-out bölümünün U/10 V şeklinde olduğuna dikkat ediniz. Yani okunan değeri uygulanan gerçek hızlandırma geriliminin 10'da biri büyüklüktedir.

14. Okunan gerilim değeri ortalamasını alarak kuramsal değeri ile karşılaştırın ve hata hesabını yapın.

Tablo 7.1. Deney sonucunda elde edilen sonuçlar.

	Osiloskop ekranında okunan gerilim (V)	Gerçek gerilim (V)
1. - 2. pikler arası		
2. - 3. pikler arası		
3. - 4. pikler arası		
4. - 5. pikler arası		

8. Deney: Atom Spektrumları

8.1. Deneyin Amacı: Atom spektrumlarının enerji düzeyleri ile ilişkisini inceleyerek, spektrum çizgilerinin dalga boyunu ve prizmanın kırma indisini belirlemek.

8.2. Teorik Bilgiler:

Belirli bir sıcaklıktaki tüm cisimler, dalga boylarının sürekli bir dağılımıyla karakterize edilen termik ışınım yayınlarlar. Dağılımın şekli sıcaklığa ve cismin özelliklerine bağlıdır. Işık, ışık spektrumunu çeşitli renklere ayıran bir prizmadan geçirilerek analiz edilirse, spektrumda yalnızca belirli renkte çizgiler görünmektedir.

Atom spektrumları arasında en geniş şekilde incelenmiş olan hidrojeninkidir. Bir hidrojen lambasından yayılan ışık kırmızı-mor renkte görünür. Hidrojen molekülü, görünür ışık yaymaz. Hidrojen lambalarında düşük basınçta, elektrik boşalımı yapılarak oluşturulan hidrojen atomları (uyarılmış hidrojen atomları) ışık yayar. Bu ışığın bir bileşeni kırmızı ışıktır. Bundan başka hidrojen atomunun görünür spektrumunda yeşilimsi mavi ve menekşe renkte çizgiler görünür.

Bir ışık demeti dar bir yarıktan (ışığın dalga boyunun birkaç katı genişlikte) ya da keskin kenarlı (jilet gibi) bir engelden geçmeye zorlandığında dalgalara has olan girişim ve kırınım özelliklerini gösterir. Dalgalardaki kırınım ve girişim farklı dalgaların aynı anda aynı noktada üst üste gelerek birbirini güçlendirmesi veya zayıflatmasının bir sonucudur.

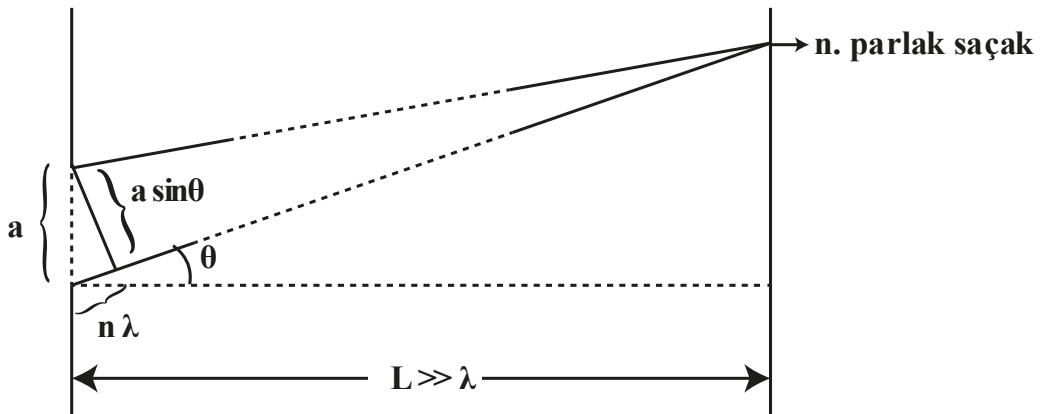
Işığın kırınımında kullanılan kırınım ağı, ışığı geçirmeyen düzlemsel bir madde üzerinde, ışığın geçebileceği ve birbirine çok yakın yarıklar oluşturularak üretilebilir. Bunun sonucunda elde edilen kırınım deseni ışığın farklı dalga boylarının incelenmesi için çok yararlı bir olay olarak kullanılabilir. Tek bir dalga boyu ile yayılan bir ışık demetinin kırınım ağından geçirilmesi ile oluşan kırınım deseni üzerinde merkezi bir maksimum (merkezi aydınlık saçak) gözlemlenir. Merkezi maksimumun her iki yanındaki ilk maksimumlar birinci parlak saçaklar, ikinci maksimumlar ikinci parlak saçaklar şeklinde adlandırılırlar. Merkezi maksimumun dışındaki parlak saçaklar kırınım ağının komşu yarıklardan gelen ışık demetlerinin birbirini güçlendirecek biçimde üst üste gelmesi ile oluşur. Birinci mertbe maksimumunda ardışık ışık demetleri arasındaki yol

