

Experimento de Franck-Hertz en mercurio

Registro con osciloscopio,
registrador x-y o punto por punto

Objetivos del experimento

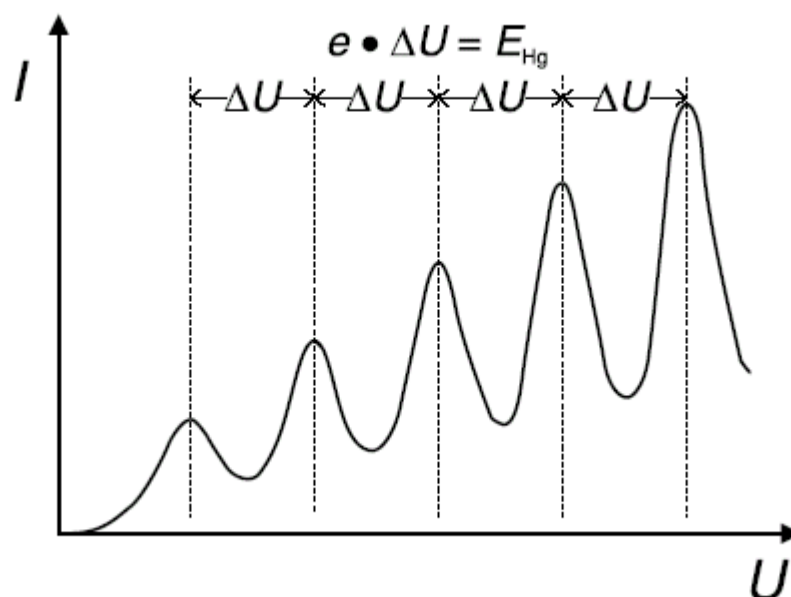
- Trazado de una curva de Franck-Hertz en mercurio.
- Medición de la entrega discontinua de los electrones libres en un choque inelástico
- Interpretación del resultado de las mediciones como absorción discreta de energía de los átomos de mercurio

Fundamentos

En 1914, James Franck y Gustav Hertz descubrieron que los electrones, al pasar por vapor de mercurio, perdían energía de manera discreta y emitían luz ultravioleta ($\lambda = 254 \text{ nm}$). Unos meses después, Niels Bohr encontró en dicho descubrimiento una prueba del modelo atómico por él desarrollado. Por este motivo, la experiencia de Franck - Hertz es un experimento clásico para la confirmación de la teoría cuántica.

En un tubo de vidrio donde previamente se practicó un vacío se encuentran átomos de mercurio a una presión de vapor de aproximadamente 15 hPa, que se mantiene constante regulando la temperatura. Se estudia aquí la pérdida de energía por parte de los electrones libres al dispersarse inelásticamente los átomos de mercurio, o sea, al sufrir éstos una excitación por colisión.

Corriente de electrones que fluye hacia el colector como función de la tensión de aceleración en el experimento de Franck-Hertz en mercurio (representación esquemática)



Equipo

1 tubo de Franck-Hertz, Hg	555 85
1 zócalo de conexión para el tubo de Franck-Hertz 555 85 con ficha múltiple ..	555 861
1 horno eléctrico, 220 V	555 81
1 unidad de operación de Franck-Hertz	555 88
1 sensor de temperatura NiCr - Ni	666 193

para optimizar la curva FH se recomienda:

1 osciloscopio de dos canales 303	575 211
2 cables para mediciones BNC/4 mm	575 24

para trazar la curva FH se recomienda:

1 registrador XY - Yt SR 720	575 663
cables	

El tubo de vidrio contiene un sistema cilíndrico y simétrico de cuatro electrodos (ver figura 1). A unas décimas de milímetro del cátodo K se encuentra, rodeándolo, el electrodo de control G_1 en forma de rejilla; a distancia un tanto mayor, rodeando a G_1 , una rejilla de aceleración G_2 , y, en torno a ésta, el electrodo colector A. El cátodo es calentado de manera indirecta a fin de evitar una diferencia de potencial a lo largo de K..

