

**ESPECTROS DE EMISIÓN  
DE LUZ EN LOS GASES:**

**DESCOMPOSICIÓN DE LA  
LUZ EN DETERMINADAS  
LONGITUDES DE ONDA  
MEDIANTE  
LA RED DE DIFRACCIÓN.**

*(Práctica nº 14: Espectroscopía)*

**CARLOS HUERTAS BARRA  
FERNANDO HUESO GONZÁLEZ**  
1º DE FÍSICA Grupo B. L1/2  
*Práctica realizada el 2-IV-08  
Informe entregado el 9-IV-08*

# ÍNDICE

ÍNDICE .....	2
RESUMEN .....	3
PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL .....	3
CALIBRADO DEL ESPECTROSCOPIO .....	4
LÁMPARAS PROBLEMA .....	7
CONCLUSIÓN .....	9

## RESUMEN

Los gases tienen un espectro de emisión que no es continuo, sino que se caracteriza por unas determinadas longitudes de onda. Mediante un espectroscopio se hace incidir luz de las lámparas de descarga de gas que al atravesar una red de difracción se descompone en sus longitudes de onda, desviándose cada una de ellas un ángulo diferente. Mediante un calibrado inicial a partir de un gas conocido, podemos determinar las constantes de la red de difracción y sustituir la lámpara sin variar el resto del montaje por otra lámpara problema. Se puede comparar el espectro observado y los valores de las longitudes de onda obtenidos con los valores tabulados para identificar qué gas contiene cada lámpara problema.

## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para descomponer la luz emitida por las lámparas en sus longitudes de onda, se emplea un espectroscopio. Este consta de un colimador y una rendija muy pequeña, por la cual entra la luz de la lámpara. El haz de luz atraviesa una red de difracción y se descompone en las diferentes longitudes de onda que contiene, cada una desviándose un ángulo distinto. Un telescopio apunta al centro de la red de difracción y puede rotar alrededor del punto central. Girando el telescopio se pueden ir encontrando las diferentes colores del gas, comprobar el espectro de rayas y medir el ángulo de desviación. En el punto central hay una superposición de todos los colores que no se tienen en cuenta a efectos de rayas de emisión.

Para obtener los resultados cuantitativos se emplean las siguientes fórmulas:

Cuando la luz incide perpendicularmente sobre una red de difracción, ésta se difracta en distintas longitudes de onda con un determinado ángulo, obteniéndose la siguiente expresión:

$$\text{sen } \theta = \frac{\lambda}{d} \cdot m \longrightarrow m = 1, 2, 3, \dots$$

Si la luz no incide exactamente perpendicular a la red sino que lo hace bajo otro ángulo, la expresión anterior toma la forma siguiente:

$$(\text{sen } \theta + \text{sen } \varphi) = \frac{\lambda}{d} \cdot m \longrightarrow m = 1, 2, 3, \dots$$

*Nota: en los cálculos que se realizan el valor  $m$  es siempre igual a 1, que equivale al primer orden.*

Así pues mediante ésta expresión podemos determinar la distancia  $d$  de la red y el ángulo  $\varphi$ , sabiendo la longitud de la onda que pasa a través de ésta y el ángulo  $\theta$ .

Para ello basta con hacer incidir sobre la red luz de espectro electromagnético conocido y medir el ángulo con el que se va encontrando cada una de las rayas del espectro característico de éste elemento (en nuestro experimento el Hg).

Así pues, mediante la expresión anterior tenemos que:

$$\text{sen } \theta = \frac{\lambda}{d} - \text{sen } \varphi$$

Esta fórmula nos permitirá, a través de la ecuación de la recta hallada por la relación lineal entre el  $\text{sen } \theta$  y  $\lambda$ , determinar la constante  $d$ ,  $1/d$  y el valor de  $\varphi$ .

