

Experimento de Franck Hertz para el argón

Objetivos del experimento:

- Demostrar que la transferencia de energía en colisiones inelásticas entre electrones acelerados con los átomos de argón está cuantizada, tal como exige la estructura discreta de niveles de energía del átomo.
- Reproducir el experimento de Franck Hertz con argón.
- Medir la diferencia de energía entre el estado fundamental y el primer estado excitado del Argón.

Fundamentos:

En 1914, James Franck y Gustav Hertz realizaron un experimento que demostró la existencia de estados excitados en átomos de mercurio, ayudando a confirmar la teoría atómica de Niels Bohr que predecía que los electrones solo ocupaban estados cuantizados, es decir estados discretos de energía. Los electrones eran acelerados con un voltaje hacia un electrodo en forma de grilla cargado positivamente. El sistema estaba contenido en una cápsula de vidrio llena con vapor de mercurio, como se indica en la figura 1. Después de la grilla había un terminal colector con un pequeño voltaje negativo respecto a la grilla. Los valores del voltaje de aceleración para los cuales la corriente comenzaba a disminuir, daban una medida de la energía necesaria para forzar a un electrón del átomo de mercurio para pasar de un estado fundamental al primer estado excitado.

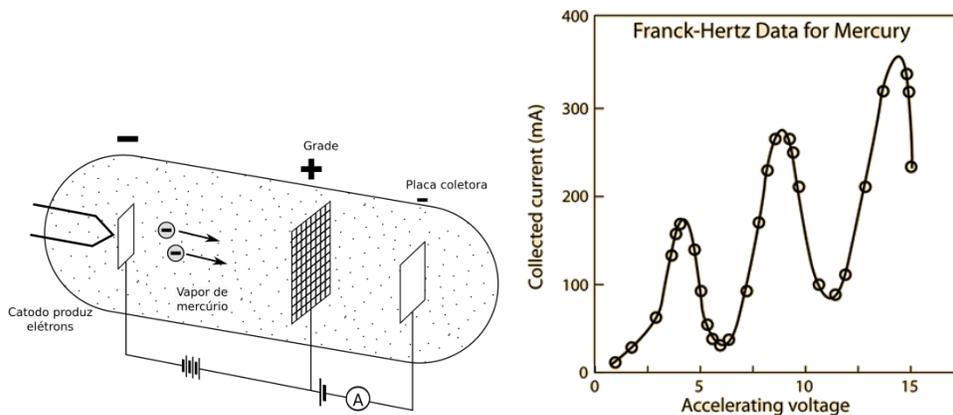


Figura 1: Tubo de Franck Hertz y resultados experimentales originales de la corriente medida en el colector versus el voltaje de aceleración para el Mercurio.

Los electrones son acelerados en el aparato de Franck-Hertz y la corriente colectada se incrementa cuando aumenta el voltaje de aceleración, como se muestra en la figura 1, cuando el voltaje de aceleración alcanza 4.9 V, la corriente cae abruptamente, poniendo de manifiesto la aparición abrupta de un nuevo fenómeno que quita energía a los electrones de modo tal que no pueden alcanzar el electrodo colector.

La caída en la corriente colectada se atribuye a colisiones inelásticas entre los electrones acelerados y los electrones atómicos en los átomos de mercurio. En las colisiones inelásticas se pierde energía, a diferencia de las elásticas en las que esta no se pierde. La aparición súbita de

este efecto sugiere que los electrones del mercurio no pueden aceptar energía hasta que esta llega al umbral necesario para elevarlos a un estado excitado.

El estado excitado observado en la caída de 4,9 V corresponde a una línea intensa en el espectro de emisión ultravioleta del mercurio a 254 nm (un fotón de 4.9eV). Caídas en la corriente colectada ocurren a voltajes múltiplos de 4.9 Volts ya que un electrón acelerado que tiene 4.9 eV de energía, en una colisión inelástica, cede esta al átomo de mercurio, quedando sin energía, pero el electrón puede ser reacelerado para producir otra de estas colisiones a voltajes múltiplos de 4.9 volts. Este experimento fue una convincente confirmación de la idea de los niveles de energía atómicos cuantizados.

