

Experimentos Clásicos en Espectroscopía de Gases Desarrollados en la Carrera de Física de la UNAH

E. MALAVERTH, L. ALCERRO, M. COTO, R. MEJIA*

Universidad Nacional Autónoma de Honduras

*roberto.mejia@unah.edu.hn

Resumen

This paper describes the development, analysis and results of a series of two classic experiments that expose evidence Bohr's theory (1913) on the characteristic emission spectra of the elements, besides the quantization in the atomic electron states. The experiment was conducted at the School of Physics UNAH-CU by two different methods and was under the advice of Lic. Roberto Mejía. Was undertaken first the calibration of a spectroscope Bunsen-Kirchhoff for later to confirm the energies of photons in the emission spectrum of Hydrogen, then it was set up and calibrated the spectroscope based on the principle of diffraction of the spectral emission components, confirming the emission spectrum of hydrogen again. Through the analysis and processing of the experimental data achieved also show evidence the approach to Balmer (1885).

Keywords: Wavelength, energy level, Bohr model.

El presente artículo expone el desarrollo, análisis y resultados de una serie de dos experimentos clásicos que exponen en evidencia la teoría de Bohr (1913) sobre los espectros de emisión característicos de los elementos, además de la cuantización en los estados atómicos de los electrones. El experimento se llevó a cabo en la escuela de Física de la UNAH-CU mediante dos métodos diferentes y estuvo bajo el asesoramiento del Lic. Roberto Mejía. En primer lugar se efectuó la calibración de un espectroscopio Kirchhoff-Bunsen para posteriormente confirmar las energías de los fotones en el espectro de emisión del de Hidrógeno, Luego se configuró y calibró un espectroscópio basado en el principio de difracción de las componentes espectrales de emisión, confirmando nuevamente el espectro de emisión del hidrógeno. A través del análisis y procesamiento de los datos experimentales se logra también mostrar en evidencia el planteamiento de Balmer (1885).

Palabras clave: Longitud de onda, nivel energético, modelo de Bohr.

I. INTRODUCCIÓN

Espectroscopia es el estudio de la interacción de la radiación electromagnética con la materia, con absorción o emisión por medio de los átomos y moléculas, dichas interacciones nos brindan información importante acerca de la estructura atómica y molecular de las sustancias. Éste fenómeno fue estudiado en detalle inicialmente por Kirchoff y Bunsen en el periodo de 1860 a 1870, lo utilizaron para identificar sustancias químicas; los físicos y los científicos han sacado provecho de es-

te fenómeno desde entonces aprovechado para identificar sustancias por medio de las líneas espectrales de emisión o absorción, hasta ayudar a comprobar la teoría cuántica de la energía en la cual los átomos pueden absorber energía, a través de los electrones en cantidades cuantizadas. Nuestro interés se centra en las líneas de emisión del Hidrógeno ionizado. El análisis se lleva a cabo utilizando un dispositivo elaborado inicialmente por Kirchhoff y Bunsen (1860) para poder observar las líneas de emisión producidas por un gas excitado a una diferencial de potencial variable; llamado espectroscópio

Kirchhoff-Bunsen.

¿Qué es, cómo usar y calibrar un espectroscópio?

¿Cómo utilizar la espectroscopia para calcular la energía que tiene un fotón emitido por un gas excitado a una diferencial de potencial?

Éstas son algunas de las interrogantes que se tratarán en éste artículo.

II. ESPÉCTRO ATÓMICO DE LOS GASES

Todos los objetos emiten una radiación térmica, caracterizada por una distribución continua de longitudes de onda. En contraste con este espectro de distribución continua, está el espectro discreto que se observa cuando un gas a baja presión se somete a una descarga eléctrica. La descarga eléctrica se presenta cuando el gas es sometido a una diferencia de potencial que produce un campo eléctrico mayor que la resistencia dieléctrica del gas. La observación y el análisis de estas líneas espectrales se conoce como espectroscopia de emisión.

Cuando se examina con un espectrómetro la luz emitida por una gas ionizado, es posible ver que está compuesta por algunas líneas intensas de color sobre un fondo por lo general oscuro como se muestra en la Figura 1.



Figura 1: Componentes del espectro de emisión del Hidrógeno.

Otro tipo de espectroscopia, muy útil para analizar sustancias, es mediante el espectro de absorción. Un espectro de absorción se obtiene al pasar una luz blanca de una fuente continua a través de un gas o una solución diluida del elemento que se está analizando. Un espectro de absorción está constituido por una serie de líneas oscuras superpuestas al espectro continuo de la fuente de luz como se observa en la Figura 2 [8]



Figura 2: Componentes del espectro de absorción del Hidrógeno

III. EL ÁTOMO DE HIDRÓGENO

Siguiendo la idea de Rutherford, quien propuso que la carga positiva y la masa de un átomo están concentradas en su centro, en una región llamada núcleo. Bohr en 1913 sugirió que el átomo es como un sistema planetario miniatura, con los electrones orbitando alrededor del núcleo así como lo hacen los planetas alrededor del Sol. El átomo entonces no colapsará nunca a causa de la fuerza de atracción que existe entre el núcleo y los electrones por la misma razón por la que los planetas no colapsan a causa de la fuerza de atracción gravitacional entre el Sol y los planetas. En ambos casos, la fuerza de atracción provee la aceleración centrípeta necesaria para mantener el movimiento orbital. Por simplicidad e interés para la práctica, se considerará el átomo de Hidrógeno, con un electrón circulando alrededor del núcleo que posee una carga positiva [1], Figura 3

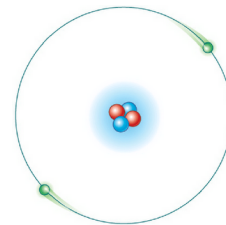


Figura 3: Modelo atómico según teoría de Bohr

Bohr aplicó las nociones de los niveles cuantizados de energía de Planck, provenientes del estudio de la radiación de cuerpo negro y el oscilador cuántico, para los electrones atómicos en órbita. Bohr combinó las ideas de la teoría cuántica original de Planck, el concepto de Einstein del fotón, el modelo planetario de Rutherford del átomo y la mecánica newtoniana para llevar a un modelo semiclassical en términos de algunos postulados revolucionarios.

