



FİZ 301 FİZİK LAB. V

KUANTUM FİZİĞİ LABORATUARI

Prof. Dr. Süheyla ÖZBEY

Prof. Dr. Mustafa POLAT

2016-2017 Güz Dönemi



Kuantum Fiziğinin Gelişimindeki Bazı Fiziksel Olaylar ve Bölümümüz Laboratuvarındaki Uygulamaları

Siyah Cisim Işınması: (1900, Max Planck)

Yüksek sıcaklıkta tutulan bir cismin yüzeyinden salınan ışık, enerjisi $E = h\nu$ bağıntısı ile verilen ışık kuantaları şeklindedir.

Fotoelektrik Olay: (1905, Albert Einstein)

Bir metal üzerine gönderilen elektromanyetik dalga etkisi ile sökülen fotoelektronların enerjisi, gönderilen EM dalganın frekansı ile doğru orantılıdır.

$$KE = h\nu - \phi$$

Bohr Atom Modeli: (1922, Niels Bohr)

Atomlardaki ayrık enerji düzeylerini ve bu düzeyler arasındaki spektral geçişleri (H atomu) açıklar.

Compton Saçılması: (1923, Arthur Holly Compton)

Kristal bir örgü üzerine gönderilen EM dalga, örgüye zayıf bağlı bir elektron ile çarpıştığında, enerjisinin bir kısmını örgü elektronuna aktarır ve farklı bir dalga boyu ile saçılır.

$$\lambda - \lambda_0 = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta)$$

Elektronlarla Kırınım: (1927, D. Germer, G.P. Thomson)

Durgun kütlesi sıfırdan farklı ve hareketli her cisme karşı gelen bir maddesel dalga vardır.

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

Heisenberg Belirsizlik İlkesi: (1927, Werner Heisenberg)

Gözlem ile gözlemci arasındaki etkileşmenin sonucunda, bir parçacığa karşı gelen uyumsuz işlemcilerin aynı anda, aynı duyarlılıkla ölçülemeyeceğini söyler.

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

Zeeman Olayı: (1902, Pieter Zeeman)

Elektron spininin varlığı ve manyetik alanla olan etkileşmesi hakkında bilgi verir.

Fiziğin temel değişmezlerinden olan elektronun yükü ve kütlesi hakkında bilgi veren deneyler:

- İnce Elektron Demeti Tüpü ile e/m Oranının Bulunması
- Katot Işınları Tüpü ile e/m Oranının Bulunması
- Millikan Deneyi

Kuantum Laboratuvarında Yapılacak Deneyler

MİLLİKAN YAĞ DAMLASI DENEYİ

- İNCE ELEKTRON DEMETİ TÜPÜ İLE ELEKTRONLARIN e/m ÖZGÜL YÜKLERİNİN BULUNMASI
- KATOT IŞINLARI TÜPÜ İLE ELEKTRONLARIN e/m ÖZGÜL YÜKLERİNİN BULUNMASI (BUSCH YÖNTEMİ)
- ATOM SPEKTRUMLARI
- CİVA ATOMUNDA KUANTUM GEÇİŞLERİNİN UYARILMASI (FRANCK-HERTZ DENEYİ)
- FOTOELEKTRİK OLAY ve ELEKTRONLARLA İYONLAŞMA
- TEK YARIKTA KIRINIM VE HEISENBERG BELİRSİZLİK İLKESİ
- ELEKTRONLARLA KIRINIM
- ZEEMAN OLAYI

Klasik Fizikte Bazı Değişmezler:

Işık Hızı: $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

Avagadro Sayısı: $N_o = 6.02 \times 10^{23}$

Evrensel Gaz Değişmezi: $PV = nRT$, $R = 8,314 \text{ J/K}$

Boltzmann Sabiti: $E = (3/2)kT$, $k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

Elektriksel Yükün Kütleyle Oranı: $e/m = 1,76 \times 10^{11} \text{ C/kg}$

Elektriksel Yük: $F = eN_o = 96500 \text{ C}$, $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$

$F = \text{Faraday Sabiti}$

Elektronun yükünü belirlemek için yapılan çalışmalar:

J. Dalton (1776-1844): Atom maddenin en küçük yapıtaşdır.

B. Franklin (1706-1790): Doğal elektriksel boşalma-şimşek.

19 yy: Katod Işınları Tüpü (KIT) ile yapılan çalışmalar (demetin negatif yüklü olduğu biliniyordu).