En esta experiencia vamos a reproducir la experiencia de Franck Hertz, para un tubo con gas Argón en su interior. Un diagrama del tubo utilizado lo podemos encontrar en la Figura 2

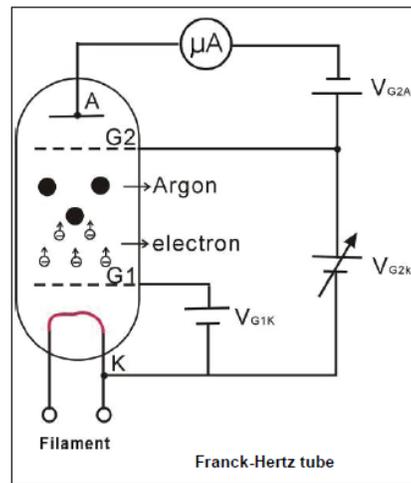


Figura 2

Donde K es el cátodo; A el ánodo; G_1 grilla 1; G_2 grilla 2; V_{G1K} es el voltaje entre el cátodo y la grilla 1; V_{G2A} es el voltaje entre la grilla 2 y el ánodo; V_{G2K} es el voltaje de aceleración entre ambas grillas.

En el interior del tubo el cátodo se calienta por efecto Joule y por efecto termoiónico emite electrones. La nube electrónica se separa del cátodo por la grilla 1 con un pequeño voltaje positivo de preaceleración. El voltaje de preaceleración entre el cátodo y la primera grilla auxiliar cumple la función de remover la carga espacial que se genera alrededor del cátodo. La nube electrónica es acelerada por la grilla 2 cargada positivamente. La placa colectora tiene un pequeño potencial negativo respecto a la grilla 2, de modo tal que solo los electrones que están por encima de un cierto umbral de energía la pueden alcanzar. Este potencial se denomina potencial de frenado.

Se utiliza un voltaje de frenado entre la grilla 2 y el ánodo para eliminar la nube electrónica que se forma alrededor del ánodo (placa colectora), compensar el voltaje inicial entre el filamento y la grilla adicional y detener los electrones con muy poca energía cinética después de una colisión inelástica. Entre la grilla 1 y la grilla 2 se aplica un voltaje creciente que no debe superar los 85 V. ya que por encima de estos valores puede ocurrir una descarga por ionización del gas.

La Figura 3 muestra las medidas de la corriente en ánodo I_A como función del voltaje de aceleración V_{G2K} . Note que claramente la corriente decrece bruscamente a partir de un voltaje U_1 y

luego incrementa hasta llegar a U_2 y luego este patrón se repite. La interpretación de estas observaciones es exitosa bajo los siguientes supuestos:

Para potenciales bajos, los electrones acelerados adquirieron solamente una pequeña cantidad de energía cinética. Cuando se encontraron con los átomos del mercurio en el tubo, participaron en colisiones puramente elásticas. En las colisiones puramente elásticas, la cantidad de energía cinética en el sistema sigue siendo igual, ya que los electrones son unas mil veces menos masivos que los átomos más ligeros, esto significa que la mayoría de los electrones mantuvieron su energía cinética, por tanto a medida que se incrementa el voltaje hasta U_1 , son más los electrones que llegan al ánodo, por tanto la corriente aumenta.

Cuando el voltaje llega a U_1 , las colisiones comienzan a ser inelásticas, por lo que la energía cinética del electrón se pierde, ganándola el átomo de Argón. Esto está en concordancia con predicción de la mecánica cuántica, que dice que un átomo no puede absorber ninguna energía hasta que la energía de la colisión exceda el valor requerido para excitar un electrón que esté enlazado a tal átomo a un estado de una energía más alta.

Después de una colisión inelástica, los electrones pierden su energía cinética, pero luego continúan siendo acelerados, de modo que la corriente vuelve a aumentar hasta llegar a U_2 , donde participan los electrones nuevamente en otra colisión inelástica, y así nuevamente hasta llegar a U_6

Estos supuestos, nos llevan a concluir que:

- Cuando el electrón acelerado, llega a tener una energía cercana a eU_0 y colisiona con el átomo de Argón, estos pueden transmitir su energía cinética a los electrones del átomo, llevando a estos a su primer estado de excitación.
- Si su energía es el doble del valor requerido, o $2eU_0$, pueden chocar dos veces inelásticamente y de manera similar para voltajes más altos.
- Como consecuencia de este hecho, una línea fuerte se puede encontrar para la emisión y la absorción correspondiente a una energía de eU_0 , la línea espectral de emisión o absorción corresponde a una longitud de onda de $\lambda = 108,1nm$, en el espectro óptico.