Las ideas básicas de la teoría de Bohr, según se aplican al átomo de hidrógeno, son las si-

guientes [8]:

- El electrón se mueve en órbitas circulares alrededor del protón bajo la influencia de la fuerza eléctrica de atracción, como se observa en la Figura 3.
- Sólo ciertas órbitas del electrón son estables. Cuando el electrón está en alguno de los estados estacionarios, el electrón no emite energía en forma de radiación. En consecuencia, la energía del electrón permanece constante y puede utilizarse la mecánica clásica para describir el movimiento del electrón.
- La radiación es emitida por el átomo cuando el electrón hace una transición de una órbita de más energía a una órbita de menor energía. Esta transición no puede visualizarse ni tratarse de manera clásica. En particular, la frecuencia f del fotón emitida en la transición se relaciona con el cambio en la energía del átomo y no es igual a la frecuencia orbital del electrón como lo establece la expresión (1).

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

- El tamaño de la órbita permitida del electrón queda determinado por una condición impuesta sobre la cantidad de movimiento angular orbital del electrón: las órbitas permitidas son aquellas para las cuales la cantidad de movimiento angular orbital del electrón en relación con el núcleo se cuantiza y es igual a un múltiplo entero de \hbar .

$$m_e v r = n \hbar \quad (2)$$

Para $n = 1, 2, 3, \dots$

El radio de la órbita circular del electrón es r , y electrón de masa m_e se mueve con velocidad constante v , entonces la fuerza eléctrica de atracción que provee la aceleración centrípeta es:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2} = \frac{m_e v^2}{r} \quad (3)$$

Entonces las energías cinética y potencial del electrón son:

$$K = \frac{1}{2} m_e v^2 = \frac{1}{8\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r} \quad (4)$$

$$U = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r} \quad (5)$$

Entonces la energía total del electrón se obtiene sumando (4) y (5):

$$E = -\frac{1}{8\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r} \quad (6)$$

Ahora bien, basandonos en el cuarto postulado de Bohr podemos encontrar el radio de la órbita del electrón combinando (2) y (4):

$$\frac{1}{2} m_e v^2 = \frac{1}{2} m_e \left(\frac{n \hbar}{m_e r} \right)^2 = \frac{1}{8\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r} \quad (7)$$

Despejando para el radio en (7) obtenemos la siguiente ecuación:

$$r_n = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{m_e e^2} n^2 = a_o n^2 \quad (8)$$

Donde $a_o = 0.0529$ (nm) es el radio base del electrón cuando $n = 1$.

Conociendo el valor del radio para cualquier valor de n , podemos encontrar una expresión para cuantizar la energía a total del electrón, sustituyendo (8) en (6):

$$E_n = -\frac{m_e e^4}{32\pi^2 \epsilon_0^2 \hbar^2} \frac{1}{n^2} \quad (9)$$

Al sustituir los valores para cada una de las constantes que se involucran en 9, obtenemos la siguiente ecuación:

$$E_n = -\frac{13.6}{n^2} eV \quad (10)$$

Previamente se discutió el espectro de emisión y absorción atómica de un elemento, en este caso el hidrógeno, pero la discusión del modelo atómico de Bohr no está completo sin un entendimiento del origen de este espectro. Bohr postuló que un electrón en un estado estacionario no irradia ningún tipo de radiación, pero puede emitir radiación cuando éste se mueve a un nivel energético menor. Cuando el electrón cambia a un estado energético menor, tiene una energía menor que en el estado original, y la diferencia de energía aparece como un Quantum (Cuanto) de radiación cuya energía $h\nu$ es igual a la diferencia entre los dos niveles. Ésto es, si el electrón pasa del estado n_1 al estado n_2 , como se muestra en la Figura 4 [8].

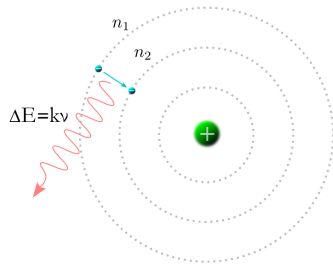


Figura 4: Cambio de Estado Energético en el Átomo de Hidrógeno.

