



Práctica 5 Series de Balmer

Carlos Esteves Flores

carlos.stvs@ciencias.unam.mx

Facultad de Ciencias
Universidad Nacional Autónoma de México

Fecha de entrega: 31 de mayo de 2023

Resumen

Este trabajo consistió en la medición de las longitudes de onda de las líneas del espectro de emisión en la Serie de Balmer de una lámpara de Hidrógeno, así como la determinación de la constante de Rydberg para este elemento. Se utilizó un arreglo compuesto de una lámpara de hidrógeno, un monocromador y un fotomultiplicador conectado a una fuente de alto voltaje y un electrómetro para observar los máximos de corriente cada vez que se seleccionó la longitud de onda correspondiente a una de las líneas de emisión. Se logró determinar las longitudes de onda de las líneas de la Serie de Balmer del hidrógeno, con un error porcentual promedio de 0.83 %. Además, se encontró un valor promedio para la constante de Rydberg para el hidrógeno, $R_H = (11\ 063\ 040.96 \pm 37\ 322.07)\ \text{m}^{-1}$, el cual difiere en un 0.81 % del valor teórico.

Palabras clave: series de Balmer, espectro de emisión, constante de Rydberg.

Introducción

La serie de Balmer es una serie de líneas espectrales en el espectro visible del hidrógeno. Fue descubierta por Johann Jakob Balmer en 1885. Esta es importante dado que las líneas corresponden a electrones que hacen transiciones desde un nivel $n \geq 3$ hacia el nivel $n = 2$, donde n representa al número cuántico principal referente al nivel de energía del electrón. Estas transiciones son denominadas secuencialmente por letras griegas y, en este caso, corresponden a cada una de las líneas de emisión del hidrógeno [4]:

- H- α : de $n = 3$ a $n = 2$, $\lambda = 656.3\ \text{nm}$ (rojo).
- H- β : de $n = 4$ a $n = 2$, $\lambda = 486.1\ \text{nm}$ (azul-verde).
- H- γ : de $n = 5$ a $n = 2$, $\lambda = 434.0\ \text{nm}$ (violeta 2).
- H- δ : de $n = 6$ a $n = 2$, $\lambda = 410.2\ \text{nm}$ (violeta 1).

En 1890, el físico sueco Johannes Rydberg notó que estas líneas se pueden encontrar mediante la siguiente

fórmula:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n_a^2} - \frac{1}{n_b^2} \right) \quad (1)$$

donde λ es la longitud de onda de la línea espectral, R_H es la constante de Rydberg para el hidrógeno, y n_a , n_b son números enteros que representan los niveles de energía del electrón en el átomo. El valor reportado para la constante de Rydberg es $10\ 973\ 731.57\ \text{m}^{-1}$ [1].

La serie de Balmer es especialmente importante en astronomía, dado que como el hidrógeno es el elemento más abundante en el universo, las estrellas suelen emitir estas líneas. La serie se utiliza para ayudar a determinar la temperatura superficial de las estrellas.

Espectro de emisión

Los espectros de emisión son aquellos que se producen cuando los átomos de un gas rarificado son excitados por algún medio y emiten radiación; esto sucede cuando los electrones hacen transiciones desde niveles energéticos más altos a niveles más bajos. Estos espectros consisten en líneas brillantes sobre un fondo oscuro y son distintos para cada elemento

o tipo de átomo presente. Por lo tanto, el espectro de emisión es de gran importancia en la determinación de la composición química del gas analizado. [2]

Estos pueden ser *continuos*, los cuales son los emitidos por sólidos, líquidos o gases densos que se encuentran a temperaturas elevadas y están relacionados con la radiación del cuerpo negro. El aspecto cualitativo general de estos espectros es el mismo si las sustancias se encuentran a la misma temperatura, y sólo difieren en su intensidad relativa. Los espectros continuos casi no aportan información sobre la composición química de las sustancias. O por otro lado, pueden ser *espectros de bandas*, que consisten en grupos de un gran número de líneas espectrales, las cuales están muy cercanas entre sí y están asociados con moléculas.

En contraposición a los espectros de emisión, si la luz de una fuente que presenta un espectro continuo pasa a través de un gas que esté a menor temperatura que la fuente del espectro continuo, se produce un *espectro de absorción*, el cual consta de líneas oscuras sobre un fondo brillante coloreado. Se ha encontrado que la disposición de estas líneas corresponde exactamente al de las líneas de emisión del mismo gas. Así, para la identificación de la composición del gas, estas líneas de absorción son tan útiles como las líneas de emisión.



