
Experimento de la gota de Millikan

Objetivo.

Determinar la carga del electrón a través del aparato de la gota de Millikan.

Introducción.

La carga eléctrica de una partícula puede ser calculada midiendo la fuerza que experimenta dicha partícula en un campo eléctrico. Aunque es relativamente fácil producir un campo eléctrico, la fuerza que ejerce dicho campo sobre la partícula que lleva uno o varios excesos de electrones, es pequeña. Por ejemplo, un campo de 1000 voltios por centímetro ejerce sobre una partícula que lleva un exceso de electrón, una fuerza de 1.6×10^{-9} dinas. Realizando una analogía, esto equivale a comparar la fuerza que ejerce el campo gravitacional sobre una partícula con una masa de 10^{-12} gramos.

El éxito del experimento de la gota de aceite de Millikan, depende de la habilidad de medir fuerzas pequeñas. El comportamiento de pequeñas gotas de aceite cargadas con una masa de sólo 10^{-12} gramos o menos, se puede observar en un campo gravitacional y eléctrico. Además, se puede emplear la ley de Stokes para calcular la masa de la gota, solo conociendo la velocidad de descenso de la gota en el aire. Para calcular la carga de la gota y la fuerza que ejerce el campo eléctrico sobre la gota, solo basta con determinar experimentalmente la velocidad de ascenso de la gota.

Aunque este experimento permite medir la carga total en la gota, sólo se podrá determinar la carga de un electrón. Seleccionando las gotas que se elevan y caen lentamente, se puede estar seguro de que la gota tiene un número pequeño de excesos de electrones. Un número considerable de gotas deben ser observadas para calcular sus respectivas cargas, si las cargas en esas gotas son múltiplos de cierta carga pequeña, entonces es un buen indicio de la naturaleza atómica de la electricidad. Sin embargo, puesto que se ha elegido una gota diferente para medir cada carga, sigue existiendo la incertidumbre respecto al efecto de la gota con su propia carga. Esta incertidumbre puede ser eliminada cambiando la carga en una sola gota mientras está bajo observación, y para ello se coloca una fuente de ionización cerca de la gota.

Obtener la carga del electrón de forma experimental también permite el cálculo del número de Avogadro. La cantidad de corriente requerida para electro-depositar un gramo equivalente de un elemento sobre un electrodo (el faradio), es igual a la multiplicación de la carga del electrón por el número de moléculas en un mol. Por medio de experimentos de electrólisis, se ha encontrado que un faradio son 2.895×10^{14} unidades electrostáticas por gramo

equivalente de peso (expresado más comúnmente en el sistema mks como 9.625×10^7 C*K equivalentes de peso). Dividiendo el faradio por la carga del electrón, se obtiene:

$$\frac{2.895 \times 10^{14} \frac{e.s.u}{gm \text{ equiv. de peso}}}{4.803 \times 10^{-10} e.s.u}$$

Lo cual da como resultado; 6.025×10^{23} moléculas por gramo equivalente de peso, o el número de Avogadro.

Cálculo de la carga de una gota.

El diagrama de cuerpo libre de la figura 1, muestra las fuerzas que actúan sobre la gota cuando desciende a través del aire y ha alcanzado una velocidad constante.

Por otro lado, el diagrama de cuerpo libre de la figura 2, muestra las fuerzas que actúan sobre la gota cuando asciende a través del aire debido al campo eléctrico generado, y cuando ha alcanzado una velocidad constante.



Figura 1. D.C.L de la gota cuando desciende.

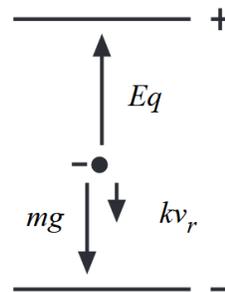


Figura 2. D.C.L de la gota cuando asciende.

Del d.c.l de la figura 1, se obtiene la siguiente ecuación:

$$mg = kv_f \tag{1}$$

donde m es la masa de la gota, g la constante de la aceleración de la gravedad, k es el coeficiente de fricción del aire y v_f es la velocidad de caída de la gota.