Entonces aparece un fotón con ésta cantidad de energía:

$$h\nu = E_{n_1} - E_{n_2} \quad (11)$$

Al sustituir los estados energéticos E_{n_1} y E_{n_2} en 11 y despejando para la frecuencia ν .

$$\nu = \frac{m_e e^4}{64\pi^3 \epsilon_0^2 \hbar^3} \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right) \quad (12)$$

Para saber cual es la longitud de onda del fotón emitido, podemos utilizar $\lambda\nu = c$ donde c es la velocidad de la luz en el vacío, y despejar para la longitud de onda λ .

$$\lambda = \frac{64\pi^2 \epsilon_0^2 \hbar^3 c}{m_e e^4} \left(\frac{n_1^2 n_2^2}{n_1^2 - n_2^2} \right) \quad (13)$$

$$\lambda = \frac{1}{R_\infty} \left(\frac{n_1^2 n_2^2}{n_1^2 - n_2^2} \right) \quad (14)$$

(14) nos permite encontrar la longitud de onda de el fotón emitido cuando el electrón cambia de un estado energético de mayor energía a un estado energético de menor energía, donde R_∞ es conocida como la constante de Rydberg. Para el experimento, nos interesa conocer las longitudes de onda cuando $n_2 = 2$ para $n_1 \geq 3$, éstos valores corresponden a la serie de Balmer que nos permite obtener longitudes de onda que se encuentran dentro del espectro visible[1].

IV. METODOLOGÍA

I. Cálculo de los niveles cuánticos del Hidrógeno utilizando un Espectroscopio

Un espectrómetro óptico o espectroscopio, es un instrumento que sirve para medir las propiedades de la luz en una determinada porción

del espectro electromagnético. La variable que se mide generalmente es la intensidad luminosa pero se puede medir también el estado de polarización electromagnética, por ejemplo. La variable independiente suele ser la longitud de onda de la luz, generalmente expresada en submúltiplos del metro, aunque alguna vez pueda ser expresada en cualquier unidad directamente proporcional a la energía del fotón, la cual es una relación inversa con la longitud de onda.

Con frecuencia, se emplea un espectrómetro de prisma. En general, el instrumento se utiliza para estudiar las longitudes de onda emitidas por una fuente luminosa, la luz de la fuente se envía por una estrecha ranura ajustable para producir un haz paralelo o colimado. La luz pasa después a través del prisma y se dispersa en un espectro, la luz dispersada se observa con un telescopio. El experimentador ve una imagen de la ranura a través del ocular del telescopio; el telescopio se puede mover o el prisma se puede girar, de modo que se puedan ver las diferentes imágenes formadas por las diferentes longitudes de onda a diferentes ángulos de dispersión, ver Figura 5.



Figura 5: Espectroscopio Kirchhoff-Bunsen

- Primero, se debe verificar el montaje de la Figura 6, revisando que todo se encuentre en orden para proseguir con el experimento.
- Se coloca el tubo espectral con gas helio entre dos soportes aislados, verificando que quede firme y vertical.
- Se enciende la fuente AC de bajo voltaje 5-25VAC la cual es elevada utilizando una bobina de Ruhmkorff de 50.0kV. Se observará que el gas se ioniza y emite radiación en el espectro visible.
- Al observar por el telescopio del espectrómetro se deben observar las componentes

del espectro de emisión mediante líneas en el telescopio. De no ser así debe de ajustarse el enfoque y la posición del telescopio.

- Realizar una comparación entre el espectro observado y un espectro teórico.
- Debemos disponer de datos teóricos que muestren las longitudes de onda e intensidad de las líneas de emisión más visibles o más intensas.
- Se enciende la lámpara para iluminar la escala del espectrómetro. Al observar nuevamente por el telescopio veremos que las líneas ahora se muestran en una escala de longitud.
- Seleccionamos las líneas más intensas de nuestra fuente teórica y tratamos de ubicarlas en el espectrómetro.
- Luego de haber ubicado las líneas seleccionadas, definimos una posición de referencia fijando una línea en esa posición, de modo que logremos observar todas las líneas seleccionadas.
- Tomamos los datos de las posiciones de las líneas seleccionadas.
- El mismo procedimiento se repite para el tubo con gas Kriptón.
- Se realiza la calibración del espectroscopio con los datos recolectados del Helio y el Kriptón mediante un ajuste utilizando el modelo más adecuado
- Se instala el tubo espectral conteniendo gas hidrógeno, y se realiza la lectura de la posición de cada componente espectral de longitud de onda utilizando la escala iluminada.

II. Cálculo de los niveles cuánticos para el hidrógeno utilizando una rendija de difracción

- Primero, se debe verificar el montaje de la Figura 7, revisando que todo se encuentre en orden para proseguir con el experimento.
- Se coloca el tubo con helio en el soporte, verificando que quede firmemente sujeto.
- Se enciende la fuente AC de bajo voltaje 5-25VAC la cual es elevada utilizando una bobina de Ruhmkorff de 50.0kV. Se observará que el gas se ioniza y emite radiación en el espectro visible.

- Al observar por la rendija o réplica con 600líneas/mm se deben observar las líneas de emisión del gas.
- Realizar una comparación entre el espectro observado y un espectro teórico.
- Debemos disponer de datos teóricos que muestren las longitudes de onda e intensidad de las líneas de emisión más visibles.
- Se enciende la lámpara para iluminar la regla como se muestra en la figura 7.
- Seleccionamos las líneas más intensas de nuestra fuente teórica y tratamos de ubicarlas.
- Luego de haber ubicado las líneas seleccionadas, definimos una posición de referencia fijando una línea en esa posición, de modo que logremos observar todas las líneas seleccionadas.
- Tomamos los datos de las posiciones de las líneas seleccionadas con la ayuda de la regla.
- El mismo procedimiento se repite para el tubo con gas Kriptón.
- Se realiza la calibración del espectroscopio con los datos recolectados del Helio y el Kriptón mediante un ajuste utilizando el modelo más adecuado
- Se instala el tubo espectral conteniendo gas hidrógeno, y se realiza la lectura de la posición de cada componente espectral de longitud de onda utilizando la escala iluminada.