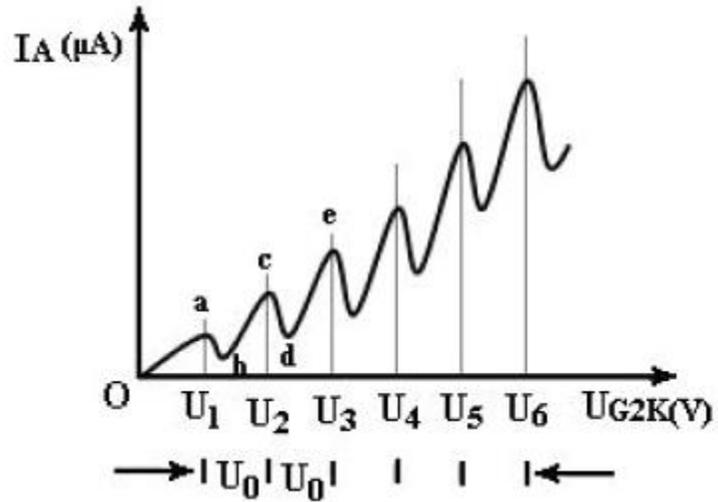


Figura 3 : Curva de Corriente en el ánodo

En la figura 3 el voltaje de resonancia es denotado por U_0 y la energía potencial del electrón es la energía de emisión o de absorción del primer estado excitado al nivel fundamental, por tanto:

$$eU_0 = h\nu = \frac{hc}{\lambda}, \text{ con lo cual } (1) \quad h = e\lambda \left(\frac{U_0}{c} \right); \text{ donde } h \text{ es la constante de Planck}$$

y c es la rapidez de la luz en el vacío.

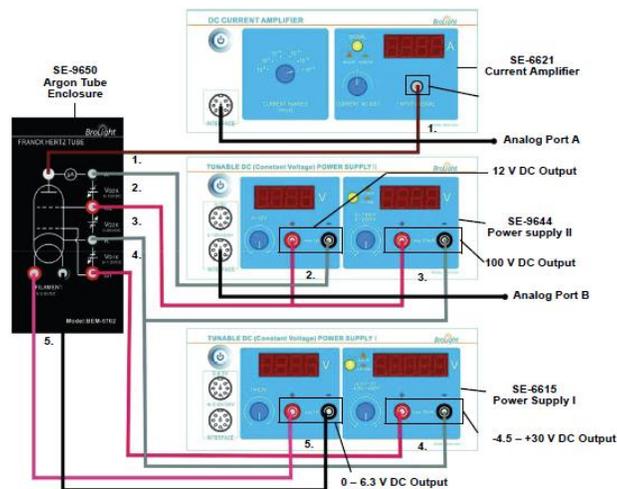
Materiales:

1. Fuente de alimentación sintonizable. Voltaje DC. Power supply I
2. Fuente de alimentación sintonizable. Voltaje DC. Power supply II
3. Amplificador de corriente DC
4. Tubo de Argón
5. 5 Cables de conexión negros
6. 5 Cables de conexión rojo
7. 3 cables de alimentación
8. 1 cable NBC
9. Cable de extensión 8-pin DIN



Procedimiento:

1. Conecte los cables según la siguiente figura:



2. Coloque las fuentes de alimentación sintonizable (Voltaje DC). Power Supply I y Power Supply II, así como el Amplificador de Corriente DC con el interruptor en la posición **ON**.