Del d.c.l de la figura 2, se obtiene la siguiente ecuación:

$$Eq = mg + kv_r \tag{2}$$

donde E es la magnitud del campo eléctrico generado, q es la carga eléctrica de la gota, m es la masa de la gota, g es la constante de la aceleración de la gravedad, k es el coeficiente de fricción del aire y v_r es la velocidad de ascenso de la gota.

Resolviendo para q y eliminando k de las ecuaciones 1 y 2, se obtiene:

$$q = \left(\frac{mg}{Ev_f} \right) (v_f + v_r) \tag{3}$$

Dado que es difícil conocer de forma experimental la masa de la gota de aceite, se recurre a la definición de densidad para conocer la masa, por lo que se obtiene:

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

donde a es el radio de la gota de aceite y ρ es la densidad del aceite.

Para calcular el radio “ a ” de la gota de aceite se hace uso de la ley de Stokes, ya que se puede relacionar el radio de un cuerpo esférico, y la velocidad de descenso del cuerpo en un medio con coeficiente de viscosidad η . Por lo que el radio de la gota se puede calcular como:

$$a = \sqrt{\frac{9\eta v_f}{2g\rho}} \quad (5)$$

Sin embargo, cuando la velocidad de caída de las gotas es menor o igual a 0.1 cm/s, la ley de Stokes llega a ser incorrecta. Esto se debe a que dichas gotas tienen un radio en el orden de micrones, cuyo radio es comparable con las moléculas del aire y esto hace que se violen ciertas suposiciones de la ley de Stokes. Debido a que la velocidad de las gotas de aceite se encuentra entre 0.01 a 0.001 cm/s, es necesario multiplicar la viscosidad por un factor de corrección, el cual está dado por:

$$\eta_{eff} = \eta \left(\frac{1}{1 + \frac{b}{pa}} \right) \quad (6)$$

donde b es una constante, p es la presión atmosférica, y a es el radio de la gota.

Sustituyendo η_{eff} en la ecuación (5) y despejando para el radio “ a ”, se obtiene:

$$a = \sqrt{\left(\left(\frac{b}{2p} \right)^2 + \frac{9\eta v_f}{2g\rho} \right)} - \frac{b}{2p} \quad (7)$$

Sustituyendo las ecuaciones (4), (5) y (6) en la ecuación (3), se obtiene:

$$q = \frac{4\pi\rho g \left[\sqrt{\left(\left(\frac{b}{2p} \right)^2 + \frac{9\eta v_f}{2g\rho} \right)} - \frac{b}{2p} \right]^3 (v_f + v_r)}{3E v_f} \quad (8)$$

La magnitud del campo eléctrico, está dada por:

$$E = \frac{V}{d} \quad (9)$$

donde V es la diferencia de potencial aplicada entre las placas paralelas y d es la separación entre las placas paralelas.

Sustituyendo la ecuación (9) en la ecuación (8), se obtiene:

$$q = \frac{4\pi\rho g d \left[\sqrt{\left(\left(\frac{b}{2p}\right)^2 + \frac{9\eta v_f}{2\rho g}\right) - \frac{b}{2p}} \right]^3 (v_f + v_r)}{3Vv_f} \quad (10)$$

Para obtener el valor de la carga, a continuación se especifican las variables y las unidades que deben ser empleadas en la ecuación (10):

q - carga eléctrica [Coulomb]

ρ - densidad del aceite = $886 \frac{kg}{m^3}$

g - aceleración de la gravedad = $9.81 \frac{m}{s^2}$

d - distancia entre las placas paralelas, aproximadamente de $7.6 \times 10^{-3} m$.

b - constante = $8.20 \times 10^{-3} Pa \cdot m$

p - presión barométrica [Pa]

η - viscosidad del aire en equilibrio $\left[\frac{N \cdot s}{m^2} \right]$

v_f - Velocidad de descenso $\left[\frac{m}{s} \right]$

v_r - Velocidad de ascenso $\left[\frac{m}{s} \right]$

V – diferencia de potencial = [Voltio]

Material.

- 1 Aparato de Millikan. (3.C)
- 1 Base para varilla de soporte. (2-3.D)
- 2 Varillas para soporte del aparato de Millikan. (3.C)
- 4 Cables banana-banana. (Colgados de anaquel 2-10)
- 1 Multímetro. (2-10.D)
- 1 Fuente de potencia eléctrica de alto voltaje de 0-500VCD. (5.B)
- 1 Cronómetro. (2-9.C)

Instalación del equipo.