V. MATERIAL Y EQUIPO

I. Experimento con Espectrómetro Kirchhoff-Bunsen

Haciendo referencia a la Figura 6 tenemos el equipo necesario para realizar el experimento:

1. Aisladores para alta tensión 10kV
2. Espectrómetro Kirchhoff-Bunsen
3. Fuente de Luz para iluminar la escala del espectrómetro
4. Bobina de Ruhmkorff (transformador de voltaje)
5. Fuente de voltaje AC/CD de baja tensión
6. Tubo espectral con gas al vacío

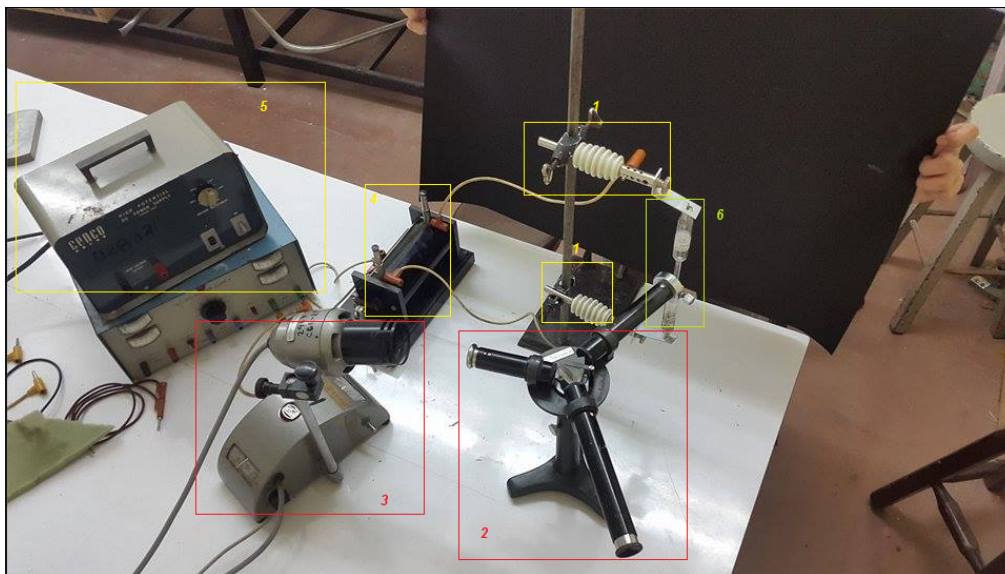


Figura 6: Montaje experimental utilizando un espectrómetro Kirchhoff-Bunsen

II. Experimento con Rendija de difracción

Haciendo referencia a la Figura 7 tenemos el equipo necesario para realizar el experimento:

1. Fuente de luz para iluminar la escala de la regla
2. Replica de Difracción
3. Aisladores para alta tensión 10kV
4. Regla (Escala para el experimento)
5. Riel optico
6. Tubo de gas al vacío
7. Fuentes de voltaje
8. Bobina de Ruhmkorff (transformador de voltaje)
9. Fuente de voltaje AC/CD de baja tensión
10. Tubo espectral con gas al vacío

Observación

Las fuentes de voltaje en la Figura 7 se encuentran ubicadas detrás de la pantalla oscura.

VI. PROCESAMIENTO DE DATOS

I. Cálculo de los niveles cuánticos para el hidrógeno, utilizando espectrómetro Kirchhoff-Bunsen

Para determinar la longitud de onda correspondiente a cada línea de emisión observada, se trabajó con un espectro teórico para el Helio y para el Kriptón. [2] [4]

Del espectro observado en las Figuras 8 y 9 se tomaron las líneas más intensas, realizando comparación con el espectro teórico, se utilizaron datos tabulados por la base de datos de espectroscopía atómica Physical Meas. Laboratory NIST [5] [7], así se obtuvieron los valores de las longitudes de onda de cada elemento y realizar la calibración. Las posiciones de cada línea espectral de emisión se tomaron de la escala que se observa a través del espectroscópio, éstos datos se encuentran en el Cuadro 1

