

EXPERIMENTO DE MILLIKAN

1. GENERALIDADES

En la mayoría de los textos, se asocia la experiencia de Milikan con el valor unitario de la carga del electrón. Si bien esto es correcto, la forma de hallar dicho valor no es tan intuitiva, como pareciera a primera vista (el hecho de que en un cuerpo cargado, la carga este cuantizada, no es intuitivo a priori).

De hecho, la práctica de Milikan (original), está cargada de saberes previos y resultados de experiencias anteriores que llevó a éste, a trabajar en esta dirección.

El cuerpo de la experiencia se sustenta en que, el objeto cargado a estudiar (en este caso una gota de aceite) que en condiciones normales es neutra, se carga por procesos de fricción o ionización provocada por materiales radiactivos. De esta manera, se provoca un desbalance de cargas por lo que la gota se electriza con uno u otro signo, y lo manifiesta con un cambio del comportamiento físico.

2. OBJETIVOS

- Comprender la naturaleza cuántica del fenómeno eléctrico
- Observar directamente la cinemática de cuerpos cargados en campos electrostáticos.
- Entrenarse en la utilización de equipos con cierto grado de sofisticación
- Adquirir pericia en el logro de las condiciones ideales para efectuar buenas mediciones
- Hallar el valor de la carga elemental “e” y compararlo con valores teóricos
- Crear modelos que justifiquen lo observado

3. INTRODUCCION TEORICA

3.1. Fundamentos físicos

Se basan en el planteo de la dinámica de una gota de aceite cargada, para dos situaciones diferentes:

- a) Caída en un fluido viscoso (aire)
- b) Movimiento vertical en el fluido, con campo eléctrico.

En particular cuando:

- i. la gota permanece en reposo.
- ii. la gota se desplace con velocidad constante.

3.1.a. Caída en un fluido viscoso

Las fuerzas aplicadas sobre la gota son, el peso \vec{P} , el empuje \vec{Q} y la fuerza viscosa \vec{F}_v , de rozamiento en la superficie de contacto entre el aire y el aceite.

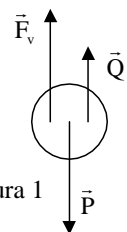


Figura 1

Del análisis de tales interacciones surge que :

$$\vec{P} = m \vec{g} \quad (1)$$

$$\vec{Q} = - \sigma \Omega \vec{g} \quad (2)$$

donde “ σ ” es la densidad del aire y “ Ω ” el volumen de la gota. Entonces “ $\sigma \Omega$ ” representa la masa de aire desplazada por la gota. Si tenemos en cuenta la composición de ambas fuerzas podemos definir:

$$\vec{W} = \vec{P} + \vec{Q} = (m - \sigma \Omega) \vec{g} \quad (3)$$

donde W es el llamado peso aparente de la gota en el fluido.

Consideremos ahora la fuerza viscosa :

Experimentalmente se sabe que si un cuerpo se mueve en un medio viscoso, está sometido a una fuerza de rozamiento proporcional a su velocidad y de sentido contrario.

La formalización matemática de esta relación conduce a la ley de Stokes de la mecánica de los fluidos.

$$\vec{F}_v = - 6 \pi \eta a \vec{v} \quad (4)$$

donde “ η ” es el coeficiente de viscosidad del aire y “ a ” el radio de la gota considerada esférica.

A su vez, el radio “ a ” se relaciona con la masa de la esfera y con su densidad a través de la expresión:

$$\rho = \frac{m}{\Omega} \quad (5)$$

donde

$$\Omega = \frac{4}{3} \pi a^3 \quad (6)$$

por lo que

$$\rho = \frac{3 m}{4 \pi a^3} \quad (7)$$

Es así que la fuerza neta resultante cumplirá la segunda ley de Newton :

$$\vec{W} + \vec{F}_v = m \frac{dv}{dt} \quad (8)$$

El caso en estudio corresponde a un problema unidimensional con \vec{v} y \vec{g} en la misma dirección.