Del electrodo calentado salen los electrones que forman una nube de carga espacial. Éstos son atraídos por la tensión U_1 existente entre el cátodo y la rejilla G_1 . La corriente de emisión es prácticamente independiente de la tensión de aceleración U_2 entre las rejillas G_1 y G_2 , más allá de la inevitable transparencia de rejilla. Entre la rejilla G_2 y el colector A existe una tensión opuesta U_3 . Sólo los electrones con suficiente energía cinética llegan al electrodo colector y forman parte de la corriente de colector.

En el experimento, manteniendo constantes las tensiones U_1 y U_3 , se aumenta la tensión de aceleración U_2 desde 0 V hasta 30 V y se mide la correspondiente corriente de colector I_A . Ésta crece de manera similar a como ocurre en un tetrodo clásico, pero alcanza un máximo, si la energía cinética de los electrones poco antes de la rejilla G_2 llega a ser suficiente para ceder, por colisiones, la energía necesaria para excitar un átomo de mercurio ($E_{Hg} = 4,9$ eV). La corriente de colector disminuye drásticamente, dado que los electrones, tras colisionar, no pueden ya superar la tensión inversa U_3 .

Haciendo crecer la tensión de aceleración U_2 , los electrones alcanzan, a una distancia cada vez mayor de la rejilla G_2 , la energía necesaria para excitar los átomos de mercurio. Luego de la colisión son nuevamente acelerados y, con una tensión de aceleración suficiente, absorben por segunda vez tanta energía del campo eléctrico que pueden excitar un átomo de mercurio. La corriente de colector I_A llega así a un máximo y, para una tensión U_2 aún mayor, a nuevos máximos.

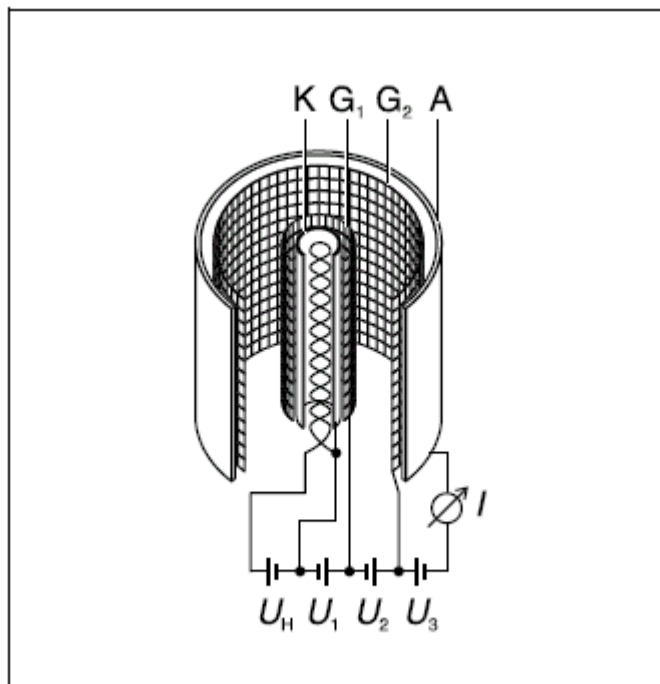


Fig. 1 Representación esquemática del tubo de Franck-Hertz con Hg

Advertencia

La curva de Franck-Hertz puede efectuarse en su totalidad con la mano.

Se recomienda utilizar un osciloscopio de dos canales para obtener una representación rápida y general a fin de, por ejemplo, optimizar los parámetros del experimento. No obstante, debe prestarse atención a que una imagen quieta del osciloscopio requiere para la tensión de aceleración una frecuencia de repetición para la cual las capacitancias del tubo de Franck-Hertz y del zócalo comienzan a tener influencia. La corriente necesaria para descargar los electrodos produce un pequeño corrimiento y una leve deformación de la curva de Franck-Hertz.

Para trazar la curva de Franck-Hertz se recomienda utilizar un registrador X-Y.

a) Medición manual:

- Con el selector seleccionar MAN y variar manualmente U_2 de forma pausada entre 0 y 30 V.
- Leer la tensión U_2 y la corriente I_A en el display; para ello cambiar en cada caso la modalidad con el selector.

b) Representación con osciloscopio:

- Unir la ficha hembra de salida $U_2/10$ con el canal II (0,5 V/DIV) y la ficha hembra de salida U_A con el canal I (2 V/DIV) del osciloscopio; seleccionar en el osciloscopio el modo X-Y.
- En la unidad de operaciones Franck-Hertz seleccionar "diente de sierra".
- Elegir la posición Y de forma que la parte superior de la curva pueda visualizarse por completo.

c) Trazado con el registrador X-Y:

- Unir las fichas hembra $U_2/10$ con la entrada X (0,2 V/cm CAL.), y U_A con la entrada Y (1 V/cm CAL.) del registrador X-Y.
- Seleccionar el modo RESET.