G.J. Stoney (1826-1911): KIT ile yapılan çalışmalarda gözlenen negatif etkiye “elektron” adını verdi.

J. J. Thomson (1856-1940): KIT ile e/m oranını buldu, 1906'da Nobel Fizik Ödülünü aldı.

C.T.R. Wilson(1869-1959): Sis Odasını geliştirdi, elektriksel alan kullandı. (Sis Odası, yüklü taneciklerin izlerini görünür hale getiren bir aygıttır.)

J.S.Townsend (1868-1957): Elektronun yükünü belirlemede su damlası kullandı. Düşen damlanın hızına dayalı bir ölçüm tekniği geliştirdi. Negatif iyonun yükünü % 10 hata ile buldu.

J.J. Thomson (1856-1940): Değişik yüklü iyonlar oluşturmak için X-ışını kaynağı kullandı. Sonuçlar yeterince hassas değildi, tekrarlanabilirliği azdı.

R.A.Millikan (1868-1953): Deneylerde mineral yağı kullandı. Bu damlacıkların kütleleri çok daha az değişiyordu. Bir bulutu değil, tek bir damlacığı gözlemleyebildi.

Millikan Yağ Damlası Deneyi :

Amerikan Fizikçi Robert Millikan 1923 yılında Nobel Fizik Ödülünü almaya hak kazandı.

Millikan, temel elektrik yükünün hesaplanabilmesi ve yükün kesikli olduğunun gösterilmesi açısından çok önemli bir yere sahiptir.

Klasik fizik yasaları kullanılarak Kuantum Fiziği' nin kapılarını aralamıştır.

Millikan çok sayıda yağ damlası üzerinde inceleme yaparak yağ damlalarının yüklerinin, $1,602 \times 10^{-19} C$ un daima tam katları olduğunu hesapladı (1906-1913).

Bu yükün, temel yük olduğu sonucuna varıldı. Böylece, temel yükün belirlenmesi yanında, elektrik yükünün kesikli yapıda olduğu da gösterildi.



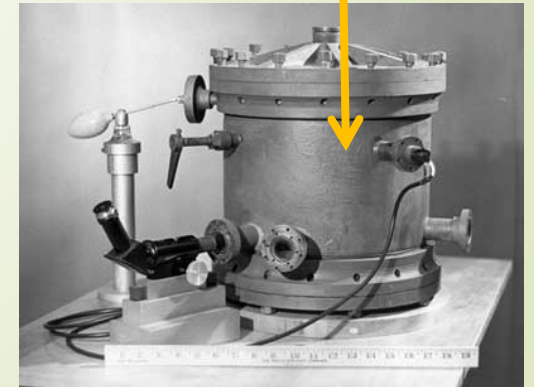
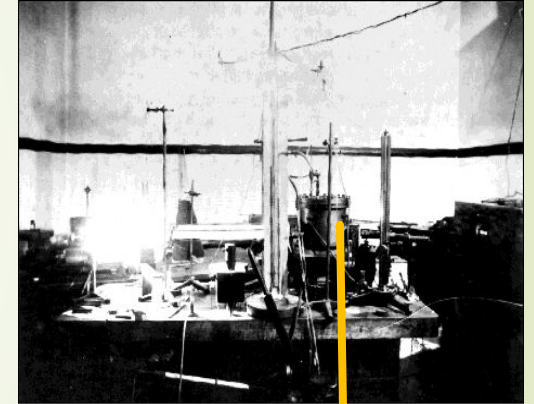
$$q = ne$$