Por ello (8) se transforma en:

$$(m - \sigma \Omega) g - 6\pi\eta a v = m \frac{dv}{dt} \quad (9)$$

La resolución de la ecuación diferencial en “v” conduce a la siguiente expresión para condiciones iniciales de reposo :

$$v = \frac{(m - \sigma \Omega) g}{6\pi\eta a} \left(1 - e^{-\frac{6\pi\eta a t}{m}} \right) \quad (10)$$

Cuando la gota alcance la velocidad límite caerá en el aire con velocidad constante dada por la expresión:

$$v_L = \frac{(m - \sigma \Omega) g}{6\pi\eta a} \quad (11)$$

Si además se reemplazan, (5) y (6) en (9) se tiene:

$$\frac{4}{3}\pi a^3 (\rho - \sigma) g - 6\pi\eta a v_L = 0 \quad (12)$$

de donde

$$a^2 = \frac{9}{2} \frac{\eta v_L}{(\rho - \sigma) g} \quad (13)$$

3.1.b. Movimiento dentro del campo electrostático

Si la esfera posee carga “q” y está ubicada entre las placas de un capacitor plano, cuya distancia entre placas es “d”, al aplicarse una diferencia de potencial “V”, la gota experimenta una fuerza electrostática tal que el módulo es:

$$F_e = \frac{qV}{d} \quad (14)$$

cuyos efectos se agregan a los ya enunciados en la situación **3.1.a.**, por lo tanto:

$$\vec{W} + \vec{F}_v + \vec{F}_e = m \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (15)$$

El sentido del movimiento de la esfera dependerá de la resultante de las fuerzas aplicadas y por consiguiente, de la relación entre la carga de la gota y la polaridad del capacitor.

3.1.b.i. La gota permanece en reposo

Como caso particular, es posible lograr un equilibrio entre la fuerza electrostática y el peso aparente. En tal condición la gota se mantiene en reposo y la fuerza viscosa es nula.

Entonces:

$$\frac{qV}{d} = \frac{4\pi a^3 (\rho - \sigma)g}{3} \quad (16)$$

donde V es la diferencia de potencial adecuada para que se obtenga el equilibrio.

Utilizando las ecuaciones (13) y (16), existe la posibilidad de diseñar un experimento que cumpla con el objetivo propuesto, conocer la carga de la gota.

En efecto

$$q = \frac{4\pi a^3 (\rho - \sigma)gd}{3V} \quad (17)$$

En esta expresión solo “V” y “a” son incógnitas. Los demás parámetros se obtienen de tablas.

El radio “a” puede ser calculado con (13) y tanto “V” como “v_l” se determinará en la experiencia.

En resumen, el proceso de medición de “q” constará de tres etapas a saber :

- 1 - En ausencia de campo eléctrico, estudio de la caída de una gota midiendo su velocidad límite; de allí, obtención de “a” .
- 2 - Aplicación de un campo eléctrico variable y medición de la diferencia de potencial “V” para la situación estática o para la situación en que la gota sube con velocidad constante.
- 3 - Cálculo de “q” con los resultados obtenidos.

4. Calculo de la carga elemental

Un método interesante para mejorar el valor de la medición de e , es utilizar un algoritmo del tipo de los usados en cuadrados mínimos que, da muy buenos resultados:

$$f(e) = \sum_i \left(\frac{q_i}{e} - q_i^* \right)^2$$

Siendo $q_i^* = \left[\frac{q_i}{e} + 0,5 \right]$ donde $[]$ es la parte entera de $\frac{q_i}{e} + 0,5$, siendo esta cantidad el entero más próximo a $\frac{q_i}{e}$.

Realice con una planilla de cálculo, los cocientes $\frac{q_i}{e}$, donde:

q_i = el valor de la carga hallada por ecuación (17)

e = valores de $1 \times 10^{-19} \text{C}$ hasta $1.7 \times 10^{-19} \text{C}$ tomados de a milésimas (estos valores son previamente consultados con el docente)

Se realizan las sumatorias de las diferencias al cuadrado $\left(\frac{q_i}{e} - q_i^*\right)^2$. Para visualizar la función $f(e)$ conviene graficarla (con el auxilio de programas computacionales), con lo cual se podrá localizar también visualmente donde está el mínimo, para luego buscar el exacto valor con los valores de tablas.

El valor de e para el mínimo de esta función indicará una buena aproximación al valor de la carga elemental.

Para obtener el valor representativo y el error absoluto, repetir el cálculo con el valor máximo y mínimo de cada carga de la siguiente manera:

$$f(e + \Delta e) = \sum_i \left(\frac{q_i + \Delta q_i}{e} - q_i^* \right)^2 \quad \text{y} \quad f(e - \Delta e) = \sum_i \left(\frac{q_i - \Delta q_i}{e} - q_i^* \right)^2$$

La semi-suma da el valor representativo de e y la semi-resta dará el valor del error absoluto.

En cualquiera de los casos exprese el resultado físicamente con los valores redondeados a la segunda cifra significativa.

Compare los valores obtenidos con el valor obtenido en tablas.