farkı bir tam dalga boyuna eşittir. Yol farkı iki tam dalga boyu olduğunda ikinci maksimum oluşur ve tüm maksimumların oluşumu benzer şekilde ifade edilir. Kullanılan tek renkli ışığın dalga boyu değiştiğinde maksimumların merkezi maksimumla yaptıkları açılar değişir. Örneğin, daha uzun dalga boyuna sahip ışık kullanılırsa maksimumların merkezi aydınlık saçakla yaptıkları açı büyür. Tek renkli değil de çok renkli ışıklardan oluşan bir ışık demeti kullanılarak kırınım deseni incelenirse ışığı oluşturan renklerin dalga boylarına göre farklı açılarda maksimumlara sahip oldukları gözlenir. Kırınım olayı ile ışığın renklerine ayrıştırılması bir prizma kullanılarak renklere ayrıştırılmadan farklı bir desen oluşturur. Prizma kullanılarak oluşan renkler birbirine karışmış bir biçimde sürekli bir desen oluştururken kırınım desenindeki renkler birbirinden kesin çizgilerle ayrılmış biçimde gözlenirler.

Kırınım ağında oluşan renklerin dalga boyları kırınım açısı ve kırınım ağı sabitine (veya yarık aralığına) bağlı olarak aşağıdaki Bragg yasası olarak da bilinen kırınım koşulunu temsil eden

$$n \cdot \lambda = a \cdot \sin \theta \quad (8.1)$$

denklemini ifade edilir. Bu eşitlikte n , kırınım maksimumunun mertebesini ifade eden bir tam sayı; λ , ışığın dalga boyu; a , kırınım ağı sabiti (yarık aralığı); θ ise kırınım açısıdır.



Şekil 8.1. Tek yarıқта kırınım.

Planck'ın elektromanyetik ışıma yasasına göre, ısıtılan bir cisimden yayılan elektromanyetik ışımının enerjisi, evrensel bir sabit olan Planck sabiti ile elektromanyetik ışımının frekansının çarpımının bir tam sayı katına eşittir ve

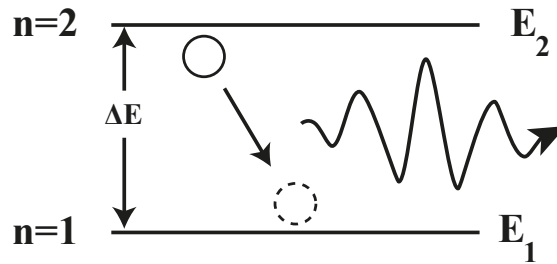
$$E = nh\nu \quad (8.2)$$

bağıntısı verilir. Eşitlikte, E, elektromanyetik ışımanın enerjisi; n, 1,2, 3... tamsayı sayı değerlerini alabilen sıra parametresi; h, Planck sabiti ve ν elektromanyetik ışımanın frekansıdır. Elektromanyetik ışımanın hızı ışık hızına eşit olduğundan $c = \lambda \nu$ eşitliği kullanılarak (8.2) ifadesi,

$$E = n \frac{hc}{\lambda} \quad (8.3)$$

şeklinde yazılabilir.