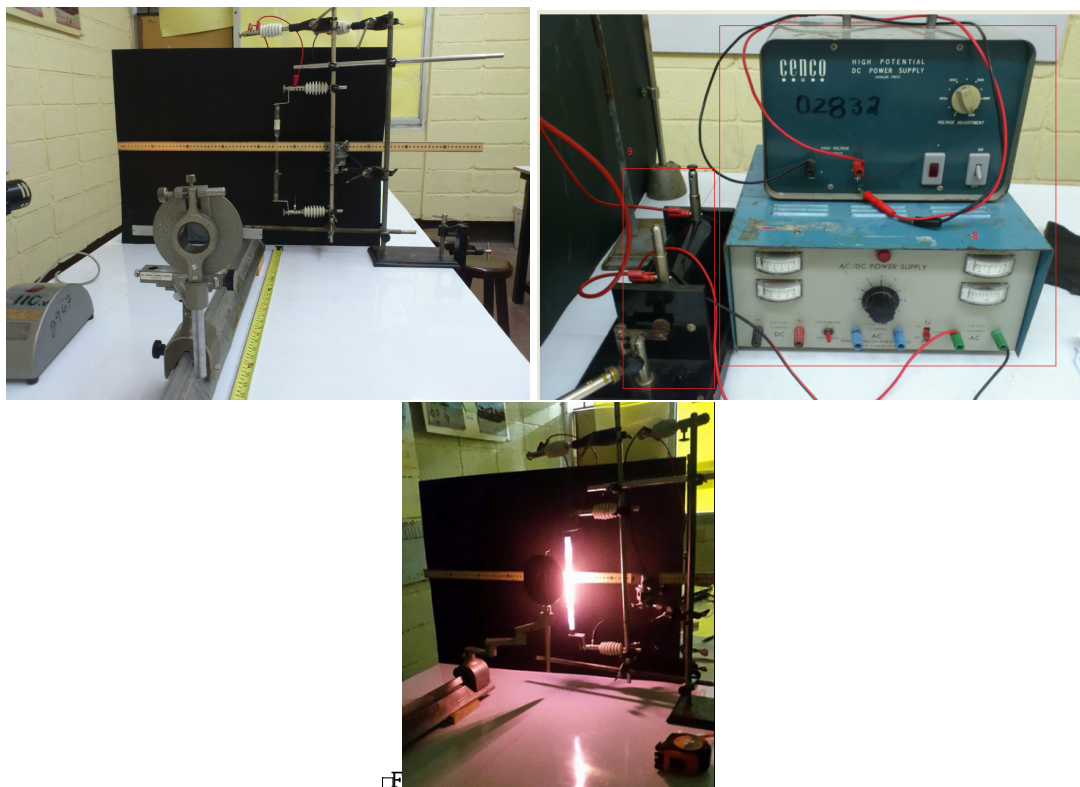


Figura 7: Montaje experimental utilizando la replica de difracción 600lineas/mm

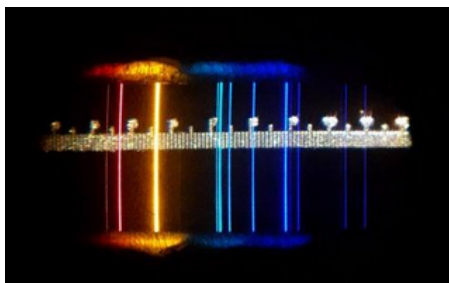


Figura 8: Espectro de Emisión para gas Helio observado en el Espectrómetro Kirchhoff-Bunsen

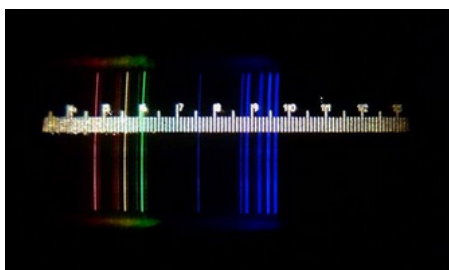


Figura 9: Espectro de Emisión para gas Kryptón observado en el Espectrómetro Kirchhoff-Bunsen

Para realizar la calibración se utilizaron dos modelos de ajuste provenientes de las ecuaciones ópticas para el prisma, las cuales se ajustaban al comportamiento de los datos experimentales, la primera fue la ecuación de Cauchy y la segunda fue la ecuación de Hartmann. A continuación se muestra el ajuste para el modelo de Hartmann.

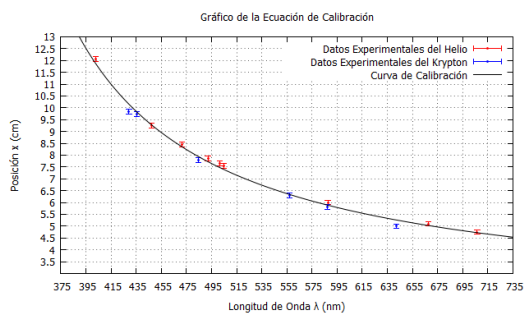


Figura 10: Ecuación de Calibración para el Espectrómetro utilizando la Ecuación de Hartmann.

Es claro el ajuste con alta correlación que mues-

tra el modelo de Hartmann para el prisma.

$$x = A + \frac{B}{C - \lambda} \quad (15)$$

Los coeficientes A, B y C obtenidos por medio de la calibración son:

$$\begin{aligned} A &= (1.63893 \pm 0.3746)(cm) \\ B &= (-134.21 \pm 16.79)(\text{Å}) \\ C &= (271.565 \pm 12.99)(nm) \end{aligned} \quad (16)$$

Para el Hidrógeno se calcularon de igual forma las posiciones en la escala de espectroscopio y se calcularon las longitudes de onda para las líneas de emisión más intensas utilizando tablas y espectros teóricos [6] [3], en la Figura 11 se observa el espectro de emisión del Hidrógeno y en la Figura 12 se observa la ecuación de calibración y los datos teóricos del hidrógeno que se muestran en el Cuadro 3.

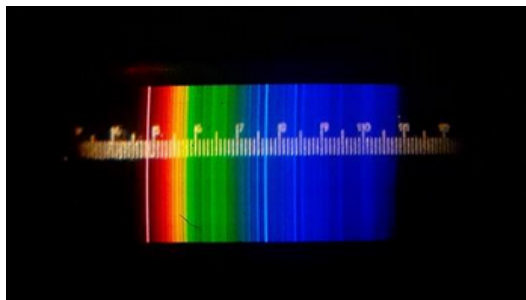


Figura 11: Espectro de Emisión del Hidrógeno en el Espectrómetro.