Amaç:

- Yer çekiminin etkisinde ve düzgün bir elektrik alan içerisinde bulunan yüklü bir yağ damlasının hareketi incelenerek *elektronun yükünün ölçülmesi*
- Yağ damlalarının yüklerinin, elementer yük olan elektronun yükünün tam sayı katlarına eşit olduğunun, yani *yükün kuantumlu olduğunun gösterilmesi*

Millikan'ın orijinal yağ damlası düzeneği:

Püskürtülen elektrik yüklü yağ damlaları, ince bir delikten geçerek kondansatör levhaları arasındaki bölgeye girerler. Yağ damlaları püskürtülürken, deliğin çeperleri ve oda içindeki hava molekülleri ile çarpışırlar. Böylelikle yağ damlaları sürtünme ile elektriklenmiş olur. Yağ damlalarının bazıları pozitif, bazıları da negatif elektrik yükü ile yüklenir.



Akışkan içindeki damla düşmeye henüz başladığında hızı küçüktür. Damla aşağıya doğru ivmelenmeye başlar. Damlanın hızı arttıkça, viskozluk kuvvetinin büyüklüğü de artar. Aşağı doğru olan net kuvvet azalır. Sonunda hız sabitlenir. Bu sabit hız "*limit hız*" olarak isimlendirilir.

Elektrik alan yokken yerçekimi etkisiyle düşen damla, yerçekimi ve sürtünme kuvvetinin etkisi ile *limit hız* (v_0) ulaşır.

Elektrik alanın varlığında, yukarıya veya aşağıya doğru hareket eden damlaların ulaşacakları limit hızlar, sırasıyla, $v_{\text{yukarı}}$ ve $v_{\text{aşağı}}$ olacaktır.

Bir damlanın düşme ve yükselme zamanları ölçülerek damla üzerindeki yük belirlenebilir.

Deney Filmi:



Yağ damlasına etkiyen kuvvetler :

Yerçekimi kuvveti: Yağ damlasının kütlesi m , yarıçapı r alınırsa; $F_g = mg = \left(\frac{4}{3} \pi r^3 \rho_{yağ} \right) g$

Stokes Kuvveti: Akışkan içinde küçük ve sabit v_0 hızı ile hareket eden r yarıçaplı kürenin karşılaştığı dirençtir. η akışkanın viskozitesi olmak üzere,

$$F_{Stokes} = 6\pi r \eta v_0 = b v_0$$

Kaldırma Kuvveti: Akışkan içinde hareket eden sistemlere, akışkan tarafından yukarıya doğru uygulanan kuvvettir. Cismin batan kısmının hacmine, akışkanın yoğunluğuna bağlıdır ve aşağıdaki ifadeye sahiptir.

$$F_{Kaldırma} = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_{akışkan} g$$

Elektriksel alan yokken yağ damlasının düşmesi :

Limit hızdaki bir yağ damlası ivmelenmez. Böylece ona uygulanan toplam kuvvet sıfır olmalıdır.