Así pues podemos hallar las ecuaciones que nos darán los valores dichos:

$$\frac{1}{d} = \text{pendiente de la recta (A)} \longrightarrow d = \frac{1}{A}$$
$$\text{sen } \varphi = \text{ordenada en el origen = B} \longrightarrow \varphi = \arcsen(B)$$

Y sus respectivos errores vendrán dados por:

$$\delta(d) = \frac{\delta(A)}{A^2}$$

$$\delta(\varphi) = \frac{\delta(B)}{\sqrt{1-B^2}}$$

## CALIBRADO DEL ESPECTROSCOPIO

El experimento comienza calibrando el espectroscopio adecuadamente. Debido a una ambigüedad en el guión de prácticas se perdió bastante tiempo al enfocar el telescopio. Finalmente se decidió seguir la lógica y enfocar la rendija de forma que se viese nítidamente, así como el aspa que marcaba el “punto de mira” del telescopio para ajustar la posición a las rayas de luz observables al máximo. La rendija se cerraba casi totalmente, hasta que la luz proveniente de la rendija se convertía en una línea muy fina y nítida. Posteriormente se centraba el telescopio en el cero, para mayor facilidad en la lectura de ángulos y se dejaba este montaje fijo a lo largo del experimento.

Hay que señalar que se perdió gran parte del tiempo del experimento intentando que la red fuese totalmente perpendicular al telescopio, fijándonos en la simetría al girar el telescopio a derecha o izquierda (en el guión de prácticas indicaba que se debía hacer con una precisión de 1'. Dicho ajuste era muy complicado y finalmente innecesario, con lo que se prescindió de él, aunque las prisas posteriores se vieron reflejadas en una imprecisión en las medidas de los ángulos (no había tiempo suficiente para leer los ángulos del nonius perfectamente).

A continuación se presenta la tabla con los valores de los ángulos obtenidos para cada longitud de onda del espectro de Hg (mercurio).

**Tabla 1** - Valores obtenidos en la difracción de la luz de una lámpara de Hg a través de una red de difracción de constante d.

Color	Longitud de onda (nm)	$\theta \pm 3'$	$\text{sen } \theta \pm 0,0008$
Amarillo	579,0	22° 40'	0,3854
Amarillo	576,9	22° 35'	0,3840
Verde	546,0	21° 6'	0,3600
Verde	495,9	19° 5'	0,3269
Azul	435,8	16° 40'	0,2868
Violeta	407,8	15° 39'	0,2698

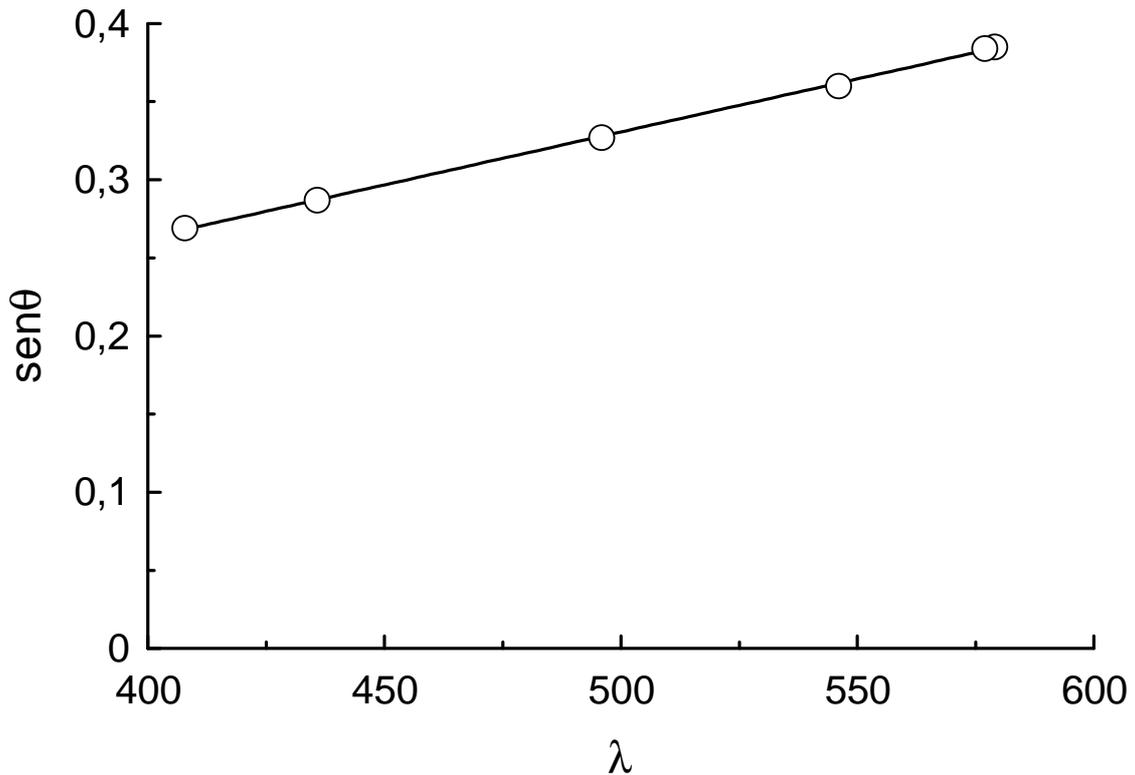
Nota: Los valores de la longitud de onda se extraen de (Tena, 2002) y el error se considera despreciable.

