

Experimento de Millikan

Set 2

Fernando Corona García *, Ana Laura Jimenez Morales **, Nayma Itzel García Escamilla **, Freddy Elí Campillo Dorantes ****

Depto. de Actuaría, Física y Matemáticas, Universidad de las Américas Puebla, Puebla, México 72810

17 de marzo de 2023

Resumen

En el desarrollo del experimento de Millikan se pudo apreciar el efecto que tiene un campo eléctrico sobre una partícula con carga, y se aprovechó este efecto para obtener el valor de la carga del electrón.

Keywords: Millikan, campo electrico, electron

Objetivo y metas específicas

Se midió el tiempo que le tomó a una gota de aceite desplazarse una cierta distancia vertical, tanto en caída libre como en la subida por la presencia de un campo eléctrico.

Con la diferencia entre las velocidades encontradas, se encontrará la carga del electrón (e).

Introducción y marco teórico

A finales del siglo XIX, Thompson demostró la existencia del electrón y estableció la relación entre su carga y su masa analizando la desviación que estas partículas experimentaban cuando se movían en el seno de un campo electromagnético.

Sin embargo, Thompson no consiguió determinar ni la masa ni la carga del electrón (al menos de forma precisa). Fue diez años después que Millikan publicó los resultados de los experimentos con los que consiguió determinar, con bastante exactitud (el error era del 1 %), la carga del electrón.

Para llegar a ello, Millikan utilizó una versión de la cámara de niebla que Thompson estaba utilizando con el mismo propósito. Con este dispositivo se conseguía nebulizar e ionizar una pequeña cantidad de agua, de modo que el estudio de su comportamiento en presencia de campos eléctricos permitiría calcular

la carga de la nube y, en función del número de gotas, deducir la carga elemental del electrón. Sin embargo, tanto Thompson como Millikan fracasaron. Millikan conoció a Rutherford en un congreso celebrado en su universidad, quien le advirtió, además, del inconveniente que suponía realizar el estudio de la nube de agua completa, siendo más acertado centrar el interés en el movimiento individual de cada una de las gotas en suspensión.

Millikan decidió, entonces, utilizar aceite en lugar de agua. En la cámara, el aceite se dispersaba en minúsculas gotas que descendían en el seno de un gas ionizado con rayos X. Un cierto número de los electrones formados en la ionización se adherían a las gotitas, por lo que adquirían una carga negativa que era un múltiplo entero de la carga del electrón. Estas gotitas se hacían pasar entre dos placas por las cuales se generaba una diferencia de potencial que provocaba un campo eléctrico. En consecuencia, una fuerza eléctrica actuaba sobre las gotitas, frenando su movimiento de descenso, de manera que al estudiar este equilibrio de fuerzas se pudo deducir la carga de cada gotita.

En ausencia de campo eléctrico, el descenso de la gota está provocado por la fuerza de la gravedad, aunque debe considerarse el empuje que ejerce el aire, por lo que en realidad debemos tener en cuenta su peso aparente, es decir, el peso de la gota menos

* 159897; fernando.coronaga@udlap.mx

** 159818; ana.jimenezms@udlap.mx

*** 159845; nayma.garciaea@udlap.mx

**** 159518; freddy.campillods@udlap.mx

el peso del aire que desplaza, como se muestra en la siguiente ecuación:

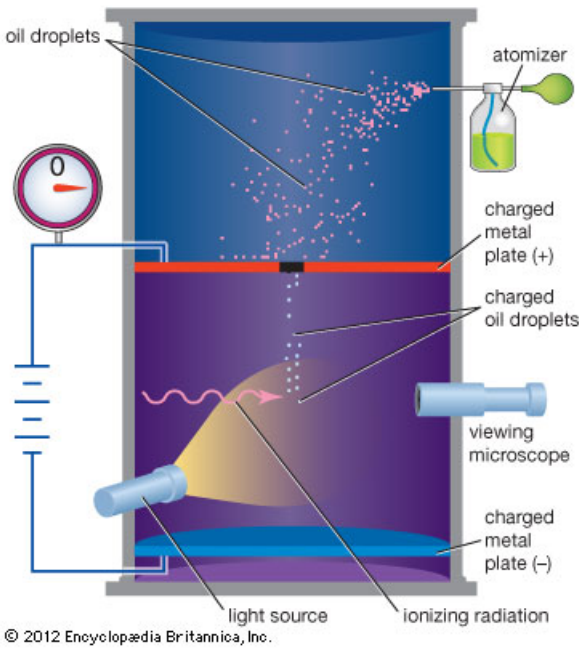


Figura 1: Diagrama de funcionamiento del aparato de Millikan.