$$F_{net} = mg - F_{Stokes} - F_{Kaldırma} = 0$$

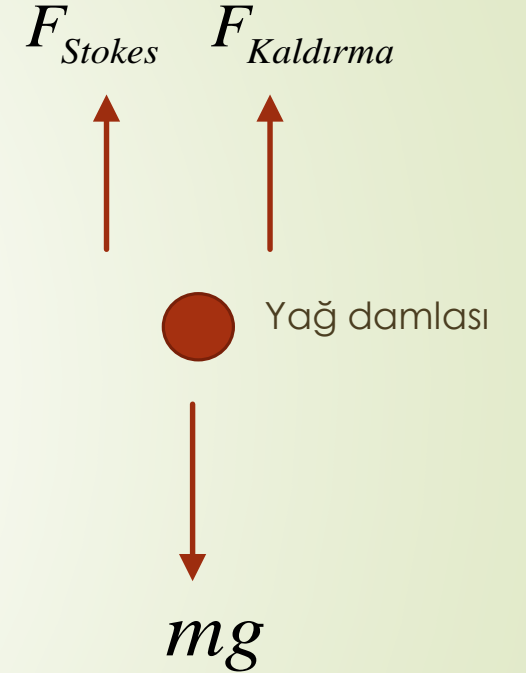
$$F_{Stokes} = 6\pi r\eta v_0 = bv_0$$

$$F_{Kaldırma} = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_{hava} g$$

$$mg = \left(\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_{yağ} \right) g$$

$$\frac{4}{3}\pi r^3 (\rho_{yağ} - \rho_{hava}) g = 6\pi r\eta v_0$$

$$r = \sqrt{\frac{9\eta v_0}{2(\rho_{yağ} - \rho_{hava}) g}}$$



Not: Damlanın düşme hızı 0.1 cm/s'den küçük olduğunda doğruluğunu yitirir. Deneyde damlanın düşme hızı 0.1-0.001 cm/s olduğundan düzeltme yapılır.

Sabit elektriksel alanda yağ damlasının yükselişi :

Yukarı doğru limit hıza ulaşıldığında $F_{net} = 0$ olur.

$$F_{net} = F_E + F_{Kaldırma} - mg - F_{Stokes} = 0$$

$$F_E = qE = q \frac{V}{d} \quad \rightarrow \quad q \frac{V}{d} = (mg - F_{Kaldırma}) + F_{Stokes}$$

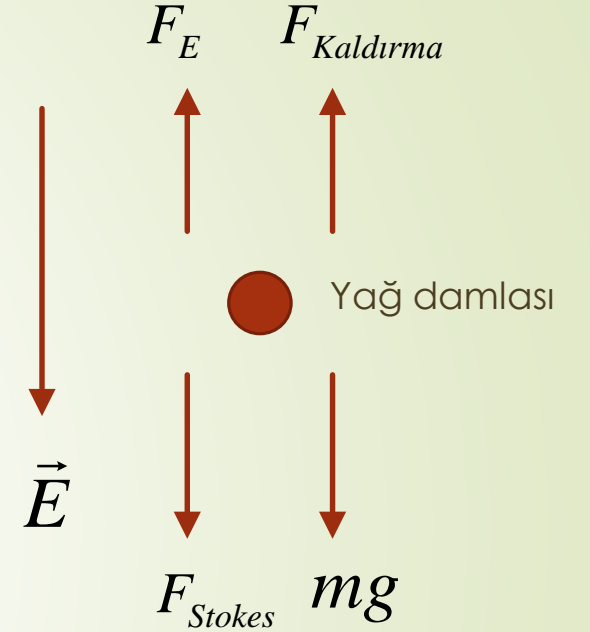
$$mg - F_{Kaldırma} = 6\pi r \eta v_0$$

$$q_{yukarı} = \frac{d}{V} 6\pi r \eta (v_{yukarı} + v_0)$$

$$\text{Düzeltilme Çarpanı (DÇ)} = \left(1 + \frac{b}{Pr}\right)^{-\frac{3}{2}} ; b = \text{düzeltilme çarpanı sabiti}$$

$$P = \text{basınç}$$

$$q_{yukarı} = 6\pi \frac{d}{V} \sqrt{\frac{9\eta^3 v_0}{2(\rho_{yağ} - \rho_{hava})g}} (v_{yukarı} + v_0) * DÇ$$



Sabit elektriksel alanda yağ damlasının düşmesi :

Aşağıya doğru limit hıza ulaşıldığında $F_{net} = 0$ olur.

