

Bitácora de laboratorio

Sergio Laverde* and Samuel Hernandez**
Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.
(Dated: 12 de marzo de 2025)

I. INFORMACIÓN

Este documento es propiedad de la Universidad de Los Andes. La práctica experimental se desarrolló el día 27 de febrero de 2025 de 4:00 a 8:00 pm en el laboratorio B-301 de la Universidad de Los Andes. Para contacto, escribir a alguno de los correos ubicados al final de esta página.

II. OBJETIVOS

Entre los objetivos de esta práctica se encuentran: A) Medir la cuantización de la energía de estados electrónicos en átomos de Mercurio (Hg), B) Entender cómo afecta la temperatura la densidad de gas de Mercurio y el camino libre medio de los electrones y C) Calcular a partir de los datos experimentales la energía entre el estado base y un estado excitado del átomo de Mercurio.

III. DATOS

Los datos obtenidos en la práctica y al preanálisis desarrollado en Python se encuentran en Github <https://github.com/samuhdz/Laboratorio-Intermedio/tree/main/Franck%20Hertz>

IV. MARCO TEÓRICO

El concepto de cuantización de la energía es la mayor revolución científica del siglo pasado junto con la relatividad de Einstein. Con la intención de evidenciar este fenómeno, se hicieron varios experimentos, incluido el de Franck Hertz. Este consiste en colisionar electrones con átomos de Mercurio. Si los electrones tienen suficiente energía, colisionarán de manera inelástica con los átomos de mercurio, dando así paso a una transición energética. Pero esto es solo una fracción de los electrones, otros con energía no suficiente para generar una

transición, siguen de largo y son detectados por el ánodo. Las caídas de corriente periódicas sugieren que los niveles de energía del átomo están cuantizados.

La gráfica que esperamos observar tiene diferentes picos de energía. Estos van a estar dados por:

$$E_n = n(E_a + \delta_n) = nE_a(1 + n\frac{\bar{l}}{L})$$

Siendo \bar{l} la longitud de camino libre medio y E_a la energía de transición. Así, la distancia entre picos es:

$$\Delta E_n \left(1 + (2n - 1)\frac{\bar{l}}{L} \right) E_a$$

Siendo n la cantidad de colisiones. Ahora bien, si consideramos que[1]:

$$\bar{l} = \frac{kT}{p\sigma} \quad , \quad p = 8,7 \times 10^9 \times 10^{9-3110/T} \quad , \quad \sigma = \pi d^2$$

Siendo d el radio del átomo de mercurio. Entonces la expresión final, que solo depende de la temperatura y de n . Entonces $\Delta E(n, T)$ es:

$$\Delta E(n, T) = \left(1 + (2n - 1) \frac{kT}{8,7 \times 10^9 - (3110/T) \pi d^2 L} \right) E_a$$

Esto implica que la diferencia entre energías de cierto número de colisiones y una menos aumenta proporcionalmente al número de colisiones y a la energía inicial del recorrido.

V. MONTAJE EXPERIMENTAL Y METODOLOGÍA

Además del montaje experimental mostrado en la figura 1, para el desarrollo del experimento también se hizo uso de 2 cables BNC a caimán (impedancia de 50Ω), software *Phywe measure 4* y cable de datos RS 232.

A. Estudio Cualitativo.

Se conectaron la estufa y la unidad de control mediante el cable DIN en los puertos correspondientes, y se insertó la termocupla en la parte superior de

* Correo institucional: s.laverdeg@uniandes.edu.co

** Correo institucional: sm.hernandezc1@uniandes.edu.co

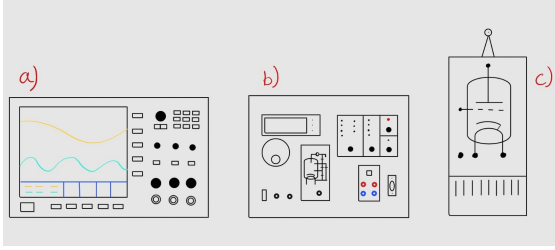


Figura 1. Montaje experimental.

Consiste en: a) Osciloscopio: mide señales eléctricas dependientes del tiempo, b) Módulo de control y medición : modifica los voltajes y corrientes suministrados y mide corriente de electrones y la temperatura de la termo-cúpula, c) Estufa, tubo Franck-Hertz y termo-cúpula.

la estufa, asegurando que el cable solo tocara la manija. Luego, se utilizó un cable BNC para conectar la estufa al módulo de control (puerto 11) y se alimentaron ambos dispositivos con la fuente de voltaje.

Se configuró el voltaje en la unidad de control ($U_H = 6,3V$, $U_1 = 0V$, $U_2 = 2V$) y se ajustó la perilla de la estufa a un valor entre 5 y 6, monitoreando la temperatura hasta alcanzar aproximadamente $180^\circ C$. En ese momento, se conectaron las salidas analógicas de corriente y voltaje al osciloscopio en modo XY, verificando la polaridad y asignando el voltaje al eje X y la corriente al eje Y.