Atom yapısının spektrumlarla ilişkisindeki temel düşünce atomlarda belirli ve kesikli enerji düzeylerinin varlığıdır. Şekil 8.2’de gösterildiği gibi, E_2 enerjisine sahip bir enerji seviyesinde bulunan bir elektron daha düşük enerjili (E_1) bir enerji seviyesine geçtiğinde, $\Delta E = E_2 - E_1$ enerjili bir foton yayınımlı gerçekleşir.



Şekil 8.2. Foton yayımlanması.

Hidrojen atomu, atomların en basitidir. Bu nedenle H spektrumunun sade olması beklenen bir durumdur. Kuantum mekaniğinde, MKS birim sisteminde H atomunun E_n enerji düzeyleri;

$$E_n = \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \right)^2 \frac{m_e}{2\pi(h/2\pi)^2} \quad (8.4)$$

formülü ile verilmektedir. Burada e, elektronun yükünü; ϵ_0 , boşluğun geçirgenliğini ve n baş kuantum sayısı denenen pozitif bir tam sayıyı gösterir.

Proton sonsuz kütleli olsaydı, denklem (8.4)’deki kütlesi sadece elektronun kütlesi olacaktı. Proton kütlesinin sonlu oluşu, denklem (8.4)’deki deneme sistemin indirgenmiş

kütlesini ($M = m_1 \cdot m_2 / (m_1 + m_2)$) almamızı gerektirir. Bu durumda H atomunun herhangi iki düzeyi arasındaki olabilecek bir geçişte, bu spektrum çizgilerinin dalga boyları,

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{E_2 - E_1}{hc} = \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \right)^2 \frac{M}{4\pi \left(\frac{h}{2\pi} \right)^3} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (8.5)$$

elde edilir. Burada n_1 ve n_2 ile ilk ve son durumların baş kuantum sayılarıdır. Denklem (8.5) ve parantez dışında kalan terimlerin tümüne Rydberg sabiti denir. Ölçülen değeri

$$R = \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \right)^2 \frac{M}{4\pi \left(\frac{h}{2\pi} \right)^3 c} = 1,097373157 \times 10^7 \text{ m}^{-1} \quad (8.6)$$

eşitliği ile verilirken; hidrojen spektrumunun dalga boyları Balmer formülü olarak bilinen,

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (8.7)$$

bağıntısı ile ifade edilir.

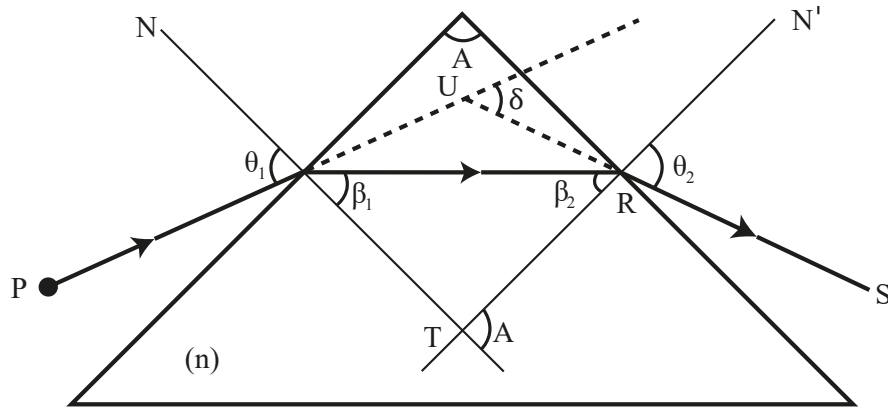
Hidrojen atomundaki farklı n kuantum sayıları ile ifade edilen kuantumlu enerji seviyeleri arasında geçiş yapan bir elektron Bohr modeline göre bu kuantumlu enerji seviyeleri arasındaki enerji farkına eşit enerjiye sahip bir foton yayar. En düşük enerji seviyesine atomun taban enerjisi, daha yüksek enerjiye sahip enerji seviyesine ise uyarılmış durum adı verilir. n kuantum sayısı yükseldikçe, bu değere karşılık gelen E_n enerjisi 0'a yaklaşır. $n \rightarrow \infty$ limitinde, $E_\infty \rightarrow 0$ olur ve elektron artık çekirdeğe bağlı değildir. Elektronu taban durumundaki bir atomdan ayırmak için gerekli enerjiye iyonlaşma enerjisi adı verilir ve