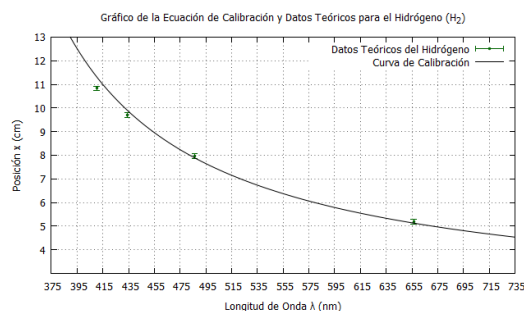


Figura 12: Ecuación de Calibración y datos teóricos del hidrógeno.

Para calcular las energías de emisión del Hidrógeno primero despejamos para la longitud de onda λ de (15) y luego se sustituye en (1), sabiendo

que $\nu = \frac{c}{\lambda}$, al realizar lo anterior se obtiene (17).

$$E = \frac{hc}{C - \frac{B}{x - A}} \quad (17)$$

donde $hc = 1239.841857 eV \cdot nm$; y los valores para A, B y C son 16.

Los valores experimentales para las energías de emisión para el Hidrógeno se encuentran en el Cuadro 2.

Los valores teórico para las energías de emisión del Hidrógeno se calcularon utilizando la serie de Balmer (14) para la longitud de onda y luego sustituyendo (14) en (1), sabiendo que $\nu = \frac{c}{\lambda}$, éstos valores se encuentran en el Cuadro 3.

II. Cálculo de los niveles cuánticos para el hidrógeno, utilizandola réplica de difracción

El análisis que se realizó en el experimento con la réplica fue exactamente el mismo que el realizado con el espectrómetro, la única diferencia que se obtuvo fue que la ecuación de calibración resultó ser una recta.

A continuación se muestran los espectros observados para el Helio, Kriptón e Hidrógeno utilizando la réplica (Figuras 13, 14 y 15).

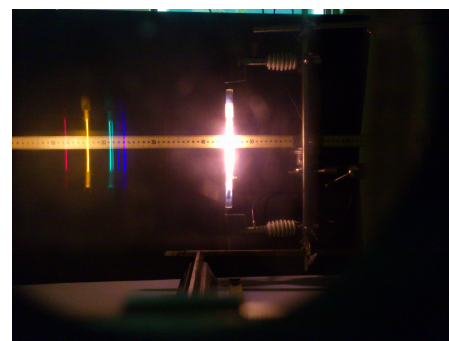


Figura 13: Espectro de Emisión del Helio en la rendija de difracción

Como se mencionó anteriormente, la ecuación de calibración resultó ser una recta (18). El ajuste se realizó con los datos contenidos en el Cuadro 4, los valores que se obtuvieron para los coeficientes de la ecuación de ajuste luego

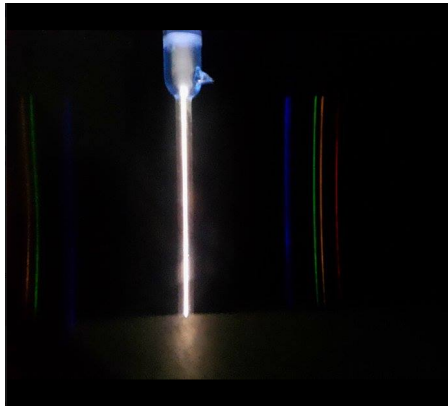


Figura 14: Espectro de Emisión del Krypton en la rendija de difracción.

de haber realizado la calibración son (19)

$$x = a\lambda + b \quad (18)$$

$$a = (-0.557208 \pm 0.0133)(Mm) \quad (19)$$

$$b = (50.2162 \pm 0.7385)(cm)$$

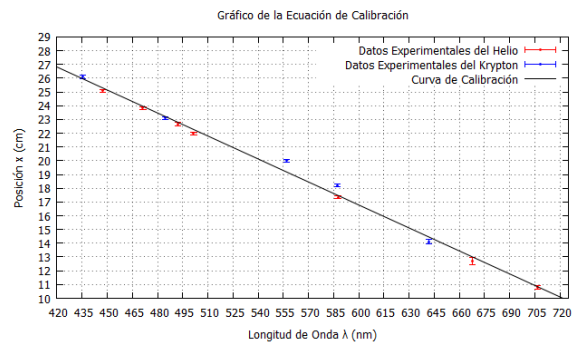


Figura 16: Calibración utilizando la réplica de difracción

A continuación se muestra la ecuación de calibración junto con los datos teóricos del Hidrógeno que se encuentran en el Cuadro ??.

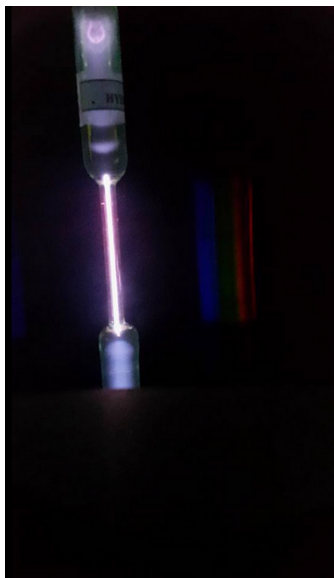


Figura 15: Espectro de Emisión del Hidrógeno en la rendija de difracción

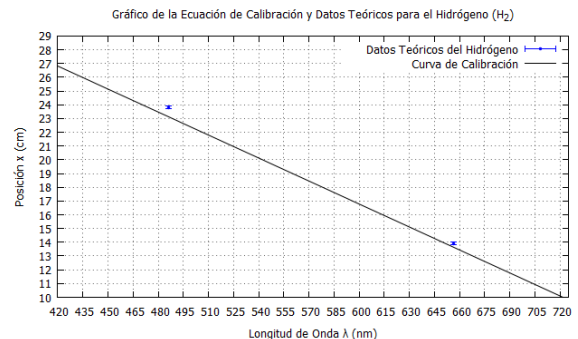


Figura 17: Curva de calibración y datos teóricos del hidrógeno.