Al llegar a la temperatura deseada, se incrementó manualmente U_1 a cerca de $50V$, se seleccionó el modo de medición en forma de diente de sierra y se inició la medición, observándose en el osciloscopio un patrón similar al esperado. Para temperaturas inferiores a $160^\circ C$, el módulo detuvo automáticamente la medición como medida de protección, lo que requirió aumentar la temperatura y reiniciar el proceso.

B. Actividad 1.

Se midió la distancia entre los mínimos utilizando el osciloscopio. Luego, se posicionaron los cursores del osciloscopio de manera que uno de los picos quedara centrado en el origen y se apagó la estufa.

Se observó el comportamiento de los picos a medida que la temperatura disminuía, asegurando que no bajara de $160^\circ C$ y ajustando el voltaje máximo U_1 cuando fue necesario.

Finalmente, se modificó el voltaje U_2 primero a $1.5V$

y luego a $1V$, manteniendo la temperatura constante, y se describió el cambio en la curva observada en el osciloscopio.

C. Medición de la corriente I_A en función del voltaje U_1 .

Se conectó el computador con el software especializado de Franck-Hertz al módulo de control. Con la estufa encendida y la temperatura estabilizada alrededor de $180^\circ C$, se cambió el selector de medición a la posición PC.

Se ejecutó el programa de medición desde la carpeta Franck-Hertz, seleccionando una nueva medición y ajustando los parámetros de control y medición, incluyendo la temperatura como variable a reportar. Una vez configurados los parámetros, se inició la medición al alcanzar la temperatura establecida.

Durante el proceso, se aseguró que la temperatura se mantuviera estable. Los resultados se obtuvieron en forma de gráfica y, a través del menú de análisis de curva, se identificaron los máximos y mínimos, ajustando la sensibilidad del análisis según fuera necesario. Finalmente, los datos y las gráficas se guardaron para su posterior análisis y reporte.

D. Actividad 2.

Se realizaron varias series de mediciones manteniendo la temperatura constante y minimizando las variaciones. Se registraron los valores de corriente I_A y voltaje U_1 para diferentes temperaturas dentro del rango de $165^\circ C$ a $185^\circ C$, manteniendo U_H y U_2 constantes.

Para cada temperatura, se calculó la distancia entre mínimos y se comparó con el valor esperado de $4.67 eV$. Además, se identificó la posición del primer mínimo y se analizó su relación con el voltaje de retardo U_2 .

Posteriormente, con la temperatura fija, se varió U_2 entre $1V$ y $2V$, registrando I_A en función de U_1 y graficando los resultados. Luego, manteniendo U_2 y la temperatura constantes, se modificó U_H dentro del rango de $6,3 \pm 0,5V$, observando los cambios en la curva I_A vs. U_1 y explicando el comportamiento en términos de emisión termoiónica, temperatura del cátodo y la distribución de Maxwell-Boltzmann.

Finalmente, se graficó la distancia entre mínimos en función del orden del mínimo, realizando regresiones lineales para cada temperatura y calculando el camino libre medio experimental $\bar{\ell}_{\text{exp}}$ utilizando la ecuación (8). A partir de las regresiones, se evaluó $\Delta E(0,5)$ y se comparó con el valor reportado de 4.67 eV, considerando $L = 12$ cm.

VI. ANÁLISIS PRELIMINAR

Análisis cualitativo

En primer lugar se nos pedía hallar el distanciamiento entre los picos. Recordemos que teóricamente, este distanciamiento está dado por la fórmula IV. Si usamos $L = 12\text{cm}$, $d = 1,55 \times 10^{-10}$, $E_a = 4,87\text{eV}$, $T = 452\text{K}$, entonces tenemos un valor aproximado de $4,92\text{eV}$. El valor que encontramos experimentalmente fue de $(4,6 \pm 0,1)\text{eV}$. Esto se aleja en $2,6\sigma$ del valor aproximado con la teoría. Además, conforme bajamos la temperatura, la diferencia en los picos se hacía más grande. Esto lo podemos ver en la figura 2

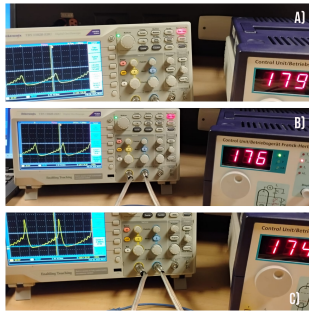


Figura 2. Gráfica de corriente I en función de t para diferentes temperaturas. a) $T=179^\circ\text{C}$, b) $T=176^\circ\text{C}$, c) $T=174^\circ\text{C}$. En las gráficas podemos ver el comportamiento que predice la ecuación IV.

