

Experimento de Franck-Hertz

Fabian Trigo, Aldo Aliaga, Benjamín Yapur
Departamento de Física y Astronomía, Universidad de Valparaíso

26 de diciembre de 2022

Resumen

Acelerando electrones dentro de una cámara de argón, parte de la energía es absorbida y reemitida con una longitud de onda de $\lambda = 108.1 \times 10^{-9} m$, calculando los saltos de energía los cuales fueron $11.66 \pm 0.5 eV$ se calculó la constante de Planck: $(6.735 \pm 0.3) \times 10^{-34} Js$, lo cual comparada a los valores modernos Zettili, 2009: $6.626 \times 10^{-34} Js$ es un error de: 1.65 %

1. Introducción

Se recreó el experimento de Hertz mencionado en el discurso nobel de Planck Planck, s.f., en 1941 James Franck y Gustav Hertz descubrieron una 'perdida de energía en distintos intervalos para un electrón atravesando vapor de mercurio' y una emisión correspondiente al ultravioleta de $\lambda = 254 nm$; por este experimento se les entregó el Premio Nobel en 1925. En este experimento no se realizará un estudio de la espectroscopia del sistema, en el caso del mercurio sus emisiones son débiles y en una proporción ultravioleta del espectro, en esta versión con argón la emisión se le entrega previamente al experimentador, con un valor de $\lambda = 108.1 nm$.

1.1. Colisiones inelásticas

En las colisiones elásticas, el electrón impacta contra el átomo y continúa con la misma velocidad antes del impacto pero con dirección distinta. Cuando las velocidades son elevadas (sobre $1.3M[m/s]$) las colisiones se vuelven inelásticas) de aquí en adelante en lugar de hablar de velocidades se hablará de energía, la cual en el caso listado corresponde a $4.9[eV]$ para el átomo de Mercurio entonces allí la velocidad del electrón cambia, pues el átomo de Mercurio absor-

be energía y la reemite en forma de radiación.

Esta radiación corresponde de acuerdo a la teoría de Bohr Bohr, 1913 de la cuantización de niveles de energía; el átomo de Mercurio/Argón al absorber energía del electrón (absorber energía de su velocidad) sus electrones internos suben de un nivel de energía a otro, mediante la fórmula de Rydberg derivada en el artículo anterior Aliaga et al., 2022:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{m_e Z^2 e^4}{8h^3 c} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (1)$$

donde Z es la cantidad de protones en el núcleo, donde m es el nivel externo y n el nivel interno, esta fórmula se utiliza para la emisión de fotones con longitud de onda λ , para el presente experimento el Argón el salto de los dos primeros niveles adyacentes da una emisión con longitud de onda: $\lambda = 108.1[nm]$; utilizando la cuantización de energía de Planck:

$$\Delta E = h\nu = h \frac{c}{\lambda} \quad (2)$$

Si se consigue calcular experimentalmente los saltos de energía, o sea cual es la diferencia energética para provocar un salto de dada λ entonces es posible calcular la constante de Planck h experimentalmente; ese será el objetivo de este artículo.

2. Montaje Experimental

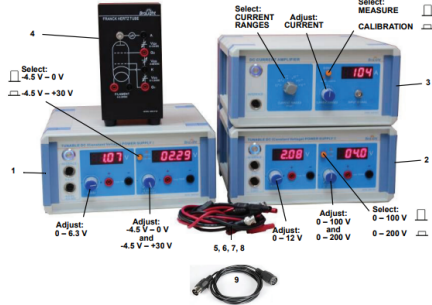


Figura 1: Lista de Elementos Experimento

2.1. Herramientas

- Fuente de Poder I DC - Modelo SE-6615
- Fuente de Poder II DC - Modelo SE-9644
- Amplificador de Corriente DC - Modelo SE-6621
- Tubo de Argon - Modelo SE-9650
- Cables de conexión
- Cable BNC

Sigase el siguiente esquema de circuito, teniendo en cuenta los limites de voltaje especificados por el tubo de argón