$$P_{ap} = P_{gota} - P_{aire} = (p_{agua} - p_{aire})vg \quad (1)$$

Finalmente, para el cálculo de la carga del electrón (e) se toman en consideración la fuerza de gravedad, la intensidad del campo eléctrico y la ley de Stokes la cual relaciona la velocidad de una esfera en un medio viscoso, teniendo como resultado la siguiente expresión:

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

en dónde

- e — carga de el electrón [C]
- g — aceleración de la gravedad $[9,81 \frac{m}{s^2}]$
- ρ — densidad del acetite $\approx 886 \frac{Kg}{m^3}$
- d — separación de las placas en la cámara [m]
- b — constante, igual a $8,2 \cdot 10^{-3} [Pa \cdot m]$
- p — presión atmosférica [Pa]
- V — diferencia de potencial entre las placas [V]
- η — viscosidad del aire $[\frac{Ns}{m^2}]$
- v_f — velocidad de caída [m/s]
- v_r — velocidad de subida [m/s]

Materiales y equipos

- Vernier analógico (± 0.025 mm)
- Aparato de Millikan (± 0.05 mm)
- Fuente de alimentación
- Cable de alimentación
- Multímetro (± 0.005 Ohms)
- 4 Cables banana-banana

Metodología

Primeramente, se colocó el aparato de Millikan sobre la mesa, situando el alcance de visualización en un lugar permisible sin que se moviera el aparato cuando se observaran las gotas a través de él. Con ayuda del nivel de burbuja se niveló para que esto no fuera un problema en las mediciones obtenidas.

Después se limpió cuidadosamente el aparato, en caso de que hubiera residuos de experimentos anteriores, esto se hizo con ayuda de alcohol isopropílico y toallas de papel Kimtech Science. Posteriormente, con ayuda del vernier, se midió el ancho de la placa que separaba las dos placas del capacitor, ya que este representaba la distancia entre ellas. El valor obtenido fue de (0.90 ± 0.05) cm.

Más tarde se posicionaron nuevamente las tres placas en su lugar y se conectó el aparato a una fuente de luz para poder ajustar el enfoque y brillo del alcance de visualización con ayuda del anillo de enfoque y se apagó nuevamente el equipo. Inmediatamente después se conectó a una fuente de alto voltaje DC a los conectores de voltaje. La fuente se ajustó para que entregaran (500 ± 5) VDC y también se conectó un multímetro para corroborar el voltaje suministrado y determinar la resistencia aplicada. La cual fue de (2.1131 ± 0.0001) M Ω . Una vez que se tuvieron todos los elementos en su lugar, se llevó a cabo el experimento. El arreglo del equipo se muestra en la siguiente figura.

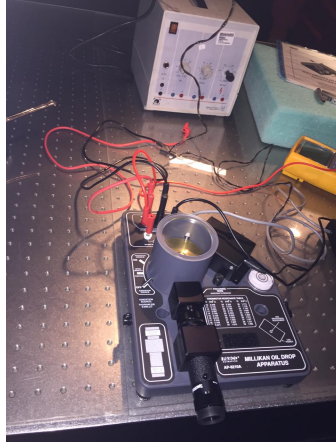


Figura 2: Configuración del equipo del experimento de Millikan.

Para iniciar con la sección experimental, se aseguró que la punta del atomizador estuviera apuntando hacia abajo al mismo tiempo que formaba un ángulo de 90° del mango del atomizador. Antes de que se añadieran las gotas de aceite al equipo, se preparaba el atomizador apretando rápidamente la válvula del mismo. Una vez que esto ocurría, se ponía la palanca de fuente de ionización en la posición "spray droplet position" para que el aire de la cámara escapara mientras las gotas entraban en ella. Cuando en el lente de visualización se podía apreciar una lluvia de gotas, se cambiaba la palanca a ON para que fueran ionizadas. Posteriormente se elegía una gota la cual no cayera tan rápido al mismo tiempo que era brillante y fácil de identificar, se tomaba el tiempo que tardaba en caer y se registraba una vez que desaparecía del campo visual y se producía un campo eléctrico de modo que las gotas cambiaran su dirección y fueran hacia arriba. Nuevamente se elegía una gota que no pasara rápidamente frente a la pantalla y fuera brillante, su tiempo contabilizaba y registraba. Éste proceso se repitió al menos 10 veces y los resultados obtenidos son analizados en la siguiente sección.