Para calcular la longitud de onda de emisión experimental, se despeja para la longitud de onda en la ecuación (18), y para calcular la energía de emisión se utiliza de nuevo $E = \frac{hc}{\lambda}$, obteniendo las siguientes ecuaciones:

$$\lambda = \frac{x - b}{a} \quad (20)$$

$$E = \frac{hc}{\frac{x - b}{a}} \quad (21)$$

donde $hc = 1239.841857eV \cdot nm$; y los valores para a y b son (19).

Los valores experimentales para las energías de emisión para el Hidrógeno se encuentran en el Cuadro 5.

Los valores teórico para las energías de emisión del Hidrógeno se calcularon utilizando la serie de Balmer (14) para la longitud de onda y luego sustituyendo (14) en (1), sabiendo que $\nu = \frac{c}{\lambda}$, éstos valores se encuentran en el Cuadro ??.

VII. TABLAS DE MEDICIONES Y RESULTADOS

Elemento	Color	λ (nm)	$(x \pm \Delta x)$ (cm)
He	Violeta 2	447	9.2 ± 0.1
	Azul	471	8.3 ± 0.1
	Verde 2	492	7.5 ± 0.1
	Verde 1	501	6.0 ± 0.1
	Amarillo	587	5.1 ± 0.1
	Rojo 2	668	4.7 ± 0.1
Kr	Rojo	642	5.0 ± 0.1
	Amarillo	587	5.8 ± 0.1
	Verde	557	6.3 ± 0.1
	Aqua	485	7.8 ± 0.1

Cuadro 1: *Datos experimentales del Helio y Kriptón utilizando el Espectrómetro de Prisma.*

Elemento	Color	$(x \pm \Delta x)$ (cm)	$(\lambda \pm \Delta \lambda)$ (nm)	$(E \pm \Delta E)$ (eV)
H_2	Rojo	5.25 ± 0.10	650 ± 60	1.9 ± 0.2
	Aqua	7.95 ± 0.10	480 ± 30	2.6 ± 0.2
	Violeta 1	9.71 ± 0.10	440 ± 25	2.8 ± 0.2
	Violeta 2	10.83 ± 0.10	420 ± 20	3.0 ± 0.2

Cuadro 2: *Datos experimentales para el Hidrógeno utilizando el Espectrómetro de Prisma.*

Elemento	Color	λ (nm)	E (eV)
H_2	Rojo	656	1.9
	Aqua	486	2.6
	Violeta 1	434	2.9
	Violeta 2	410	3.0

Cuadro 3: *Datos teóricos para el Hidrógeno*

Elemento	Color	λ (nm)	$(x \pm \Delta x)$ (cm)
He	Rojo 1	706	10.8 ± 0.1
	Rojo 2	666	12.7 ± 0.3
	Amarillo	587	17.3 ± 0.3
	Verde 1	501	22.0 ± 0.1
	Verde 2	492	22.65 ± 0.1
	Aqua	471	23.8 ± 0.1
Kr	Violeta	447	25.1 ± 0.1
	Rojo	642	14.1 ± 0.2
	Amarillo-Naranja	587.1	18.2 ± 0.1
	Verde	557	20.0 ± 0.1
	Aqua	485	23.1 ± 0.1
	Violeta	435	26.1 ± 0.1

Cuadro 4: *Datos experimentales del Helio y Kriptón utilizando la réplica de difracción.*

Elemento	Color	$x \pm \Delta x$ (cm)	$\lambda \pm \Delta \lambda$ (nm)	$(E \pm \Delta E)$ (eV)
H_2	Rojo	13.9 ± 0.1	650 ± 20	1.90 ± 0.06
	Aqua	23.8 ± 0.1	470 ± 20	2.6 ± 0.1

Cuadro 5: *Datos experimentales para dos líneas espectrales en el Hidrógeno utilizando la réplica de difracción*

VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

I. Cálculo de los niveles cuánticos para el hidrógeno, utilizando espectrómetro Kirchhoff-Bunsen

Es evidente que existen algunos datos que se encuentran fuera de la curva de la Figura 10, una de las dificultades durante las lecturas fueron en las mediciones en la escala por el telescopio, por ello fue de mucha ayuda utilizar valore tabulados de referencia para las emisiones de helio y kriptón Pero independientemente de la dispersión que existe en el gráfico, se obtuvo una calibración adecuada.

En la Figura 12. se observa la ecuación de calibración y los datos teóricos del Hidrógeno, y se observa que se ajustan bastante bien a la curva que se encontró con el ajuste a la ecuación de Hartmann.

Al realizar un gráfico comparativo de la longitud de onda y energía para los valores experimentales con los valores teóricos (ver Figura 18), se logra observar que los valores experimentales se aproximan bastante bien a los valores teóricos, las incertidumbres que se tienen en las mediciones son el producto del error estadístico y el error sistemático, podría deberse a que

el espectroscópio utilizado no esta en optimas condiciones para utilizarse. Pero los resultados obtenidos son satisfactorios y mediante el experimento se logra ver la validez de la teoría de Balmer.