Figura 1. Líneas del espectro de emisión del hidrógeno en la serie de Balmer. [5]

Metodología

Primero, se utilizó una lámpara de mercurio, que se dejó calentar por 20 minutos, para calibrar el monocromador SPEX Minimate (de 0.1 nm de resolución), en el cual se colocaron dos rendijas de 0.065 ± 0.005 cm, que fueron las que permitieron observar de mejor manera las líneas de emisión. Se procedió a buscar, según el manual [3], las longitudes de onda donde se ubicaban las líneas de emisión del mercurio, lo cual fue útil para verificar que el monocromador estuviera funcionando de forma correcta, observando a través de la rendija de salida.

Una vez comprobado, se utilizó una lámpara de hidrógeno, que se dejó calentar por 20 minutos, y se colocó a la entrada monocromador, y a la salida, se montó un fotomultiplicador sobre una mesa de altura variable; después, éste se conectó a una fuente

de alto voltaje Keithley 240A, y a un electrómetro Keithley 610B. Una vez que se calentó la lámpara, se enchufó la fuente y el electrómetro. La fuente se configuró para suministrar un voltaje de entre -1000 V y -800 V, mientras que el electrómetro se configuró con un multiplicador x30, con una escala de 10^{-7} para corriente en amperes.



Figura 2. Arreglo experimental. De izquierda a derecha: lámpara de mercurio, monocromador, fotomultiplicador, electrómetro, fuente de alto voltaje.

Se realizaron cinco rondas de mediciones para las cuatro líneas de Balmer del hidrógeno en el espectro visible, registrando la longitud de onda, al girar la perilla del monocromador, en el momento en el cual se alcanzó un máximo de corriente durante el barrido, desde 380 nm hasta 700 nm, tomando en cuenta las longitudes de onda teóricas de la literatura [4] para facilitar las mediciones.

Resultados

Se obtuvieron las siguientes longitudes de onda promedio para las líneas de la serie de Balmer del hidrógeno:

Línea	λ [nm]	Error porcentual
Violeta 1	403.5 ± 0.2	1.62 %
Violeta 2	429.6 ± 1.7	1.02 %
Azul-verde	482.9 ± 0.2	0.66 %
Rojo	656.2 ± 0.1	0.02 %

Tabla 1. Longitudes de onda promedio de la serie de Balmer del hidrógeno.

En el Apéndice A, se muestran en la Tabla 3 las longitudes de onda medidas en las cinco rondas.

Con los datos de la Tabla 1, se calculó, con cada longitud de onda, la constante de Rydberg, despejando R_H la ecuación 1 como

$$R_H = \frac{1}{\lambda \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n_b^2} \right)}$$

Se muestra a continuación la tabla con las constantes calculadas:

Línea	$R_H [m^{-1}]$	Error porcentual
Violeta 1	11 151 310.90	1.62 %
Violeta 2	11 083 992.28	1.00 %
Azul-verde	11 043 927.22	0.64 %
Rojo	10 972 933.43	0.01 %

Tabla 2. Constante de Rydberg calculada para cada λ .

De la Tabla 2, se obtuvo una constante de Rydberg promedio para el hidrógeno $R_H = (11\ 063\ 040.96 \pm 37\ 322.07) m^{-1}$, que tiene una diferencia porcentual del 0.81 % respecto al valor teórico [1].

Discusión

De los datos obtenidos para cada una de las líneas de Balmer del hidrógeno (Tabla 3), se pudo observar según la Tabla 4, que el error porcentual de las mediciones fue disminuyendo considerablemente cada vez que nos desplazamos hacia longitudes de onda más grandes. En este caso en específico, se observó que el error porcentual de la línea roja del espectro del hidrógeno es mucho menor que el de las demás líneas en el visible; lo cual, posiblemente podría indicar que el monocromador tiende a tener una mejor resolución cuando hay un corrimiento al rojo en la longitud de onda medida. De igual forma, al calcular la constante de Rydberg, se notó que el resultado anterior influye de forma importante en el error porcentual de ésta, pues sigue siendo la línea roja la que mejor se ajustó a los valores predichos por la teoría.