1. Coloque la base para varilla de soporte en una mesa de trabajo, luego coloque las varillas en los orificios del soporte como se observa en la figura 3 y apriételes bien.
2. Coloque la plataforma del aparato de Millikan como se observa en la figura 4. Luego, nivele la plataforma haciendo uso de los tornillos de la base, cuando la burbuja del nivel

de la plataforma se encuentre en el centro, es porque la plataforma ya se encuentra nivelada.

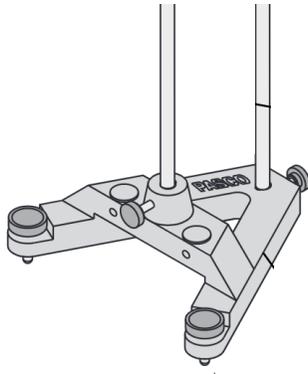


Figura 3. Forma en la que se colocan las varillas en el soporte.

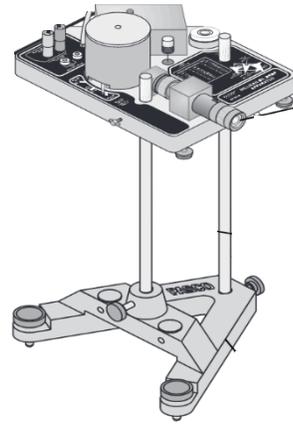


Figura 4. Configuración del equipo.

- Desmonte el compartimiento de visión de la gota levantando la cubierta y removiendo la placa superior del capacitor y la placa espaciadora (vea la figura 5). Luego, con un micrómetro mida el espesor de la placa espaciadora, ya que esta medida es la separación que existe entre las placas del capacitor.

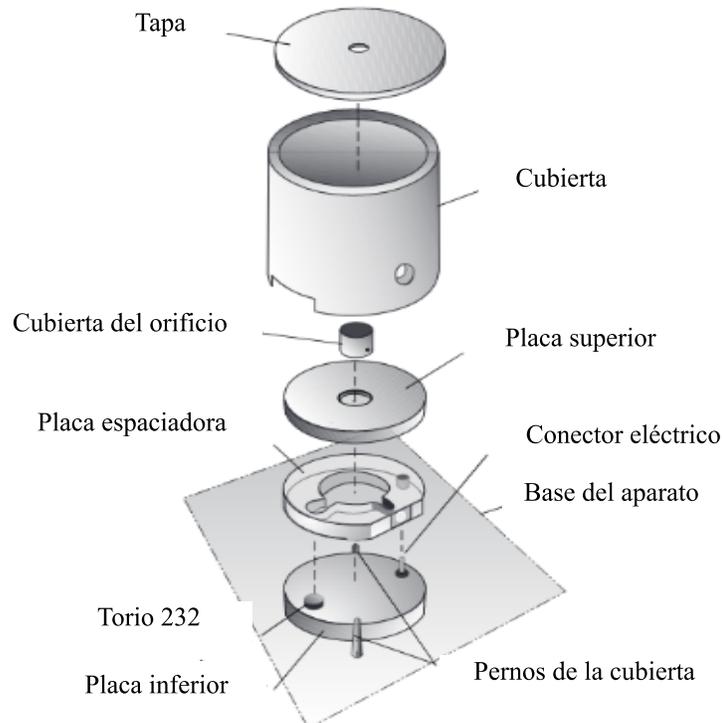


Figura 5. Componentes del compartimiento de visión de la gota.

4. Monte el espaciador de plástico y la placa superior del capacitor sobre la placa inferior del capacitor. Luego, coloque la cubierta alineando los orificios en su base con las terminales de la cubierta, y verifique que todos los componentes queden de nuevo en su lugar, a excepción de la tapa.
5. Destornille el alambre de la plataforma e insértelo cuidadosamente en el agujero del centro de la placa superior del condensador.
6. Conecte la salida del eliminador de 12VCD al conector de alimentación de la lámpara de halógeno y luego conecte el eliminador a un toma corriente.
7. Luego, coloque su ojo en el ocular del aparato de Millikan y gire el primer anillo (vea la figura 6) hasta que enfoque la retícula. Y verifique que el alambre sea claramente observado.
8. En caso de que no se logre apreciar correctamente el alambre, mueva el segundo anillo (vea la figura 6) hasta que logre enfocarlo.