II. Cálculo de los niveles cuánticos para el hidrógeno, utilizando réplica de difracción

Como se puede observar en la Figura 16, la recta se aproxima muy bien al comportamiento de los datos experimentales, a excepción de dos datos que no están cercanos a la recta, pero esto se debe a que la estimación de la posición utilizando la réplica fue un poco más complicada porque fue muy difícil lograr observar bien donde se ubicaba cada línea de emisión para los tres gases Helio, Krypton, Hidrógeno (ver Figuras 13, 14 y 15), y luego se tiene que esto también complicó un poco más poder aproximar la longitud de onda de las líneas de emisión utilizando las tablas

Al realizar un gráfico comparativo de la longitud de onda y energía para los valores experimentales con los valores teóricos (ver Figura 19), se observa que en éste caso no todos los valores experimentales se aproximan al valor teórico, sin embargo los resultados son satisfactorios; la gran diferencia que existe entre éste experimento y el anterior puede deberse a que el espectroscópio esta diseñado específicamente para realizar éste tipo de mediciones. El experimento realizado con la rendija de difracción sirve como un ejemplo excelente de una aplicación de las propiedades de difracción e interferencia.

IX. CONCLUSIONES

- Se logró realizar una calibración satisfactoria para ambos experimentos, con la ecuación de Hartmann para el espectroscópio y un ecuación lineal para la réplica. Cabe aclarar que los datos teóricos para el Hidrógeno no se ajustan perfectamente a dichas calibraciones, pero esto es debido a los errores introducidos al momento de aproximar la longitud de onda para cada gas por medio de las tablas teóricas utilizadas, este inconveniente es más notable cuando se utiliza la rendija de difracción, ya que fue mas difícil determinar la posición de las líneas de emisión observadas.
- Con éste experimento se logró demostrar satisfactoriamente la teoría de Bohr sobre la emisión de fotones cuando un electrón del átomo de Hidrógeno pasa de un estado energético de mayor energía un estado energético de menor energía.

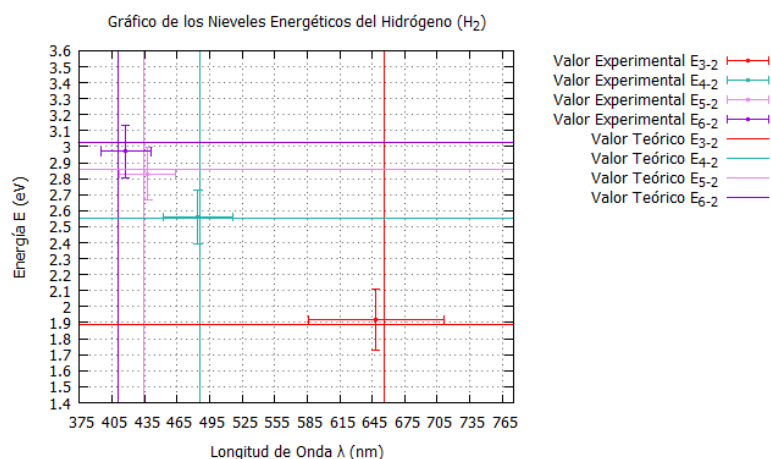


Figura 18: Energías de los fotones de emisión para el Hidrógeno utilizando espectroscópio.

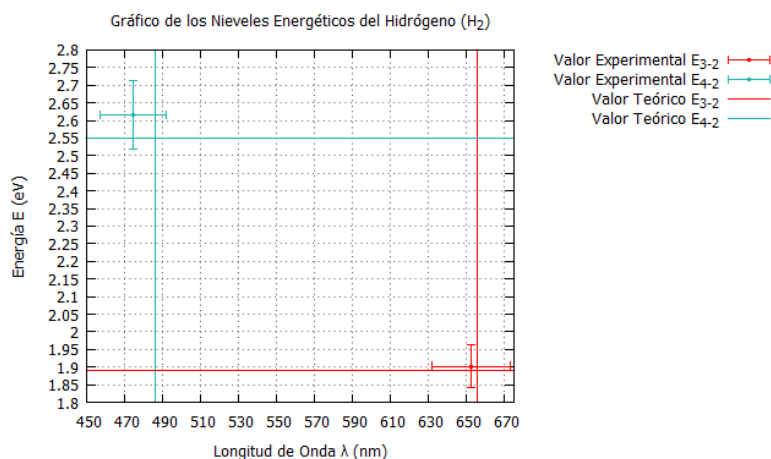


Figura 19: Energía de fotones de emisión para el Hidrógeno utilizando rendija de difracción.

REFERENCIAS

- [1] Krane Eisberg. *Modern Physics*. Second Edition. Limusa Wiley, 1995.
- [2] K.S.Joachim. Spectrum of helium gas discharge, 2007.
- [3] K.S.Joachim. Spectrum of hydrogen gas discharge, 2007.
- [4] K.S.Joachim. Spectrum of krypton gas discharge, 2007.
- [5] National Institute of Standards and Technology NIST. Strong lines of helium, 2014.
- [6] National Institute of Standards and Technology NIST. Strong lines of hydrogen, 2014.
- [7] National Institute of Standards and Technology NIST. Strong lines of krypton, 2014.
- [8] J. W. Jewett Jr. R. A. Serway. *Física para ciencias e Ingeniería con Física Moderna*. Séptima edición. Cengage Learning, 2008.