$$h\nu = \frac{2\pi^2 m_e e^4}{h^2} \left[\frac{1}{n_{\text{son}}^2} - \frac{1}{n_{\text{ilk}}^2} \right] = -13,6 \left[\frac{1}{n_{\text{son}}^2} - \frac{1}{n_{\text{ilk}}^2} \right] \quad (8.8)$$

eşitliği ile ifade edilir.

Prizma iki düzlem yüzeyin oluşturduğu bir tepe açısı ile sınırlanmış bir ortamdır.

Belirli renkte bir ışık demeti kırılma indisinin değişik olduğu bir yüzeyden geçtiğinde kırılır. Kırılma büyüklüğü demetin geldiği ortam içindeki kırılma indisinin, demetin geçtiği ortam içindeki ortamın kırılma indisine oranı olan n_1/n_2 ile orantılıdır. Kırılma, geliş açısına bağlıdır. Geliş açısı gelen ışık demetinin yüzeyin normali ile yaptığı açı olarak tanımlanır. Beyaz ışık prizmadan geçirildiğinde, kırılmaya uğrayarak kendini oluşturan renklere ayrılır. Beyaz ışık bir gazdan geçirildiğinde, gazın yayımlama spektrumunda bulunan belirli dalga boylarındaki ışığın soğrulduğu gözlenir. Sonuçta ortaya çıkan soğurma çizgi spektrumu, aydınlık bir fon üzerinde, kayıp dalga boylarına karşılık gelen karanlık çizgilerden oluşur. Yayımlama spektrumunda ise, karanlık bir fon üstünde parlak çizgiler bulunur. Ayrıca gelen ışık iki yüzeyde kırılmaya uğrayarak son yüzeyde gelen ışığın doğrultusu ile δ sapma açısı yaparak çıkacaktır.



Şekil 8.3. Işığın prizmadan kırılması.

Tepe açısı A olan bir prizmada, $\delta_{\min}$ minimum sapma açısı olmak üzere, prizmanın kırma indisi (n)

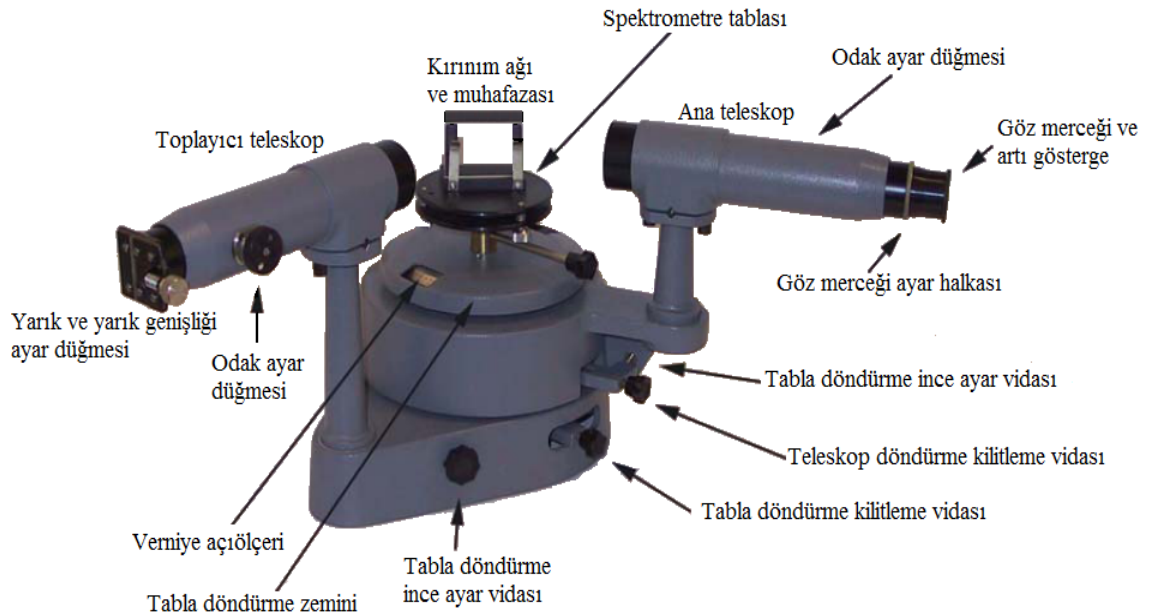
$$n = \frac{\sin\left(\frac{\delta_{\min} + A}{2}\right)}{\sin\frac{A}{2}} \quad (8.9)$$