5. ESQUEMA EXPERIMENTAL

5.1. Corte de la celda con sus conexiones eléctricas y plano de la celda con accesorios.

La gota entra en el espacio entre las placas paralelas de un capacitor, por un pequeño orificio(C), ubicado en la placa superior. Dentro del capacitor, existe una lámpara que ilumina las gotas, y permitirá ser observadas a través de un microscopio.

La gota aparece como un punto luminoso que asciende en el campo visual (tenga en cuenta que el microscopio invierte su imagen).

La velocidad límite de la gota se determina midiendo el tiempo que tarda el punto luminoso en recorrer una cierta cantidad de divisiones en el reticulado del microscopio, cuyo espaciamiento es conocido.

Al salir la gota por el rociador, algunas de estas se cargan por fricción. Al estar cargada la gota, y usted tener el control de la variación de campo dentro del capacitor, podrá mover o detener la gota seleccionada.

Variando la diferencia de potencial entre las placas se puede llegar a la situación de equilibrio (gota en reposo), o al caso en que la gota suba con velocidad constante.

Por medio de un interruptor que permite el cambio de polaridad de las placas, se lleva la gota hasta las cercanías de la placa superior (línea inferior del retículo) y utilizando la posición neutra de la llave, se eliminan los efectos del campo eléctrico, iniciándose nuevamente la medición.

6. DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA

- Ajuste el ocular del microscopio de forma tal que el retículo sea visto nítidamente.
- Conecte el circuito como se muestra en la Figura 2.
- Verifique que la lámpara esté encendida (respeta la polaridad ya que es un led)
- Verifique que la diferencia de potencial pueda ser variada desde 0 a 300 V aproximadamente (respeta la polaridad. Ficha roja a conector positivo).
- Posicione la seleccionadora de campo (Figura 3) en la posición **Y** de tal manera que no exista campo eléctrico al momento de arrojar el aceite.
- Ponga el potenciómetro en 0 V.
- Arroje el aceite atomizado sobre el orificio, (presione la perita suavemente)
- Posicione la seleccionadora de campo en **A**.
- Aumente lentamente la diferencia de potencial, hasta que pueda detener alguna gota.
- Variando suavemente el campo con el potenciómetro (Figura 3), desplace una de las gotas identificadas en el punto anterior, hasta que la misma quede estacionaria por debajo de la línea inferior de la retícula. Anotar el valor del potencial para dicha situación de equilibrio.
- Pase el interruptor a la posición neutra (N) y mida con el cronómetro el tiempo que tarda la gota en recorrer un número conocido de espacios en el retículo, por ejemplo 4 de los 6.
- Repita el proceso hasta haber medido al menos 5 gotas cargadas diferentes. Si la gota se pierde, reiniciar con otra, repitiendo los procedimientos.

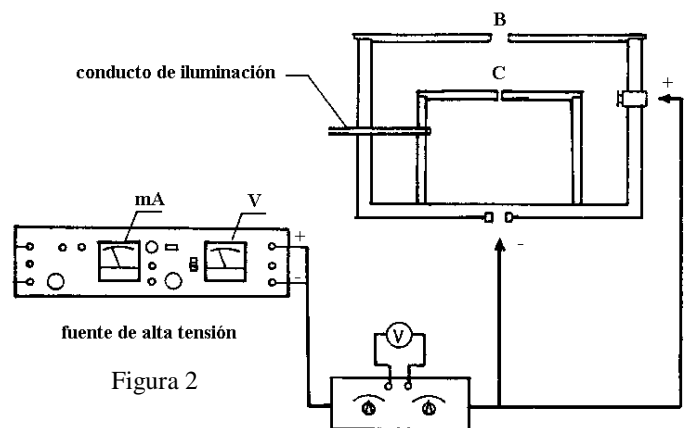
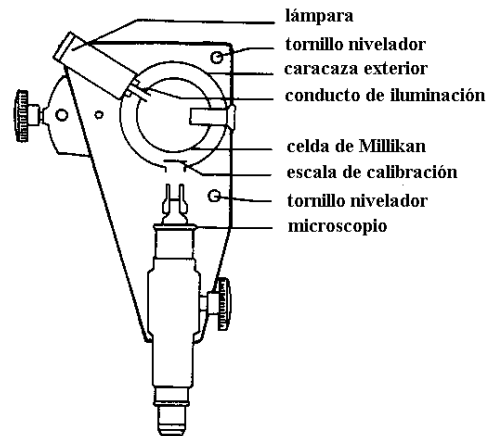