$$F_{net} = F_E + mg - F_{Kaldırma} - F_{Stokes} = 0$$

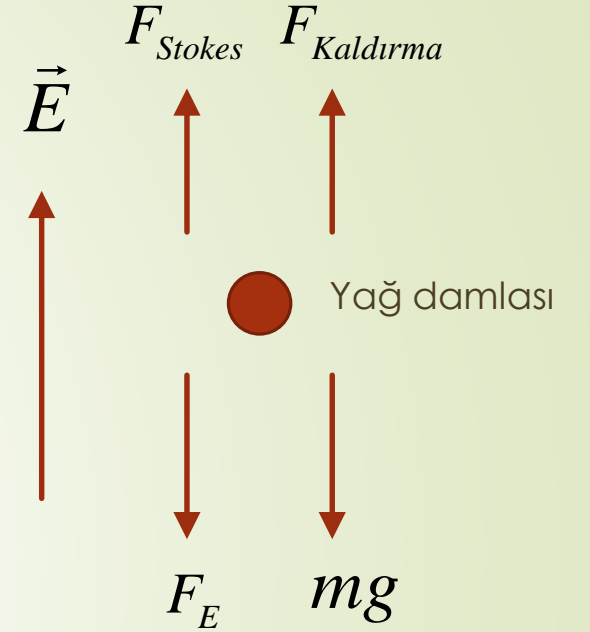
$$F_E = qE = q \frac{V}{d} \quad \rightarrow \quad q \frac{V}{d} = -(mg - F_{Kaldırma}) + F_{Stokes}$$
$$mg - F_{Kaldırma} = 6\pi r \eta v_0$$

$$q_{aşağı} = \frac{d}{V} 6\pi r \eta (v_{aşağı} - v_0)$$

$$\text{Düzeltilme Çarpanı (DC)} = \left(1 + \frac{b}{Pr}\right)^{\frac{3}{2}} ; b = \text{düzeltilme çarpanı sabiti}$$

$P = \text{basınç}$

$$q_{aşağı} = 6\pi \frac{d}{V} \sqrt{\frac{9\eta^3 v_0}{2(\rho_{yağ} - \rho_{hava})g}} (v_{aşağı} - v_0) * DC$$