Sin embargo, una manera de comprobar que el corrimiento al rojo da una mayor resolución en las mediciones, habría sido la de realizarlas para lámparas de otros elementos (mercurio, sodio, etc.); pero debido a que faltó tiempo para poder probar esta hipótesis, se deja como sugerencia a futuros trabajos el realizar esta comprobación.

Conclusiones

- Se logró visualizar y medir el espectro de emisión del Hidrógeno, y además, se determinaron las longitudes de onda de las líneas de su Serie de Balmer, con un error porcentual promedio de 0.83 %.
- Se encontró un valor promedio para la constante de Rydberg para el hidrógeno, $R_H = (11\ 063\ 040.96 \pm 37\ 322.07) m^{-1}$, el cual difiere en un 0.81 % del valor teórico de la literatura [1].

Referencias

- [1] Peter J. Mohr et al. *CODATA recommended values of the fundamental physical constants*. NIST, 2010.
- [2] Facultad de Ciencias. *Espectro de emisión, notas de clase*. 29 de mayo de 2023. URL: <https://sistemas.fciencias.unam.mx/~fam/Cursos/Cuantica/Clases/clase3.pdf>.
- [3] Laboratorio de Física Moderna. *Manual de la práctica Series de Balmer*. Facultad de Ciencias, UNAM.
- [4] NIST Physical Meas. Laboratory. *Atomic Spectra Database Lines Data*. 29 de mayo de 2023. URL: https://physics.nist.gov/cgi-bin/ASD/lines1.pl?spectra=H&limits_type=0&low_w=400&upp_w=680&unit=1&submit=Retrieve+Data&de=0&I_scale_type=1&format=0&line_out=0&en_unit=0&output=0&bibrefs=1&page_size=15&show_obs_wl=1&show_calc_wl=1&unc_out=1&order_out=0&max_low_enrg=&show_av=2&max_upp_enrg=&tsb_value=0&min_str=&A_out=0&intens_out=on&max_str=&allowed_out=1&forbid_out=1&min_accu=&min_intens=&conf_out=on&term_out=on&enrg_out=on&J_out=on.
- [5] Wikipedia The Free Encyclopedia. *Balmer series*. 29 de mayo de 2023. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Balmer_series.

Apéndice A. Mediciones de la Serie de Balmer

Línea	$\lambda_1 (\pm 0.1 \text{ nm})$	$\lambda_2 (\pm 0.1 \text{ nm})$	$\lambda_3 (\pm 0.1 \text{ nm})$	$\lambda_4 (\pm 0.1 \text{ nm})$	$\lambda_5 (\pm 0.1 \text{ nm})$
Violeta 1	403.6	403.8	402.7	403.7	403.9
Violeta 2	422.9	431.0	431.1	431.5	431.6
Azul-verde	482.3	483.1	483.1	483.0	483.1
Rojo	655.6	656.4	656.2	656.4	656.2

Tabla 3. Longitudes de onda medidas de las líneas de emisión de la lámpara de hidrógeno.

Línea	Error % λ_1	Error % λ_2	Error % λ_3	Error % λ_4	Error % λ_5
Violeta 1	1.60	1.55	1.82	1.58	1.53
Violeta 2	2.57	0.70	0.68	0.59	0.56
Azul-verde	0.79	0.62	0.62	0.64	0.62
Rojo	0.10	0.02	0.01	0.02	0.01

Tabla 4. Errores porcentuales de las longitudes de onda medidas, respecto al valor teórico.

Línea	$I_{max} \lambda_1 [\text{A}]$	$I_{max} \lambda_2 [\text{A}]$	$I_{max} \lambda_3 [\text{A}]$	$I_{max} \lambda_4 [\text{A}]$	$I_{max} \lambda_5 [\text{A}]$
Violeta 1	6.33×10^{-9}	6.33×10^{-9}	6.33×10^{-9}	6.33×10^{-9}	6.00×10^{-9}
Violeta 2	7.67×10^{-9}	7.33×10^{-9}	7.33×10^{-9}	7.33×10^{-9}	7.33×10^{-9}
Azul-verde	1.80×10^{-8}	1.70×10^{-8}	1.67×10^{-8}	1.60×10^{-8}	1.50×10^{-8}
Rojo	8.33×10^{-9}	8.33×10^{-9}	8.33×10^{-9}	8.33×10^{-9}	8.00×10^{-9}

Tabla 5. Corriente máxima detectada, de las longitudes de onda medidas.