Figura 2

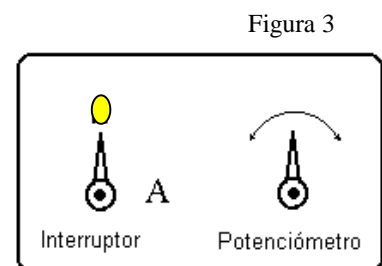


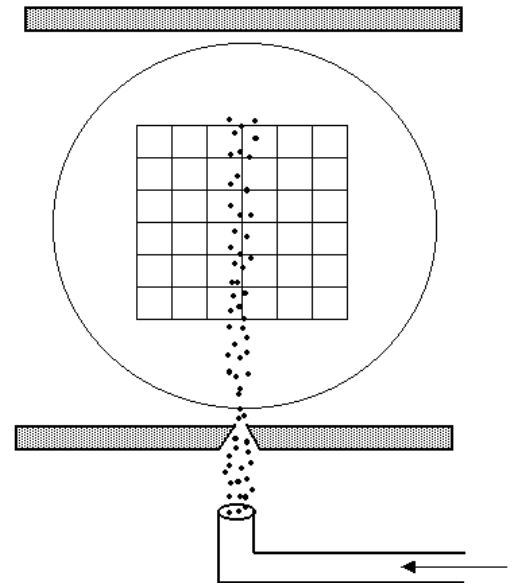
Figura 3

- m) Evalúe a partir de las magnitudes medidas, cuáles inducen error en las mediciones y estime el valor de las indeterminaciones.
- n) Vuelque los datos obtenidos en una tabla de Excel, realizando los cálculos de “a” (ec.13) y “q” (ec.17) (en este caso sin considerar los errores).
- o) Una vez hallados los valores de “q” para las diferentes gotas estudiadas, se procederá al cálculo de “e”, según lo descrito en el punto 4, realizando el gráfico $f(e) = \sum_i \left(\frac{q_i}{e} - q_i^* \right)^2$ para valores de “e” entre 1×10^{-19} y 2×10^{-19} aprox. (evalúe el criterio con su docente)

IMPORTANTE: Tenga en cuenta para la redacción del informe que no debe presuponer conocido el valor de la carga elemental.

6.1. Aclaraciones:

- La llave seleccionadora colocada en **A** o **B**, indica el cambio de polaridad sobre las placas del capacitor. Nuestra experiencia previa, indica que debemos colocarlo en el punto A para obtener mejores resultados.
- El potenciómetro aumenta la diferencia de potencial girándolo en sentido horario
- Realizar una atomización previa a las mediciones para cerciorarse de que las gotitas se encuentren en el plano focal del microscopio.
- Sostener el atomizador de forma tal que su boca entre en el agujero B y presionar 1 vez. La luz dispersada por las gotas en el plano focal del microscopio las hará visibles como puntos luminosos a medida que suben libremente. (en realidad caen, pero como sabemos la imagen del microscopio es invertida)



7. PRECAUCIONES

- Siga atentamente las instrucciones del profesor acerca de cómo poner las gotitas, se corre el peligro de inundar de aceite el orificio.
- No se exceda de la máxima tensión sugerida (300 V, aproximadamente)
- respete las polaridades, tanto del capacitor como la de la lampara

8. REDACCION DEL INFORME

- a) Redactar el informe según las pautas indicadas el reglamento. Ante la duda consulte con el profesor el significado y alcance de alguna de las indicaciones.
- b) Si bien es probable que la temperatura de la celda no sea la que figura en esta guía como datos típicos, pueden tomarse igualmente considerando que la influencia en los errores no es significativa frente a los otros valores experimentales.
- c) Para la obtención del valor de la carga debe encontrar algún método de cálculo que le permita arribar a este resultado sin necesidad de utilizar los valores de tablas. Sin embargo puede verificar en el laboratorio (puede utilizar una planilla de cálculo) si los valores obtenidos al dividir cada carga de la gota por el obtenido en tabla está dentro de lo previsto. En caso de obtener algún valor muy alejado de la realidad, debido a un error de medición y no por los valores de los errores experimentales, descártelo. También cerciórese de haber obtenido al menos un valor de carga elemental impar, ya que de obtener todos valores pares se llegará a un resultado erróneo.

9. VALORES TÍPICOS DE LAS CONSTANTES

Los valores típicos de los parámetros del sistema, medidos a 23°C son:

$$\eta = 1,83 \times 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$$

$$\rho = 0,817 \text{ g/ml para el aceite (utilizado en este caso)}$$

$$\sigma = 0.001 \text{ g/ml para el aire}$$

$$d = 5 \text{ mm}$$

Escala del retículo: 4,8 espacios equivalen a 2,00 mm.