

## EXPERIMENTO 2: CONSTANTE DE RYDBERG

Estudiantes: Vicente Lacroix - Marcelo Ojeda - Ana María Salas  
Fecha laboratorio: 13/04/2023, Entrega: 23/04/2023

---

### Resumen

Se muestra la determinación experimental de la constante de Rydberg. Esto se realiza a partir de un montaje basado en un Goniómetro, un tubo de descarga de Hidrógeno y una red de difracción. Los datos fueron trabajados a partir de relacionar variables como la longitud de onda de las líneas espectrales previamente conocidas del Mercurio y ángulos de difracción. Con esto, fue posible determinar la constante de la red con un valor de  $1085.471 \pm 15.565$  nm. Además, se estableció una relación entre la ecuación de difracción y las líneas de Balmer, de la cual se pudo encontrar la constante de Rydberg con un valor de  $\approx (1.103 \pm 0.018) \cdot 10^7 \frac{1}{m}$  que respecto al valor teórico representa una diferencia porcentual de un  $(0.544 \pm 1.658)\%$ . Los principales errores presentes corresponden al tipo sistemático, dados por la luz del entorno, lo que acotó la cantidad de datos. La importancia del procedimiento radica en la comparación teórica-experimental de la constante, además de poner a prueba experimental planteamientos teóricos sobre la energía cuantizada y el átomo, proponiendo como perspectivas futuras repetir el experimento para otros elementos.

---

### 1. Introducción

#### 1.1. Objetivos

El objetivo principal es medir experimentalmente la constante de Rydberg. Para esto se proponen como objetivos específicos: Ejecutar un montaje experimental basado en un goniómetro y un tubo de descarga. Además, se propone analizar las variables asociadas a la constante, como la longitud de onda, ángulos de difracción, constante de separación de la red de difracción y similares. Se busca también comparar y estudiar diferencias teóricas y experimentales, para finalmente describir errores aleatorios y sistemáticos presentes durante la experiencia.

#### 1.2. Marco Teórico

Un espectro es la distribución de energía en función de frecuencias o longitudes, y es extraído a partir de la dispersión de la radiación electromagnética proveniente de la fuente, gas o elemento químico. Puede ser representado gráficamente a partir de un continuo con características denominadas líneas espectrales, que permiten descifrar por ejemplo, la naturaleza del objeto fuente.

En principio se conocían los espectros de diferentes elementos pero no había una explicación atómica conveniente para ellos. Con esto, en 1913 Niels Bohr plantea un nuevo modelo atómico en el cual los electrones giran en órbitas circulares y estables que resultan en un sistema de núcleo-electrón con valores de energía característicos y cuantizados. Este valor puede cambiar absorbiendo o emitiendo energía en cantidades concretas si el electrón cambia de órbita 1.

$$h\nu = E_i - E_f \quad (1)$$

Donde  $h$  es la constante de Planck,  $\nu$  es la frecuencia de onda y  $E_i$ ,  $E_f$  son la energía inicial y final respectivamente.

Considerando que la energía absorbida o emitida es a partir de frecuencias específicas que dependen de la naturaleza del átomo, se llega a la siguiente relación:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{2\pi^2 m_e Z^2 e^4}{h^3 c} \cdot \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \quad (2)$$

Aquí,  $n_f$  corresponde al número cuántico del estado final y  $n_i$  al inicial.

En este contexto, el físico Johannes Rydberg construyó a partir de la relación de Balmer para las líneas

del espectro del Hidrógeno, una constante ( $R_H$ ) relacionada con la longitud de onda ( $\lambda$ ) de la línea y su número  $n$  en la serie de Balmer de la siguiente manera:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \cdot \left( \frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (3)$$

donde  $R_H$  es:

$$R_H = \frac{2\pi^2 m_e Z^2 e^4}{h^3 c} \quad (4)$$

Aquí  $m_e$  y  $e$  son la masa y carga del electrón respectivamente,  $Z$  el número atómico y  $c$  la velocidad de la luz.

Así, se puede obtener experimentalmente la constante de Rydberg a partir de una red de difracción (constante  $d$ ) mediada por la incidencia normal de la luz:

$$m\lambda = d \cdot \sin(\theta) \quad (5)$$

Donde  $\theta$  es el ángulo de difracción respecto a la normal y  $m$  el orden del espectro [1].