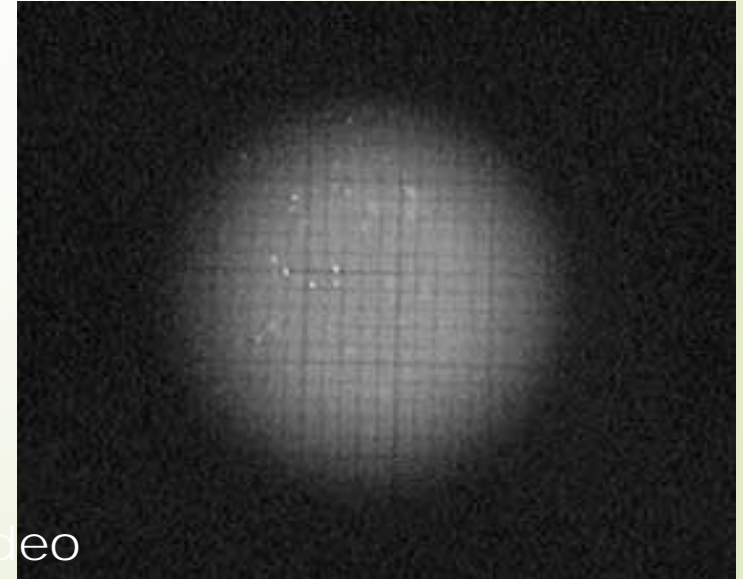
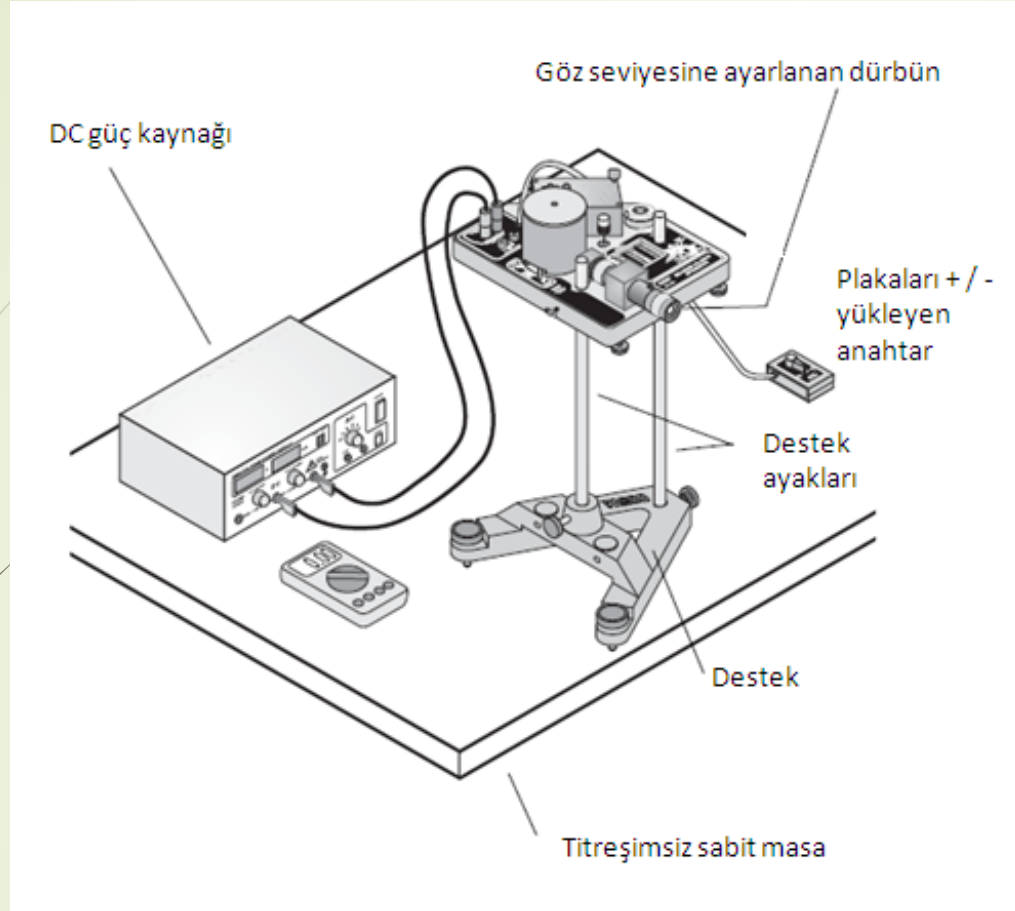
Kullanılan Deney Düzenegi :



Araç ve Gereçler:

- Millikan yağ damlası deney seti
- DC güç Kaynağı (550V)
- Yağ püskürtücü
- Yağ
- Kronometre
- Avometre
- Bağlantı kabloları

(http://www.pasco.com/prodCatalog/AP/AP-8210_millikan-oil-drop-apparatus/)



Bkz. Video

Deneyin Yapılışı:

İki yatay ve birbirine paralel plaka arasına büyük bir potansiyel farkı uygulanarak homojen bir elektrik alan oluşturulur.

Yağ damlaları plakalar arasına püskürtülür ve plakalar arasına uygulanan potansiyel farkı değiştirilerek damlaların konumu değiştirilebilir.

Plakalar birbirine yalıtkan bir malzemeyle tutturulmuş ve dört adet delik açılmıştır. Bu deliklerin üçüne beyaz ışık kaynağı yerleştirilmiş ve plakalar arasında asılı duran yağ damlaları üzerine odaklanmıştır. Diğer deliğe de düşük güçlü bir mikroskop konmuştur.