Resultados y análisis

Primeramente, con el valor de la resistencia obtenida se calculó un valor correspondiente de temperatura con ayuda de una tabla que se encontraba incluida. Para un valor $R = (2,1131 \pm 0,0001) M\Omega$ se tiene una temperatura $T = (2,113110 \pm 0,000007)^\circ C$, calculada con los valores de la Tabla del apéndice B del manual del aparato. De similar manera, de obtuvo un valor de la viscosidad del aire en función de la temperatura anterior con la gráfica del apéndice

A del mismo manual, esta fue $\eta = (1,83751341 \pm 0,00000008) \cdot 10^{-5} \frac{Ns}{m^2}$.

Para calcular el valor de la velocidad de bajada (v_f) y de subida (v_r) se midieron los tiempos que les tomaba a tres partículas distintas de aceite recorrer una distancia $d = (1,00 \pm 0,05)mm$ tanto de subida como de bajada. Los datos obtenidos se muestran en las Tablas 1, 2 y 3 correspondientes a cada gota estudiada.

| Gota 1 | | | | |
|--------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | $(t_f \pm 0,5)s$ | v_f mm/s | $(t_r \pm 0,5)s$ | v_r mm/s |
| 1 | 14.0 | 0.071 ± 0.004 | 4.0 | 0.25 ± 0.01 |
| 2 | 16.0 | 0.063 ± 0.003 | 2.0 | 0.50 ± 0.03 |
| 3 | 16.0 | 0.063 ± 0.003 | 2.0 | 0.50 ± 0.03 |
| 4 | 20.0 | 0.050 ± 0.003 | 2.0 | 0.50 ± 0.03 |
| 5 | 21.0 | 0.048 ± 0.002 | 2.0 | 0.50 ± 0.03 |
| 6 | 23.0 | 0.043 ± 0.002 | 7.0 | 0.143 ± 0.008 |
| 7 | 24.0 | 0.042 ± 0.002 | 8.0 | 0.125 ± 0.007 |
| 8 | 25.0 | 0.040 ± 0.002 | 16.0 | 0.063 ± 0.003 |

Tabla 1: Tiempos que le tomó a la gota inicial recorrer una distancia $d = (1,00 \pm 0,05)mm$ tanto de subida (con la presencia de campo eléctrico) como de bajada (sin campo), así como la velocidad correspondiente.

| Gota 2 | | | | |
|--------|------------------|---------------------------|------------------|-----------------|
| | $(t_f \pm 0,5)s$ | $(v_f \pm 0,003)$ mm/s | $(t_r \pm 0,5)s$ | v_r mm/s |
| 1 | 15.0 | 0.067 | 3.0 | 0.33 ± 0.02 |
| 2 | 17.0 | 0.059 | 2.0 | 0.50 ± 0.03 |
| 3 | 16.0 | 0.063 | 2.0 | 0.50 ± 0.03 |
| 4 | 20.0 | 0.050 | 2.0 | 0.50 ± 0.03 |
| 5 | 15.0 | 0.067 | 2.0 | 0.50 ± 0.03 |
| 6 | 17.0 | 0.059 | 2.0 | 0.50 ± 0.03 |

Tabla 2: Tiempos de recorrido y velocidades para la caída y la subida de la segunda gota para una distancia $d = (1,00 \pm 0,05)mm$.

| Gota 3 | | | | |
|--------|------------------|-------------------|------------------|-----------------|
| | $(t_f \pm 0,5)s$ | v_f mm/s | $(t_r \pm 0,5)s$ | v_r mm/s |
| 1 | 17.0 | 0.059 ± 0.003 | 2.0 | 0.50 ± 0.03 |
| 2 | 14.0 | 0.071 ± 0.004 | 3.0 | 0.33 ± 0.02 |
| 3 | 13.0 | 0.077 ± 0.004 | 3.0 | 0.33 ± 0.02 |
| 4 | 16.0 | 0.063 ± 0.004 | 3.0 | 0.33 ± 0.02 |
| 5 | 18.0 | 0.056 ± 0.003 | 3.0 | 0.33 ± 0.02 |
| 6 | 17.0 | 0.059 ± 0.003 | 3.0 | 0.33 ± 0.02 |

Tabla 3: Tiempos de recorrido y velocidades para la caída y la subida de la gota 3 para una distancia $d = (1,00 \pm 0,05)mm$.