3. En el Amplificador de Corriente coloque el rango de corriente en 10^{-10} A. Seleccione en el ajuste de Corriente una corriente igual a cero, apretando el botón que indique Calibración. Ajuste la corriente de calibración en cero, luego deje el botón fuera, indicando Medida.
4. En la Power Supply I, seleccione el rango de voltaje de -4,5 - +30 V. En la Power Supply II, seleccione el rango de Voltaje en 0-100V.
5. En la Power Supply I gire la perilla que indica 0-6,3 V, ajustando la lectura del voltímetro en 3,5 V. Este será el voltaje en el filamento $V_H=3,5$ Fuente de alimentación sintonizable.
6. En la Power Supply I gire la perilla de -4,5 - +30V, ajustado la lectura del voltímetro en 1,5 V, este será el voltaje entre la primera grilla y el cátodo K, $V_{G1K}=1,5V$.
7. Gire la perilla de 1 – 12V ajustando la lectura del voltímetro en 10V, este será $V_{G2A}=10,0$ V, el voltaje retardador entre la segunda grilla y el ánodo A.
8. Ajuste la perilla de 0 – 100V, hasta que la lectura del voltímetro sea 0V. $V_{G2K}=0$, el voltaje de aceleración es cero.
9. Deja que el tubo de Argón y el aparato se caliente durante 15 minutos.
10. Cuando haya transcurrido este tiempo, chequee que el filamento en la bombilla $V_H=3,5$ V, $V_{G1K}=1,5V$, $V_{G2A}=10V$. Si es así, el equipo estará listo para la toma de medidas.

Instrucciones de mediciones:

1. Incremente el voltaje de aceleración en una pequeña cantidad (ejemplo 1 V), registre este nuevo voltaje de aceleración V_{G2K} y la Corriente I_A en la tabla 1.1. Continúe aumentando la tensión con el mismo incremento y registre este voltaje de aceleración y la Corriente, registrando estos valores en la tabla 1.1. pare cuando el $V_{G2K}=85V$ (si la corriente se sale de rango, coloque el rango de corriente en 10^{-9} A).
2. Trate de identificar las "posiciones de los picos", es decir, determinar los valores de la V_{G2K} (voltaje de aceleración) para el que la corriente alcanza un máximo local y comienza a disminuir ante un pequeño incremento del voltaje de aceleración. Registre varios datos (V_{G2K} , I_A) que estén en torno a las posiciones de los pico y regístrelas en la tabla 1.2. Trate de identificar las "posiciones de los valles", es decir, determinar los valores de la V_{G2K} voltaje de aceleración para el que la corriente alcanza un mínimo local y comienza a aumentar bajo un pequeño incremento del voltaje de aceleración, tome los algunos datos de (V_{G2K} , I_A) en torno a estas posiciones de los valles y regístrelas en la tabla 1.2
3. Tome los suficientes valores del Voltaje que le permitan determinar las posiciones de los picos y valles.

Table 1.1: Accelerating Voltage and Tube Current

V_{G2K} (V)									
I_A ($\times 10^{-10}$ A)									

Table 1.2: Peak and Valley Voltages

		V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6
Peak positions	V_{G2K} (V)						
	I_A ($\times 10^{-10}$ A)						
Valley positions	V_{G2K} (V)						
	I_A ($\times 10^{-10}$ A)						

Análisis de datos

1. Grafique en Data Studio, la corriente en el eje vertical (eje y) versus el voltaje de aceleración en el eje horizontal
2. Encontrar las posiciones de los picos y de los valles, las posiciones en las que los voltajes de aceleración son $V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6$.
3. Obtenga el primer potencial de excitación V_0

$$V_0 = \frac{(V_2 - V_1) + (V_3 - V_2) + (V_4 - V_3) + (V_5 - V_4) + (V_6 - V_5)}{5}$$

4. Calcule el valor de la constante de Planck, utilizando la ecuación (1). Compare con el valor teórico y calcule el error porcentual

$$h = e\lambda\left(\frac{V_0}{c}\right)$$

where $e = 1.602 \times 10^{-19}$ C, $\lambda = 108.1$ nm, and $c = 3 \times 10^8$ m/s.

$$\Delta h = |(h - h_0) / h_0| \times 100\% =$$

Preguntas:

1. ¿Para calcular la energía de excitación utilizó las posiciones de los picos o valles o ambas? Explique.
2. ¿Qué puede concluir a partir de sus resultados experimentales?
3. ¿Cómo se puede determinar con precisión la posición del pico / valle? Explicar y justificar sus estimaciones.
4. ¿Cómo pueden afectar los contaminantes moleculares en el tubo a sus resultados?