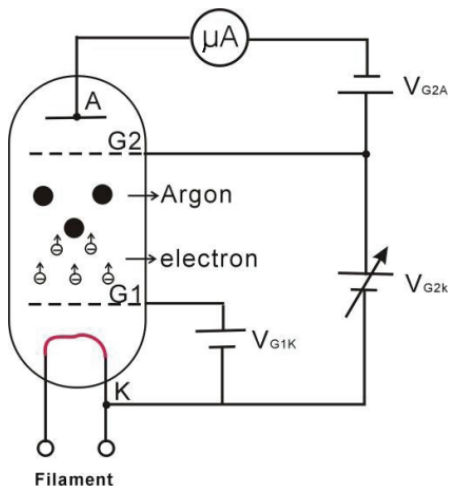


Figura 2: Circuito Tubo de Argón

ha de alimentarse con una diferencia de potencial el filamento V_H , junto a este filamento se tiene un punto de referencia K el cual esta cargado negativamente; la grilla G1 se encarga de acelerar los electrones, entre G1 y K existe una diferencia de potencial V_{G1K} de manera que los electrones van desde K hacia G1 acelerando (con energia cinetica).

Luego los electrones entre G1 y G2 (grilla 2) poseen la diferencia de potencial principal la cual se encargó de entregarles la mayor parte de energia de manera que posean suficiente para colisionar con los atomos de Argón en colisiones inelasticas; tengase en cuenta que existe tambien una diferencia de potencial entre G2 y K V_{G2K} , por tanto comparte el cable del negativo con G1.

Entonces, antes de llegar al punto A donde son finalmente medidos, se dejó una diferencia de potencial que se opone a los electrones que entran V_{G2A} , cuando los electrones han perdido energía debido a las colisiones, no tienen suficiente para sobrepasar esta diferencia de voltaje, permitiendo así al experimentador filtrar aquellas colisiones y hacerlas visibles en el análisis.

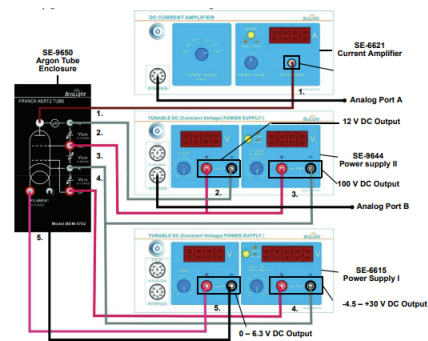


Figura 3: Conexiones

3. Análisis

Los datos fueron almacenados en Trigo, s.f., en la siguiente tabla

Cuadro 1: Tabla con una parte de los datos para el experimento de Hertz

index	V [Volts]	I [μ A]
0	6.4	0
1	7	13
2	8	63
3	9	100
4	10	118
5	11	128
6	12	134
...
56	74	372
57	75	389
58	76	391
59	78	359
60	79	326
61	80	287

y estos datos en grafico pueden observarse como:

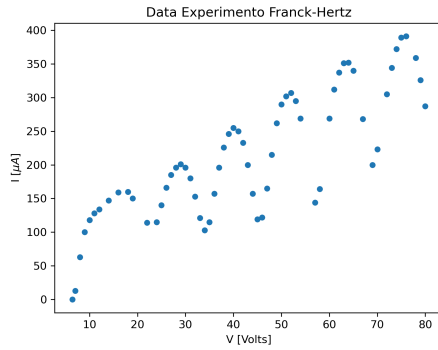


Figura 4: Datos Hertz, voltaje acelerador vs corriente detectada

entonces utilizando el siguiente codigo de Python que compara los puntos a su alrededor, permite encontrar que puntos corresponden al minimo y al maximo

```
df1['minV'] = df1.V[
    (df1.I.shift(1) >= df1.I)
    & (df1.I.shift(-1) >= df1.I) ]

df1['maxV'] = df1.V[
    (df1.I.shift(1) < df1.I)
    & (df1.I.shift(-1) < df1.I) ]
```