Análisis cuantitativo

Medidas a temperatura constante

En primer lugar, se tomaron datos de I vs U_1 para una temperatura cercana a 180°C . Con el software del experimento se pudo evidenciar la forma 'funcional' esperada. Sin embargo, en la figura se puede apreciar como las pequeñas fluctuaciones en la temperatura afectan de manera considerable la medición.



Figura 3. La corriente I en función del voltaje de aceleración U_1 para una misma temperatura, cercana a 180°C . Podemos ver como el valor de I varía bastante, sin embargo, su posición en U_1 no se ve afectada, como esperaríamos.

Estas fluctuaciones las podemos justificar en la dependencia funcional de la energía con la temperatura. Como vemos de la ecuación IV, $E \propto \frac{T}{8,7 \times 10^9 - 3110/T} + E_a$. Esta función cambia considerablemente con la temperatura. Por otro lado, se pueden determinar los mínimos y el espaciamiento entre los mismos. Estos valores se reportan en las siguientes tablas

U_n	T3	T2	T1
U_1	14.26	14.48	14.12
U_2	19.31	19.38	19.07
U_3	24.05	24.12	23.98
U_4	28.96	29.03	28.89
U_5	33.96	34.09	33.80
U_6	39.07	39.24	38.91

Cuadro I. Valores de los mínimos U_n para los tres conjuntos de datos.

ΔU_n	T3	T2	T1
$\Delta U_1 = U_2 - U_1$	5.05	4.90	4.86
$\Delta U_2 = U_3 - U_2$	4.74	4.74	4.95
$\Delta U_3 = U_4 - U_3$	4.91	4.91	4.91
$\Delta U_4 = U_5 - U_4$	5.00	5.06	5.20
$\Delta U_5 = U_6 - U_5$	5.11	5.15	5.11

Cuadro II. Diferencias entre valores mínimos consecutivos para los tres conjuntos de datos.

Medidas variando voltaje de retardo

Como se muestra en la figura 4, no podemos desarrollar conclusiones ya que las 3 curvas no presentan algún orden según cambia U_2 .

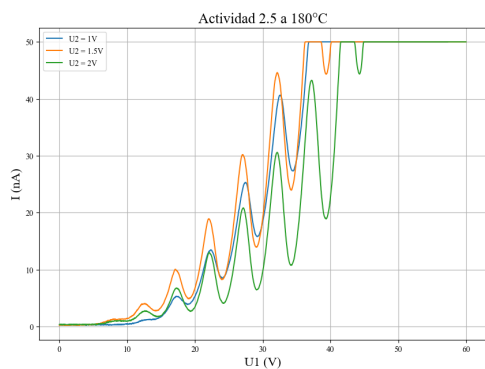


Figura 4. Corriente en función del voltaje de aceleración. Medidas realizadas a 180°C

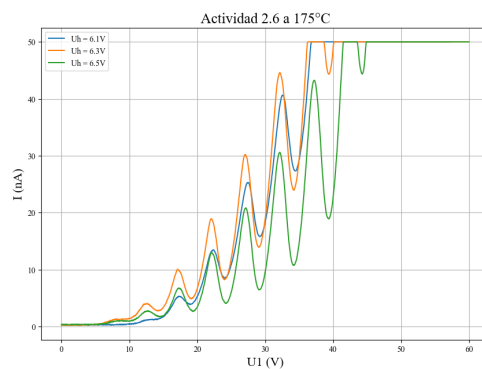


Figura 5. Corriente en función del voltaje de emisión termoiónica. Medidas realizadas a 175°C

Medidas variando voltaje de emisión termoiónica

De igual forma, como se muestra en la figura 5, no podemos desarrollar conclusiones, ya que las 3 curvas no presentan ningún orden según cambia U_h .

Diferencia entre mínimos

Como se muestra en la figura 6, los datos para las 3 Temperaturas distintas presentan una tendencia lineal.

-
- [1] Rapior, G., Sengstock, K., and Baev, V. (2006). New features of the Franck-Hertz experiment. *American Journal of Physics*, 74(5):423–428.

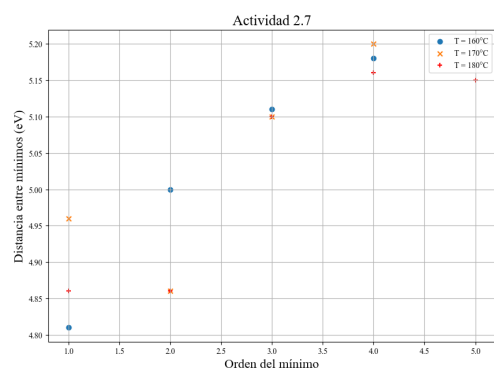


Figura 6. Distancia entre mínimos en función del orden del mínimo

Mediciones realizadas a distintas temperaturas.