ifadesi ile verilir.

8.3. Deneyin Yapılışı:

Kırınım Deseni

1. Deneyin ilk kısmında Şekil 8.4'teki deney düzeneğini kurun. Burada kullanılan kırınım ağındaki yarıklar arası mesafeyi $a = 1,67 \times 10^{-4} \text{ cm}$ alın.
2. Yük boşaltım lambasının içerisine kadmiyum gazı bulunan cam tüpü takın.
3. Güç kaynağının fişini elektrik prizine takarak, kadmiyum dolu cam tüpün içindeki elektrotlar arasında yaklaşık 5000V'luk elektriksel potansiyel farkın oluşturulmasını sağlayın.



Şekil 8.4. Kırınım ağı spektrometre deney düzeneği.

4. Toplayıcı ile yarıklar aralığı ayarlayın.
5. Toplayıcı ve ana teleskoplarda görüntü netliği ayarını yapın.
6. Tabla üzerine kırınım ağı yerleştirilmeden önce her iki teleskobu birbirine paralel konuma getirin.
7. Gelen ışın demetini ana teleskop içerisindeki + işaretine odaklayın.
8. Verniyeli açıölçerde alt ve üst kısımlardaki 0 (sıfır) değerlerini karşılaştırın.
9. Kırınım ağını, üzerine gelen ışınlarla dik olacak şekilde tabla üzerine yerleştirin. Bunun kontrolü şu şekilde yapılır: İlk önce ana teleskop ile sağa veya sola doğru ilerlenerek ilk keskin piki veren rengin kırılma açısı tespit edilir. Daha sonra seçilen yöne ters yönde ilerlenerek yine aynı renge ait kırılma açısı ölçülür. Bulunan iki açının toplamı 360° ise

kırınım ağı düzgün yerleştirilmiştir. Aksi halde kırınım ağının konumu $\theta_{\text{sağ}} + \theta_{\text{sol}} = 360^\circ$ değerini buluncaya kadar tekrar ayarlanır.

10. Ana teleskop ile sağa veya sola doğru ilerleyerek gözlenen tüm renkler için kırılma açılarını verniyeli açıölçer ile tespit edin. Elde edilen bu değerler denklem (8.1)'de yerine yazarak, her bir renk için karakteristik dalga boylarını hesaplayın.

11. Bulunan bu sonuçları beklenen değerler ile karşılaştırın.

12. Aynı işlemleri cıva ve sodyum tüpleri için tekrarlayın.

Minimum Sapma Açısı

1. Hg, Cd, Na lambalarından birini ışık kaynağı olarak alın.

2. Prizmayı ve teleskopu ayarlayarak bir dizi spektrumu gözleyin.

3. Sonra verniye tablasını ve prizmayı birlikte bir yönde devamlı olarak hareket ettirin. Çizgi spektrumu belirli bir noktaya kadar gelir sonra ters yönde hareket etmeye başlar, işte bu kritik nokta minimum sapma konumudur. Her bir çizgi için değişik sapma açıları vardır. Bu sapma açıları bulun.

4. Aynı işlemleri diğer lambalar için tekrarlayın.

5. Açıları belirledikten sonra denklem (8.9)'da yerine yazarak prizmanın kırılma indisini hesaplayınız.