Lo cual al aplicar un proceso de filtrado a los datos utilizando pandas, se presentan como:

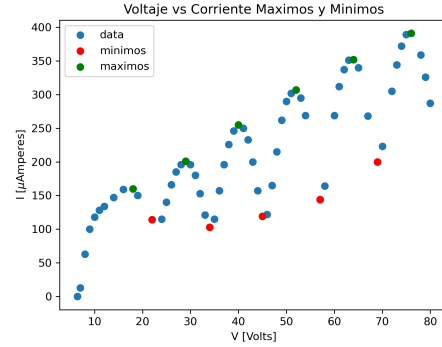


Figura 5: Datos Hertz, voltaje acelerador vs corriente detectada con los maximos y minimos coloreados

3.1. Confirmar que son datos periodicos

Podemos analizar la periodicidad de los datos con una transformada de fourier, la cual asume que podemos reescribir los datos como y_n un arreglo con el index n que se calcula de acuerdo a:

$$y_n = \sum_k^{N+1} c_k e^{i\omega_k n/N}$$

donde los coeficientes se calculan mediante:

$$c_k = \sum_n^{N+1} y_n e^{-i\omega_k n/N}$$

de esta manera se consiguen varios coeficientes, cada uno corresponde a una frecuencia y a una magnitud, puede observarse aqui 6

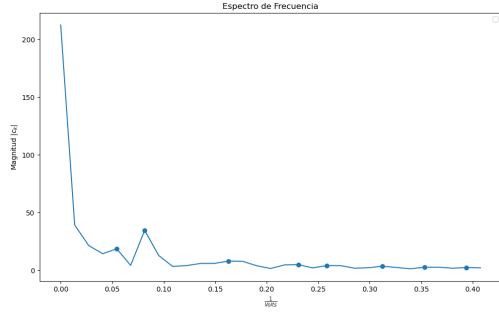


Figura 6: Espectro de frecuencias para la transformada de Fourier

donde las magnitudes mas grandes implican una mayor importancia, por ejemplo para una frecuencia de 0, que provoca que la oscilacion parta en aproximadamente 150.

Notese que aun sin cortar datos, es posible rearmar perfectamente la funcion con los coeficientes:

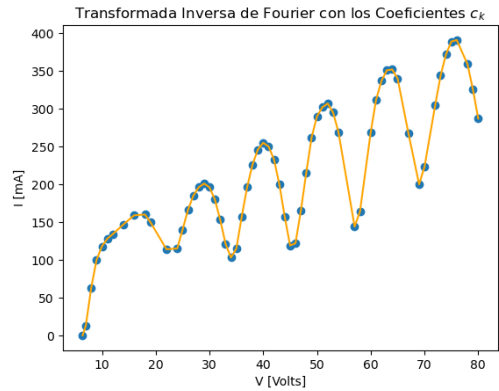


Figura 7: Inversa de la Transformada de Fourier (naranja) y los datos (azules)

3.1.1. Analizando la oscilacion

Para el analisis de Fourier se comenzó eliminando la porcion de datos que no corresponden a la oscilacion bien comportada que aparece con voltajes sobre el limite V_{G2}

En esta porcion de los datos, los componentes mas significativos son el intercepto entregado por 0 frecuencia y la frecuencia de $0.089286[1/V]$ que corresponde al periodo de

$11.2[V]$, como se puede observar esa frecuencia por si sola comparada a los datos 8

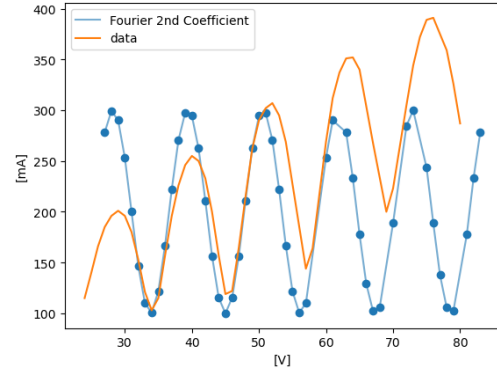


Figura 8: Solo la frecuencia del 2do Coeficiente mas importante

Notar que 6 posee unas pocas frecuencias significativas y otras cercanas a 0, esto demuestra un comportamiento oscilatorio, osea o que existen intervalos fijos entre las energías donde el sistema responde; demostrando la cuantizacion del sistema.