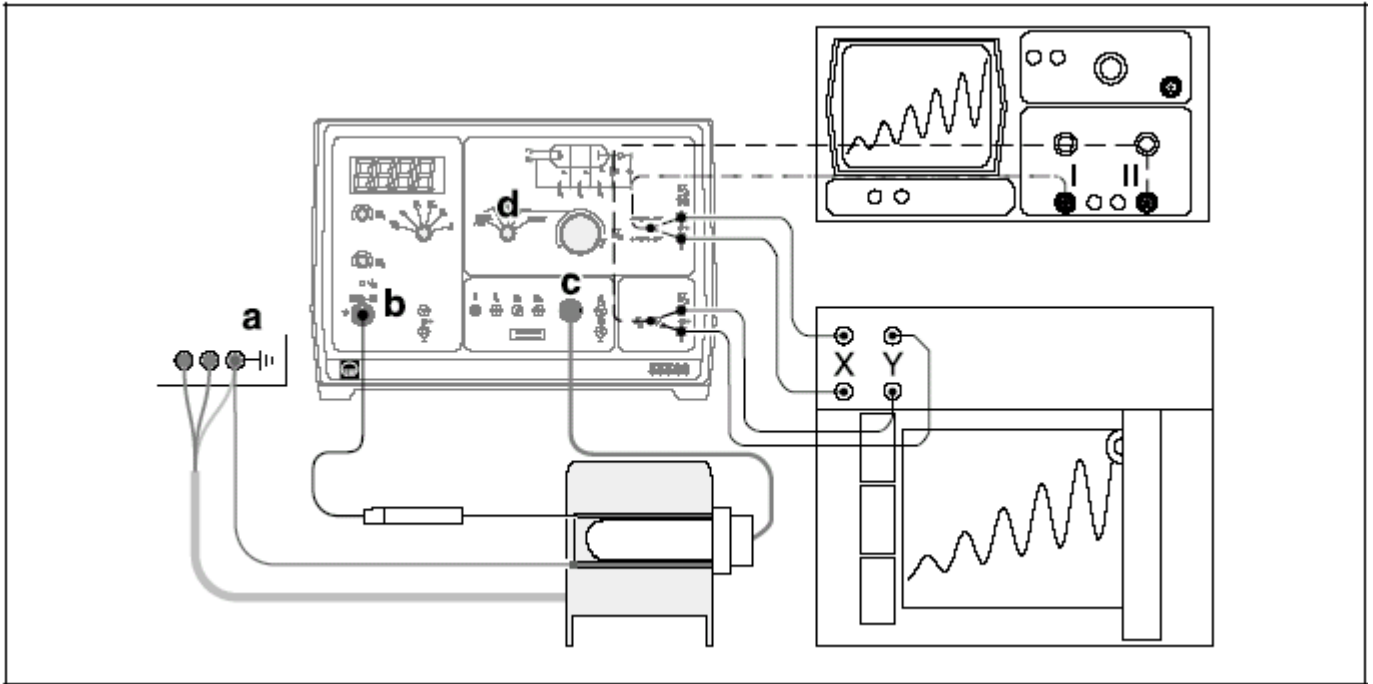


Fig. 2 Montaje del experimento de Franck-Hertz en mercurio

- Ajustar el punto cero del registrador en las direcciones X e Y, y marcar en el papel bajando brevemente el lápiz del registrador.
- Para realizar el trazado, seleccionar "Rampe" y bajar luego el lápiz del registrador.
- Luego de haber terminado el trazado levantar el lápiz del registrador y seleccionar RESET.

Montaje

El montaje del experimento se muestra en la figura 2.