Yağ damlacıkları ışığı yansıtır ve mikroskoptan bakıldığında karanlıkta parlak noktalar gibi durur. Mikroskopta bir yağ damlasının bir bölmeden diğerine ne kadar zamanda geçtiğini gösteren ve böylece hızı tespit etmemizi sağlayan derecelendirilmiş bir ölçek mevcuttur.

Deneyde kullanılan yağ düşük buhar basıncına sahip bir yağdır. Diğer yağlar ışık kaynağının ısı etkisi ile kolaylıkla buharlaştığından, yağ damlalarının kütlesi deney boyunca sabit kalmaz. Bu sorunu önlemek için deneyde, yoğunluğu 886 kg/m^3 olan özel bir yağ kullanılmaktadır.

Bazı yağ damlacıkları pompa tarafından püskürtüldüğünde sürtünme nedeniyle yüklenecektir, fakat iyonlaştırıcı bir radyasyon kaynağı (alfa kaynağı) ilave edilerek daha fazla yağ damlacığının yüklenmesi sağlanabilir.

Püskürtme işleminden sonra, gözlemlemek için bir yağ damlası seçilir ve plakalar arasına uygulanan gerilim değiştirilerek, damla gözlem yapılan alanın üst taraflarında tutulur. Daha sonra gerilim kaldırılarak damla serbest düşmeye bırakılır ve kronometre ile 0,5 mm' lik ölçekler yardımı ile damlanın düşme hızı (v_0) belirlenir.

Yağ damlasının toplam yükü, elektrik alanın varlığında ve yokluğunda damlanın düşme süreleri kullanılarak belirlenen limit hız değerleri yardımıyla hesaplanır.

Oysa amaç, temel elektriksel yük (elektronun yükü) değerini bulmaktır. Bu nedenle, birden fazla damlanın veya farklı yüklere sahip damlaların incelenmesi ile elde edilen veriler arasında bağıl bir değerlendirme yapılması zorunludur. Bunun için, çok sayıda damla için hesaplanan yük değerleri alt-alta sıralanır ve en büyük ortak bölen (EBOB) hesaplanır. Elde edilen bu değer, elektronun yükü olarak belirlenir.

Millikan deneyinde kullanılan fiziksel nicelikler :

Levhalar arası uzaklık	$d = 9 \text{ mm}$
Havanın viskozitesi	$\eta = 1.81 \times 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$
Yağ yoğunluğu	$\rho_y = 886 \text{ kg/m}^3$
Mikrometre çizgileri arası uzaklık	$s = 0.5 \text{ mm}$
Düzeltilme çarpanı sabiti	$b = 8.2 \times 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$
Havanın yoğunluğu	$\rho_h = 1.2929 \text{ kg/m}^3$
Basınç	$P = 0.98 \times 10^5 \text{ Pa}$
Potansiyel farkı	$V = 400 \text{ V}$

Veriler : Yer değiştirme miktarları bir büyük bölme kadar (0,5 mm) olan, beş farklı damla için (q_1, \dots, q_5) serbest düşme, (E alanı altında) yukarı ve aşağı hareket etme süreleri ölçülmüştür. Her bir damla için bu üç ölçüm, beşer kez tekrar edilmiştir.

Farklı Damlalar	Serbest düşme süresi (s)	Damlanın yukarı hareketi (s)	Damlanın aşağı hareketi (s)
q_1	17,40	4,23	2,80
	17,05	4,15	2,70
	17,35	4,20	2,65
	17,20	3,82	2,89
q_2	16,90	2,90	2,13
	17,28	3,12	2,24
	17,07	2,84	2,30
	17,13	2,90	2,14
q_3	16,87	7,32	3,97
	17,12	6,96	3,82
	16,95	6,85	3,76
	17,20	7,57	4,05
q_4	17,52	23,20	6,32
	17,35	24,70	6,24
	17,24	23,92	6,55
	17,49	24,34	6,41
q_5	17,47	2,04	1,73
	17,08	2,12	1,83
	17,25	2,09	1,80
	17,56	2,14	1,76