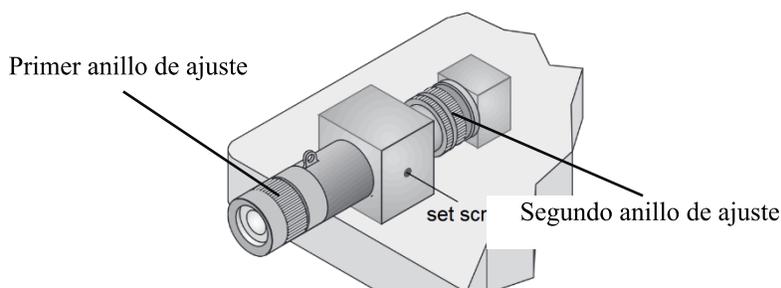


Figura 6. Anillos de ajuste del sistema del ocular.

9. Ajuste la perilla de ajuste horizontal de la lámpara de halógeno, hasta que vea que el borde derecho del alambre sea brillante. Luego, ajuste la perilla vertical de la lámpara de halógeno, hasta que vea que el área de la retícula sea más brillante.
10. Una vez que todo esté perfectamente configurado, retire el alambre y colóquelo de nuevo en su sitio. También, coloque la tapa superior de plástico que cubre al capacitor.
11. Con los cables banana - banana conecte la fuente de alto voltaje a los conectores de las placas. Dichos conectores se encuentran en la plataforma del aparato como se muestra en la figura 7. Aún no encienda la fuente de voltaje.

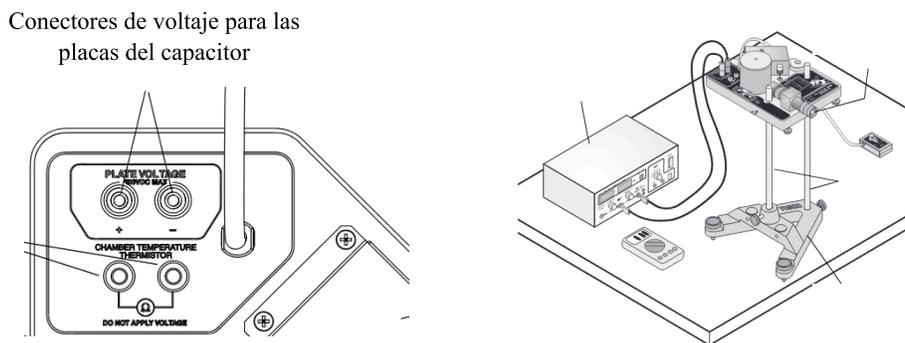


Figura 7. Conectores para cables banana-banana y arreglo experimental

Descripción de los controles y sus funciones.

Palanca selectora de la fuente de ionización.

- Cuando la palanca de ionización se encuentra en la posición de apagado “OFF”, la fuente de ionización está blindada por el plástico, es decir, virtualmente ninguna partícula alfa entra en el área de las gotas (vea la figura 8).
- Cuando la palanca de ionización se encuentra en la posición de encendido “ON”, el blindaje de plástico es quitado y el área de las gotas se expone a las partículas alfa de ionización emitidas del thorium-232 (vea la figura 8).
- Cuando la palanca de ionización se encuentra en la posición “Spray Droplet Position”, se permite que el aire del compartimiento escape por un pequeño agujero, cuando las gotas de aceite entran a este (vea la figura 8).

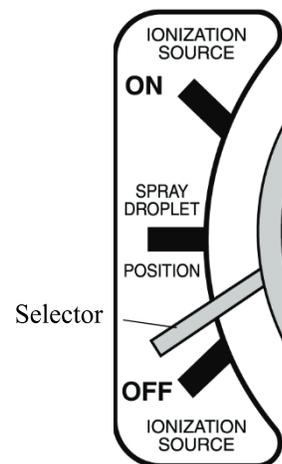


Figura 8. Niveles de la fuente de ionización.

Interruptor de carga de las placas del capacitor.

El interruptor de carga de las placas tiene tres posiciones, como se muestra en la figura 9.