Primero:

- Dejar apagada la unidad de operación.
- Conectar el horno del tubo a los casquillos de seguridad (a) de 4 mm situados en la parte trasera de la unidad de operación.
- Conectar el cable de cobre del tubo de cobre con la clavija de 4 mm a los casquillos de seguridad de color amarillo y verde (blindaje del tubo de Franck-Hertz contra la interferencia de campos).
- Conectar la clavija DIN del sensor de temperatura al casquillo (b) de la unidad de operación, y la clavija DIN del tubo de Franck-Hertz al casquillo (c).

Calentamiento:

Indicación:

Si no se tiene un buen contacto térmico del sensor de temperatura se medirá una temperatura del horno mucho menor y el tubo se calentará demasiado.

- Introducir el sensor de temperatura por el orificio en el horno hasta hacer tope en el agujero ciego del tubo de cobre y deslizar éste más el tubo de Franck-Hertz dentro del horno.
- Girar el selector (d) a RESET, y encender la unidad de operación (luego de unos pocos segundos cambia la indicación del LED, pasando, para el mercurio, de verde a rojo).
- Controlar el preajuste de $\vartheta_s = 180\text{ }^\circ\text{C}$ y esperar hasta que se alcance la temperatura de funcionamiento (la indicación del LED cambia de rojo a verde, la temperatura ϑ alcanza primero un máximo y luego decrece hasta el valor final).

En el caso de que la indicación del display parpadee:

- Corregir los errores de montaje en la medición de temperatura (ver instrucciones de uso).

Optimización de la curva FH:

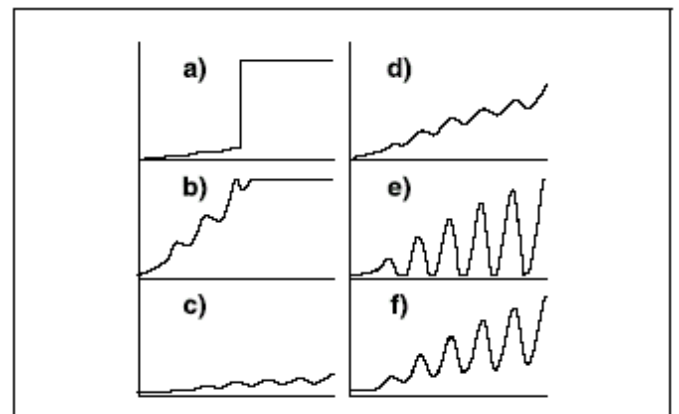
- Seleccionar $U_1 = 1,5\text{ V}$ y $U_3 = 1,5\text{ V}$, y trazar la curva de Franck-Hertz (ver advertencia).

a) Optimización de ϑ

En el caso de que la curva FH suba de manera abrupta (ver figura 3a) y se observe por el orificio del horno del tubo una descarga de gas en forma de brillo azul en el tubo FH:

- Llevar el selector inmediatamente a RESET y esperar hasta que se haya alcanzado la temperatura de funcionamiento.
- Elevar el valor de ajuste ϑ_s con el potenciómetro (por ejemplo, en $5\text{ }^\circ\text{C}$) y esperar unos minutos hasta lograr un nuevo equilibrio térmico.

Fig. 3 Representación esquemática de la optimización de las curvas de Franck-Hertz mediante la elección adecuada de los parámetros ϑ , U_1 y U_3 .



b) Optimización de U_1 :

Una tensión U_1 mayor provoca una corriente electrónica de emisión más elevada.

En el caso de que la curva FH suba demasiado abruptamente, o sea, que ya por debajo de $U_2 = 30$ V sea alcanzada la capacidad de sobrecarga del amplificador de corriente y la curva FH sea recortada arriba (ver figura 3b):

- Reducir U_1 hasta que la pendiente de la curva corresponda a la figura 3d.

En caso de que la curva FH ascienda con demasiado poca pendiente, o sea, que la corriente de colector I_A permanezca por debajo de los 5 nA (ver figura 3c):

- Elevar U_1 (máximo: 4,8 V) hasta que la pendiente de la curva corresponda a la figura 3d.

En el caso de que la curva de Franck-Hertz permanezca demasiado aplanada a pesar del incremento de U_1 :

- Reducir con el potenciómetro el valor de ajuste ϑ_s para la temperatura del horno.

a) Optimización de U_3 :

Una tensión en sentido contrario U_3 de mayor valor hace que los máximos y mínimos de la curva de Franck-Hertz sean más marcados mientras que la corriente de colector se reduce.