- Her bir damla için yukarıdaki nicelikleri hesaplayarak damlanın ortalama yükünü hesaplayınız.

$$\text{Limit hız : } v_0 = \frac{s}{t_{ort}} \quad ; \quad v_{aşağı} = \frac{s}{(t_{aşağı})_{ort}} \quad ; \quad v_{yukarı} = \frac{s}{(t_{yukarı})_{ort}}$$

$$\text{Damla yarıçapı : } r = \sqrt{\frac{9\eta v_0}{2g(\rho_{yağ} - \rho_h)}}$$

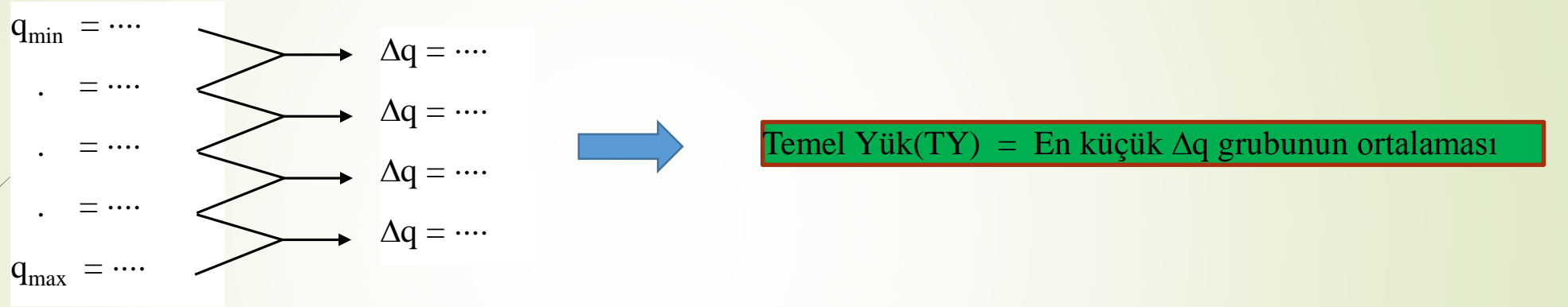
$$\text{Düzeltilme çarpanı } D\zeta = \left(1 + \frac{b}{Pr}\right)^{-3/2}$$

$$q_{aşağı} = 6\pi \frac{d}{V} \sqrt{\frac{9\eta^3 v_0}{2(\rho_{yağ} - \rho_{hava})g}} (v_{aşağı} - v_0) * D\zeta$$

$$q_{yukarı} = 6\pi \frac{d}{V} \sqrt{\frac{9\eta^3 v_0}{2(\rho_{yağ} - \rho_{hava})g}} (v_{yukarı} + v_0) * D\zeta$$

$$q_{ort} = \frac{q_{aşağı} + q_{yukarı}}{2}$$

- **Bulduğunuz yükleri küçükten büyüğe doğru alt-alta sıralayınız.**
- **Bu sıralamadan, ardışık iki yük arasındaki farkları bulunuz. Farkın en küçük olduğu grubun ortalaması size temel yükü verecektir.**



- **Temel yükü kullanarak, her bir damlada kaç temel yük olduğunu bularak yükün kuantumlu olduğunu gösteriniz.**

$$N_1 = \frac{q_1}{TY} \cong \dots \quad ; \quad N_2 = \frac{q_2}{TY} \cong \dots \quad ; \quad N_3 = \frac{q_3}{TY} \cong \dots \quad ; \quad N_4 = \frac{q_4}{TY} \cong \dots \quad ; \quad N_5 = \frac{q_5}{TY} \cong \dots$$



Başarılar Dileriz