- PLACA SUPERIOR - (TOP PLATE -): La conexión del poste negativo está conectada con la placa superior del capacitor. Es decir, la dirección del campo eléctrico va de abajo hacia arriba.
- PLACA SUPERIOR + (TOP PLATE +): La conexión del poste negativo está conectada con la placa inferior del capacitor. Es decir, la dirección del campo eléctrico va de arriba hacia abajo.
- PLACAS PUESTAS A TIERRA (PLATES GROUNDED): En esta posición las placas del capacitor se desconectan de la fuente de alto voltaje, por lo que no existe campo eléctrico entre las placas.

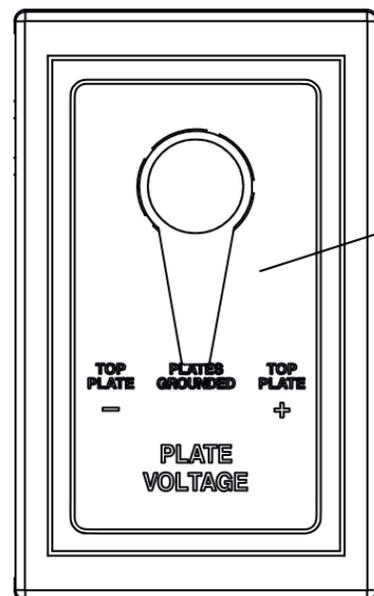


Figura 9. Interruptor de carga del capacitor.

Procedimiento experimental.

1. Una vez que tenga el equipo de Millikan configurado, coloque en el atomizador la cantidad necesaria de aceite mineral que se requiere para el experimento.

2. En un pedazo de papel rocíe unas cuantas gotas de aceite para comprobar que el atomizador rocía de forma correcta. Y Coloque la boquilla del atomizador como se muestra en la figura 10.

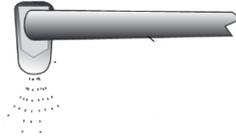


Figura 10. Posición correcta del atomizador.

3. Verifique que las perillas de la fuente de voltaje se encuentren en la posición de 0V, luego prenda la fuente de alto voltaje y suba de forma ascendente y despacio el voltaje, hasta que llegue a los 500V. Con los cables banana-banana, conecte el multímetro a los conectores de voltaje para verificar que el voltaje sea de 500V, luego desconéctelo.
4. Ahora con los cables banana – banana, conecte el multímetro a las terminales del termistor y mida la resistencia (vea la figura 7). Luego, en la tabla que se encuentra en la plataforma o la del apéndice A, vea las resistencias del termistor para encontrar la temperatura a la cual se encuentra el aire en el compartimiento. Ya que el coeficiente de viscosidad está en función de la temperatura del aire, vea el apéndice B.

Nota: Aunque la ventana dicróica transfiere el calor generado por el bulbo de halógeno, la temperatura dentro del compartimiento de visión de la gota puede elevarse después de prolongarse la exposición a la luz. Por lo tanto, la temperatura dentro del compartimiento debe ser medida aproximadamente cada 15 minutos.

5. Mueva la palanca de la fuente de ionización hacia la posición “Spray Droplet Position”, para permitir que el aire se escape del compartimiento durante la introducción de las gotas.
6. Coloque la boquilla del atomizador en el agujero de la tapa superior del compartimiento. Y mientras observa con el ocular el interior del compartimiento, exprima el atomizador con un apretón rápido.
7. Proceda a dar un apretón lento al atomizador para forzar que las gotas entren al interior del compartimiento. Cuando se vea una lluvia de gotas en el ocular, mueva la palanca de la fuente de ionización a la posición de apagado.

Nota: Si el área de visión se llena de gotas, de forma que ninguna gota pueda ser seleccionada, será necesario esperar tres o cuatro minutos hasta que estas desaparezcan del área de visión, o desarmar el compartimiento (después de apagar la fuente de poder de CD) para remover las gotas. Cuando la cantidad de aceite del compartimiento sea demasiado, desármelo y límpielo.

Selección de una gota.

8. Verifique que el selector del interruptor de carga en las placas se encuentre en la posición “PLATES GROUNDED”. Luego, seleccione una gota que caiga lentamente (aproximadamente de 0.02 a 0.05 mm/s) y pueda ser dirigida hacia arriba o hacia abajo, cambiando la dirección del campo eléctrico con el interruptor.