Con base en cada una de la tablas, se puede cal-

cular una velocidad de bajada y caída promedio, $\overline{v_f}$ y $\overline{v_r}$ respectivamente. Una vez obtenidos estos, podemos calcular el valor de la carga del electrón (e) para cada gota. Estos tres datos se presentan en la Tabla 4.

| Gota | $\overline{v_f}$ /mm/s | $\overline{v_r}$ /mm/s | e / $\cdot 10^{-18}C$ |
|------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 1 | 0.052 ± 0.003 | 0.32 ± 0.02 | 1.38 ± 0.07 |
| 2 | 0.060 ± 0.003 | 0.48 ± 0.03 | 2.0 ± 0.1 |
| 3 | 0.064 ± 0.003 | 0.36 ± 0.02 | 1.76 ± 0.03 |

Tabla 4: Velocidad de caída y bajada promedio para cada una de las gotas, así como el valor de (e) para cada caso

Para el caso de las velocidades el error asociado se calculó de esta manera

$$v = \left| \frac{1}{t} \right| \Delta d + \left| \frac{d}{t^2} \right| \Delta t$$

Sin embargo, según la Ecuación 2 es una función de cinco variables, por lo que el error asociado se debe calcular como

$$\Delta e = \frac{4\pi g \rho (v_f + v_r) \left(\sqrt{\frac{9\eta v_f}{2g\rho} + \frac{b^2}{4p^2}} + \frac{b}{2p} \right)^3 \Delta d}{3V v_f} + \frac{4\pi d g \rho \left(\sqrt{\frac{9\eta v_f}{2g\rho} + \frac{b^2}{4p^2}} + \frac{b}{2p} \right)^3 \Delta v_r}{3V v_f} + \frac{\Delta \eta \cdot 9\pi d (v_f + v_r) \left(\sqrt{\frac{9\eta v_f}{2g\rho} + \frac{b^2}{4p^2}} + \frac{b}{2p} \right)^2}{V \sqrt{\frac{9\eta v_f}{2g\rho} + \frac{b^2}{4p^2}}} \\ - \frac{\pi d \left(2p \sqrt{\frac{9\eta v_f}{2g\rho} + \frac{b^2}{4p^2}} + b \right)^2 \left(2bg\rho v_r \sqrt{\frac{9\eta v_f}{2g\rho} + \frac{b^2}{4p^2}} - 27\eta p^2 v_f^2 - 9\eta p^2 v_r v_f + b^2 g\rho v_r \right)}{12V p^4 v_f^2 \sqrt{\frac{9\eta v_f}{2g\rho} + \frac{b^2}{4p^2}}} \Delta v_f + \\ \frac{4\pi d g \rho (v_f + v_r) \left(\sqrt{\frac{9\eta v_f}{2g\rho} + \frac{b^2}{4p^2}} + \frac{b}{2p} \right)^3}{3v_f V^2} \Delta V$$

Aplicaciones

Este experimento tuvo, principalmente la aplicación de ayudar a determinar la carga de un electrón a través de equilibrar la fuerza gravitatoria con la flotabilidad y las fuerzas eléctricas. Esto a su vez, ayudaría a determinar la masa del electrón con la relación de carga-masa propuesta por Thompson. Asimismo, ayudaría a conocer que a nivel de partículas tan pequeñas como las partículas elementales, los efectos gravitatorios son despreciables frente a los electrostáticos. [1]

Gracias a esto, ha sido posible el poder entender el funcionamiento del mundo atómico, que a su vez esta abriendo puertas para que se desarrollen materiales químicos, como los nanométricos, que pretenden ser ergonómicos y mejorar la calidad de vida humana.

Conclusiones

Se considera el experimento no exitoso, pues los resultados obtenidos difieren demasiado con respecto al teórico. Al ser este de $\approx 1,6 \cdot 10^{-19}C$, y nuestros resultados teniendo un orden de magnitud

de diferencia, se obtuvieron errores porcentuales de 761 %, 1148 % y 1010 % para las gotas 1, 2 y 3, respectivamente.

Se considera que esto fue posiblemente causado por diversos factores. Entre ellos, variable que no pudieron ser medidas, como lo fueron la densidad del aceite utilizado y la presión en el ambiente. Este último factor es especialmente apreciable en las mediciones de los tiempos de subida y bajada, porque observamos que ligeras perturbaciones en la presión del aire, tal como las causadas por ruidos, producían cambios de trayectoria notables en las partículas de aceite. Posiblemente estas afectaciones en las mediciones de los tiempos terminó alterando de gran manera el resultado final.

Referencias

- [1] Fanny Zapata, *Experimento de Millikan: procedimiento, explicación, importancia*. Lifeder, 2019. Recuperado de <https://www.lifeder.com/experimento-de-millikan/>

- [2] (s.f.) *Experimento de Millikan - Robert Andrews Millikan* . 2019. Recuperado de <https://sites.google.com/site/millikan11/experimento-de-millikan>
- [3] CASTAÑOS, E. C. *La carga del electrón: el experimento de Millikan*. . 18 febrero, 2020. Recuperado de <https://lidiakonlaquimica.wordpress.com/2016/05/10/la-carga-del-electron-el-experimento-de-millikan/>