Finalmente con las ecuaciones 3 y 5 se puede obtener una relación de variables que facilita la determinación de la constante de Rydberg por medio de la siguiente ecuación:

$$\frac{m}{d} \cdot \sin(\theta) = R_H \cdot \left( \frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (6)$$

### 1.3. Contexto

La importancia de estudiar experimentalmente la constante de Rydberg, radica en la comparación teórica-experimental con la finalidad de proponer mejoras en el montaje que aumenten la precisión y certeza de la constante. Además, permite estudiar las características de las líneas espectrales en relación a su longitud de onda, promoviendo el entendimiento de las características del átomo, como la variación concreta en la cantidad de energía, estudio que se puede extender a otros elementos químicos.

Los espectros son de gran importancia en diferentes áreas de la física, pues permiten estudiar la composición química de diferentes fuentes de energía, por ejemplo en astronomía, la composición química de las estrellas, específicamente su composición atmosférica, a partir de la extracción del espectro continuo y el análisis de las líneas de emisión y absorción para luego derivar una clasificación espectral [2]. Todo esto es posible gracias al estudio de la naturaleza y comportamiento del átomo y la forma cuantificada de su energía.

## 2. Montaje y procedimiento

Durante las 2 fases del experimento se utilizó un goniómetro, un espectrómetro que permite medir las longitudes de onda asociadas a líneas de espectros de emisión. Este consiste de un colimador con una rendija ajustable de entrada y un telescopio para observación, ambos montados radialmente en torno a una plataforma circular, que posee un vernier para medición de ángulos.

Sobre la plataforma se colocó una red de difracción, cuya función es separar las distintas longitudes de onda de un haz de luz. Es necesario que esta se encuentre paralela a la rendija y, por ende, perpendicular al rayo de luz incidente. Esta red posee una constante de difracción asociada que debe ser calculada, pues es crucial para poder encontrar la constante de Rydberg.

### 2.1. Parte 1: Determinación de la constante de la red de difracción

Para la determinación de la constante de red se utilizó una lámpara de Mercurio, ya que se conocían las longitudes de onda de su espectro. Esta se instaló frente a la rendija y se encendió. Para que la luz que no pasaba por la rendija afectara al experimento y para disminuir así errores sistemáticos, se colocaron dos hojas de papel con un agujero en la rendija tal como se muestra en la figura [1].

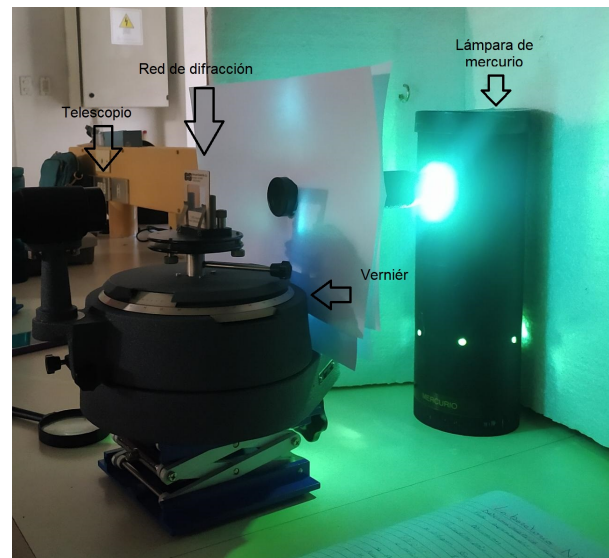


Figura 1: Montaje para la determinación de la constante de separación de la red de difracción.

El telescopio se posicionó perpendicular a la red para poder observar el orden cero de las líneas espectrales, una imagen sin dispersión. Posteriormente se movió el telescopio, primero a la derecha y luego a la izquierda, para obtener el 2 órdenes del espectro (con

ángulo positivo y negativo). Se observó el color violeta, verde y naranja, respectivamente y se midió con el vernier el ángulo en grados respecto al orden cero. Debido a la luz del ambiente, no se pudo obtener los segundos órdenes. Con los ángulos y las longitudes de onda de cada color se utilizó la ecuación (5) para calcular la constante de difracción de la red.