Sugerencia: Una gota requiere alrededor de 15 segundos para descender una distancia de 0.5 mm (esta distancia es la que existe entre las líneas principales (las más remarcadas)), debido a la influencia de un campo eléctrico de 1000 V/cm. A continuación se dan mediciones de tiempo y cargas, como ejemplo: 15 s, 1 exceso de electrón; 7 s, 2 excesos de electrón; 3s, 3 excesos de electrón. Es decir, entre más excesos de electrones tenga una gota, más rápido se moverá debido al campo eléctrico.

9. Cuando encuentre una gota de aceite ideal para experimentar, afine el foco del ocular para que no la pierda de vista.

Recolección de datos de ascenso y descenso de la gota

1. Para calcular la velocidad de ascenso de la gota, coloque un ojo en el ocular y mueva el interruptor de carga hacia la posición “TOP PLATE +”, esto hará que la gota ascienda. Elija cuántas líneas recorrerá la gota y con un cronómetro mida el tiempo que tarda en ascender, después calcule la velocidad de ascenso. El espacio entre cada cuadro pequeño de la retícula es de 0.1mm.
2. Para calcular la velocidad de descenso de la gota, coloque un ojo en el ocular y mueva el interruptor de carga hacia la posición “PLATES GROUNDED”, esto hará que el campo eléctrico se apague y la gota descienda por acción de la gravedad. Elija cuántas líneas recorrerá la gota y con un cronómetro mida el tiempo que tarda en descender, después calcule la velocidad de descenso.

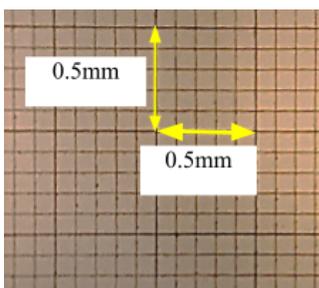


Figura 11. Medidas de la retícula.

3. Mida las velocidades de ascenso y descenso de la gota seleccionada aproximadamente de 10 a 20 veces, o hasta que la carga cambie espontáneamente o la gota se mueva del área de visión.
4. Introduzca más gotas de aceite en el compartimiento y seleccione otra gota.

5. Eleve la gota hacia el tope del campo visual y mueva la palanca de ionización a la posición de encendido (ON) por algunos segundos hasta que la gota descienda.
6. Si la velocidad de ascenso de la gota cambia, haga de 10 a 20 mediciones de la nueva velocidad de ascenso.
7. Si la gota aún se ve, intente cambiar su carga introduciendo más partículas alfa como se describió anteriormente, y mida la nueva velocidad de ascenso de 10 a 20 veces.
8. Registre el voltaje de las placas, la densidad del aceite, la viscosidad del aire en la temperatura del compartimiento del área de visión de la gota (vea el apéndice A y B), y la presión barométrica de cada conjunto de velocidades medidas.
9. Por último, haga uso de la ecuación (10) para calcular la carga de la gota de aceite, la ecuación (10) es:

$$q = \frac{4\pi\rho g d \left[\sqrt{\left(\frac{b}{2p}\right)^2 + \frac{9\eta v_f}{2\rho g}} - \frac{b}{2p} \right]^3 (v_f + v_r)}{3Vv_f} \quad (10)$$

El valor aceptado para la carga del electrón es de 1.6×10^{-19} Coulombs.

Apéndice A. Relación entre la resistencia del termistor y la temperatura interna del aparato de Millikan

THERMISTOR RESISTANCE TABLE					
°C	$\times 10^6 \Omega$	°C	$\times 10^6 \Omega$	°C	$\times 10^6 \Omega$
10	3.239	20	2.300	30	1.774
11	3.118	21	2.233	31	1.736
12	3.004	22	2.169	32	1.700
13	2.897	23	2.110	33	1.666
14	2.795	24	2.053	34	1.634
15	2.700	25	2.000	35	1.603
16	2.610	26	1.950	36	1.574
17	2.526	27	1.902	37	1.547
18	2.446	28	1.857	38	1.521
19	2.371	29	1.815	39	1.496

Apéndice B. Viscosidad del aire en función de la temperatura.