3.2. Maximos y Minimos

Utilizando los datos entonces fue posible obtener los espacios entre máximos y máximos; mínimos y mínimos, lo cual entregó lo que de acuerdo a la introducción es la V_0 , osea se refiere a que los saltos de energía se encuentran cuantizados y ocurren en cada intervalo V_0 :

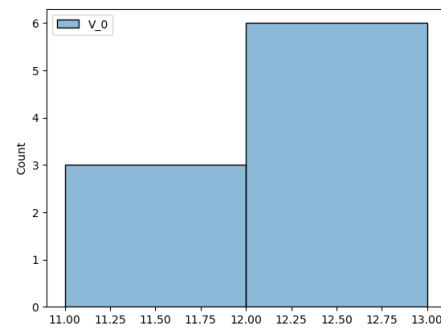


Figura 9: Valores de V_0 , 3 de 11 V y 6 de 12 V

el promedio es de $11.66 \pm 0.5 \text{ Volts}$, donde el

error proviene del espaciado entre puntos.

Recordar que la energía es: $U_0 = eV_0$ es posible medir la energía en electron volts para hacer una conversión directa: $U_0 = 11.66 \pm 0.5 \text{ eV}$

3.3. La Constante de Planck

La línea de emisión para la ampolla es de

$$\lambda = 108.1 \times 10^{-9} [\text{m}]$$

entonces ocurre que:

$$E = U_0 = hf = hc/\lambda$$

por tanto podemos despejar la constante de Planck y la velocidad de la luz

$$h = \frac{\lambda U_0}{c}$$

lo que entrega:

$$h = (4.204 \pm 0.2) \times 10^{-15} \text{ eV s}$$

alternativamente en las unidades SI:

$$h = (6.735 \pm 0.3) \times 10^{-34} \text{ J s}$$

4. Conclusión

El análisis demuestra una cuantización de las energías de absorción para el elemento Argón en la lámpara, mediante distintos métodos, el primero gráfico trabajando con los máximos y mínimos visibles al ojo del experimentador; el segundo más general, útil para grandes cantidades de datos y con más ruido de por medio, pues es posible ignorar coeficientes de la serie de Fourier correspondientes a frecuencias demasiado altas (en lo general suele corresponder a ruido si se tiene la certeza de que el experimento se comporta con frecuencias mucho más bajas).

Ninguno de estos análisis es infalible y requiere que previamente consideremos los fenómenos que ocurren para poder aplicarlos, se cita el tip: primero física, luego matemática y luego física de nuevo. La energía entre los saltos del argón es de $U_0 = 11.66 \pm 0.5 \text{ eV}$

La constante de Planck que calculamos es de $(6.735 \pm 0.3) \times 10^{-34} \text{ J s}$, lo cual comparada a los

valores modernos Zettili, 2009: $6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}$ es un error de: 1.65 %, sin embargo el valor moderno de la constante se encuentra dentro de la incertidumbre debido al experimento.

Referencias

- Bohr, N. (1913). The Spectra of Helium and Hydrogen. *Nature*, 92(2295), 231-232. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/092231d0>
- Zettili, N. (2009). *Quantum Mechanics: Concepts and Applications*. Wiley.
- Aliaga, A., Yapur, B., & Trigo, F. (2022). Análisis Espectral: Determinación de las Longitudes de Onda de Distintos Elementos y Determinación de la Constante de Rydberg. <https://doi.org/https://bit.ly/rydbergc>
- Planck, M. (s.f.). *Max Planck - Nobel Lecture*. https://web.archive.org/web/20110715190331/http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1918/planck-lecture.html 1920
- Trigo, F. (s.f.). *Script Python Propagación de Errores*. <https://bit.ly/trigolab4>