## 2.2. Parte 2: Determinación de la constante de Rydberg

Se cambió la lámpara de mercurio por un tubo de descarga de hidrógeno y se midieron los ángulos del primer orden (positivo y negativo) de los colores azul, aguamarina y rojo. Estas líneas son las primeras de la serie de Balmer. Con esto, se utilizó la ecuación 6 para calcular la constante de Rydberg.



Figura 2: Se aprecia el tubo de descarga de hidrógeno junto a la rendija del goniómetro.

## 3. Análisis y resultados

El análisis se dividió en dos partes. La primera es para obtener la constante de separación de la red

(d) y a partir de esto, una segunda para determinar experimentalmente la constante de Rydberg.

### 3.1. Parte 1: Determinación de la constante de la red de difracción

Por medio de la ecuación 5 y considerando las líneas espectrales del Mercurio de 405.5, 435.8, 546.1, 579.1 nm asociadas a los colores morado, azul, verde y amarillo respectivamente, se realizó un análisis gráfico entre el ángulo de difracción, (considerando para los ángulos trabajados que  $\sin(\theta) \approx \theta$ ) y el producto entre el orden de la línea observada con la longitud de onda.



Figura 3: Gráfica  $m\lambda$  v/s  $\theta$ , con  $\lambda$  la longitud de onda de cada línea de Mercurio previamente conocida. Se muestra el primer orden tanto para negativos -3 puntos inferiores- como para positivos -3 puntos superiores-, en relación al ángulo medido.

En primer lugar, se puede observar que se cumple la relación lineal de proporcionalidad entre las variables graficadas, correspondiendo esto a lo que indica la ecuación trabajada. Cuantitativamente la relación se mide a partir del coeficiente  $r^2$  que indica el nivel de precisión del modelo a los datos, obteniendo en este caso un valor de  $\approx 0.99$ , reafirmando el ajuste realizado 4.

Así, se puede establecer que la pendiente de la gráfica corresponde a la constante de la red de difracción, que en este caso entrega un valor de  $1085.471 \pm 15.565$  nm.

### 3.2. Parte 2: Determinación de la constante de Rydberg

En esta parte se trabajó con los colores rojo y azul aguamarina/verde agua de las líneas de espectro del Hidrógeno de orden 1 y -1. Estas corresponden al orden 3 y 4 de la serie de Balmer [3]. Para obtener la constante de Rydberg, se generó un gráfico basado en la ecuación (6), en donde se compara el término  $\frac{m \cdot \sin(\theta)}{d}$  con  $(\frac{1}{4} - \frac{4}{n^2})$  como se muestra a continuación.

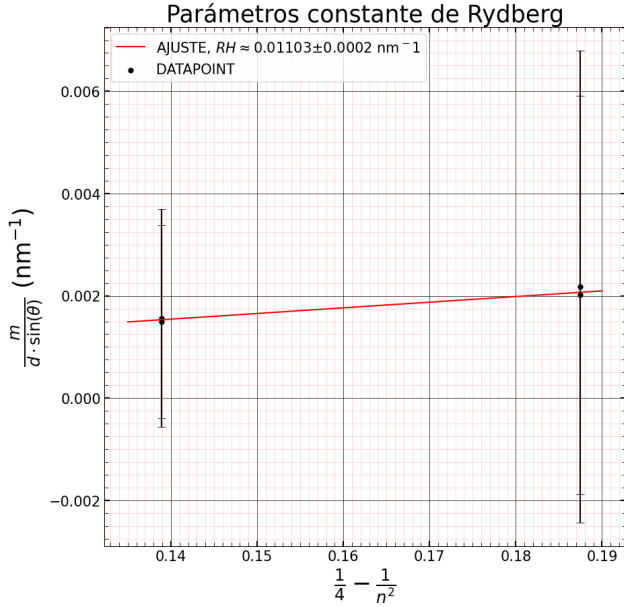


Figura 4: Gráfica  $\frac{m \cdot \sin(\theta)}{d}$  v/s  $(\frac{1}{4} - \frac{4}{n^2})$ . Este último término depende del número de orden de las líneas espectrales de la serie de Balmer.