En el caso de que los máximos y mínimos de la curva de Franck-Hertz no estén bien marcados (ver figura 3d):

- Elevar alternativamente primero la tensión U_3 (máximo: 4,5 V) y luego U_1 hasta alcanzar la forma de la curva de la figura Fig. 3f.

En el caso de que los mínimos de la curva de Franck-Hertz sean recortados abajo (ver figura 3e):

- Disminuir alternativamente primero la tensión U_3 (máximo: 4,5 V) y luego U_1 hasta alcanzar la forma de la curva de la figura Fig. 3f.

Realización

- Trazar la curva de Franck-Hertz (ver Advertencia).
- Eventualmente, a los fines de una mejor representación de los primeros máximos, aumentar la sensibilidad de la entrada Y y volver a trazar la curva.

Ejemplo de medición y análisis

$$U_1 = 1,58 \text{ V}$$

$$U_3 = 3,95 \text{ V}$$

$$\vartheta_s = 180 \text{ }^\circ\text{C}$$

A partir de la figura 4 se llega al valor de la distancia entre máximos sucesivos, por término medio

$$\Delta U_2 = 5,1 \text{ V,}$$

que corresponde a una energía cedida de

$$\Delta E = 5,1 \text{ eV.}$$

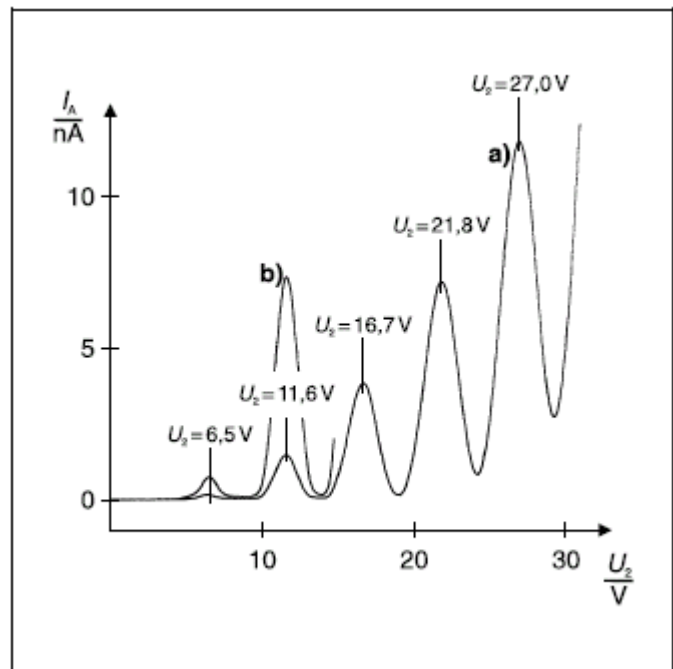


Fig. 4 a) Curva de Franck-Hertz en mercurio (trazada con el registrador XY),
b) Segmento con ordenada cinco veces mayor

Este valor puede compararse al extraído de tablas

$$E_{\text{Hg}} = 4,9 \text{ eV}$$

para la transición del estado fundamental $1S_0$ al primer estado $3P_1$ de los átomos de mercurio.

La energía cinética de los electrones en la rejilla G_2 se calcula partiendo de

$$E_{\text{cin}} = e \cdot (U_1 + U_2)$$

Por lo que se espera el primer máximo de la corriente de colector para $U_1 + U_2 = 4,9$ V, en la práctica se lo registra para $U_1 + U_2 = 8,1$ V. La diferencia entre ambos valores es la tensión de contacto que actúa entre el cátodo K y la rejilla G_2 .

Información adicional

La tensión de contacto se debe a varios efectos, entre los que pueden mencionarse:

La tensión de contacto propiamente dicha, que es provocada por los trabajos (para arrancar los electrones de la superficie) distintos para el material del cátodo y para el de la rejilla. Aquí juegan un papel importante las propiedades de emisión del cátodo de óxido mixto y la carga de gas o bien el recubrimiento de Hg en la rejilla.

Los electrones que salen del cátodo caliente poseen una velocidad inicial dependiente de la temperatura del cátodo.