Calculando el valor de la pendiente de la gráfica se obtuvo un valor para la constante de Rydberg de  $1.1033480 \pm 0.0181973 \cdot 10^7 \frac{1}{m}$ , mientras que el valor real es de  $1.0973731 \cdot 10^7 \frac{1}{m}$  (determinado con la ecuación 4), lo que se traduce en un error relativo porcentual del  $(0.544 \pm 1.658) \%$ . Esto reafirma la relación lineal de los términos de la ecuación (6).

### 3.3. Descripción y análisis de errores

Dentro de las principales fuentes de error se encuentra la luz incidente de fondo que intervenía en el montaje establecido. Esto corresponde a un factor de ruido, que si bien se trató de minimizar tapando focos de luz que no pasaran por la rendija y el colimador del cilindro, aun así esto impidió observar órdenes de líneas mayores a 1, lo que acotó significativamente los datos a analizar.

Entre otros errores presentes se encuentra la medición del ancho de las franjas (franja de la imagen 0), pues la identificación del centro fue realizada “al ojo” y por lo tanto esto incidió en el desarrollo de los cálculos. Además, en la segunda parte para observar las líneas del espectro de Hidrógeno se debió

aumentar el ancho de la rendija, lo que nuevamente aumenta la incertidumbre para ubicar el centro de la línea.

El hecho de trabajar con una rendija de entrada dinámica, es decir que se puede manipular, ayuda a la visualización de las líneas, y a poder cambiar el ancho según sea conveniente, sin embargo, ocupar una anchura mayor a la indicada puede suponer adicionalmente error de lectura al momento de identificar el centro de la franja para tomar las mediciones.

Sin embargo, a pesar de lo anterior, por ejemplo el error asociado a la constante de la red de difracción del  $\pm 15.565$  está dentro de lo esperado, y da evidencia de la alta certeza del vernier del goniómetro para medir los ángulos en cada rotación realizada.

Respecto a los errores de la constante de Rydberg, en estos se agregan los errores de la constante de la red, pues se utiliza esta última para su cálculo según la ecuación 6. Además se le adjuntan errores en cuanto a los ángulos medidos para las líneas de Balmer. Con todo y a partir de la propagación de errores, se observó que el error experimental asociado a esta última constante es de  $\approx \pm 0.0002 \text{ nm}^{-1}$ , lo que significa aproximadamente en términos porcentuales a un 1.8 % del valor obtenido, que dada las circunstancias sistemáticas del experimento es mejor a lo esperado.

Finalmente, la comparación teórica-experimental difiere en  $\approx 0.5 \%$ , como error relativo, por lo que los errores sistemáticos parecieron ser neutralizados en gran medida durante el procedimiento, a pesar de que la cantidad de datos extraídos pudo ser mayor.

## 4. Conclusiones

El objetivo principal de esta experiencia de laboratorio fue medir experimentalmente la constante de Rydberg analizando el espectro del hidrógeno, que fue separado gracias a una red de difracción. Primero se determinó la constante de la red, obteniendo la relación de linealidad entre los ángulos difractados y las longitudes de onda del Mercurio, lo que luego permitió determinar la constante de Rydberg. Se concluye que la constante se pudo estimar con buena precisión, dando como resultado un 99.4 % del valor real, por lo que los objetivos se cumplieron con gran éxito, lo que fue consecuencia de la capacidad de neutralizar en gran medida los errores sistemáticos presentes, además de la precisión y certeza de los instrumentos de medición.

A pesar de lo anterior, el experimento se vio limi-

tado por la luz de la sala de trabajo, pues no se pudo observar los segundos órdenes de los espectros de ambos elementos químicos (mercurio e hidrógeno), dejando una menor cantidad de datos para trabajar. Para mejorar este experimento se propone poner el espectrómetro en un ambiente con poco iluminado, como una cámara oscura por ejemplo, para apreciar de mejor manera las líneas espectrales.

## Referencias

- [1] Instituto de Física UC. (Octubre, 2014). Análisis Espectral: Determinación de la Constante de Rydberg (Fiz0311). Guía.
- [2] Star Spectral Classification. (s. f.). <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Starlog/staspe.html>
- [3] Young, H. D., Freedman, R. A., & Ford, A. L. (2008). Sears and Zemansky's University Physics: With Modern Physics. Pearson Education India.