El error del  $\text{sen } \theta$  viene dado por la expresión:

$$\delta(\text{sen } \theta) = \cos \theta \cdot \delta(\theta)$$

La imprecisión antes mencionada se refleja en el error del ángulo, que en lugar de ser de 1' (sensibilidad del nonius circular) es de 3', puesto que era bastante complicado determinar las marcas que coincidían entre sí a causa de la imprecisión del ojo del experimentador y de la falta de tiempo.

A continuación se presenta la gráfica donde se verifica el comportamiento lineal del  $\text{sen}\theta$  frente a  $\lambda$ .



**Figura 1 - Dependencia lineal de la longitud de onda y la difracción de la luz de una lámpara de Hg a través de una red de difracción de constante d.**

Ecuación de la recta y coeficiente de correlación lineal:

$$\text{sen } \theta = (67,8 \pm 0,8) \cdot 10^{-5} \cdot \lambda + (-0,008 \pm 0,004) \quad r = 0,9997$$

$$1/d = 678 \pm 8 \text{ líneas/mm}$$

$$\text{Constante de la red de difracción } d = 1475 \pm 18 \text{ nm.}$$

$$\text{Desviación } \varphi = -0,008 \pm 0,004 \text{ (rad)}$$

En efecto, se comprueba la dependencia lineal entre la desviación angular según la longitud de onda que corresponde a cada raya del espectro de emisión del gas. El hecho de que la ordenada en el origen sea cercana a cero concuerda con que tratásemos de situar la red perpendicularmente al haz proveniente de la rendija, con lo que se espera que el ángulo de desviación en el origen sea cero.

Este calibrado nos permite obtener las longitudes de onda si cambiamos la fuente de luz por otra lámpara problema que contiene un gas desconocido. A partir del espectro de emisión podemos determinar de qué gas puede tratarse.

Mediante la siguiente expresión:

$$(\text{sen}\theta + \text{sen}\varphi) = \frac{\lambda}{d} \cdot m$$

donde  $1/d$  es la pendiente de la recta y  $-\text{sen}\varphi$  la ordenada en el origen, podemos calcular el valor de  $\lambda$  con la expresión siguiente:

$$\lambda = d(\text{sen}\theta + \text{sen}\varphi)$$

Y el error de  $\lambda$  viene dado por la expresión:

$$\delta(\lambda) = \sqrt{((\text{sen}\theta + \text{sen}\varphi) \cdot \delta(d))^2 + (d(\cos\theta \cdot \delta(\theta) + \cos\varphi \cdot \delta(\varphi)))^2}$$

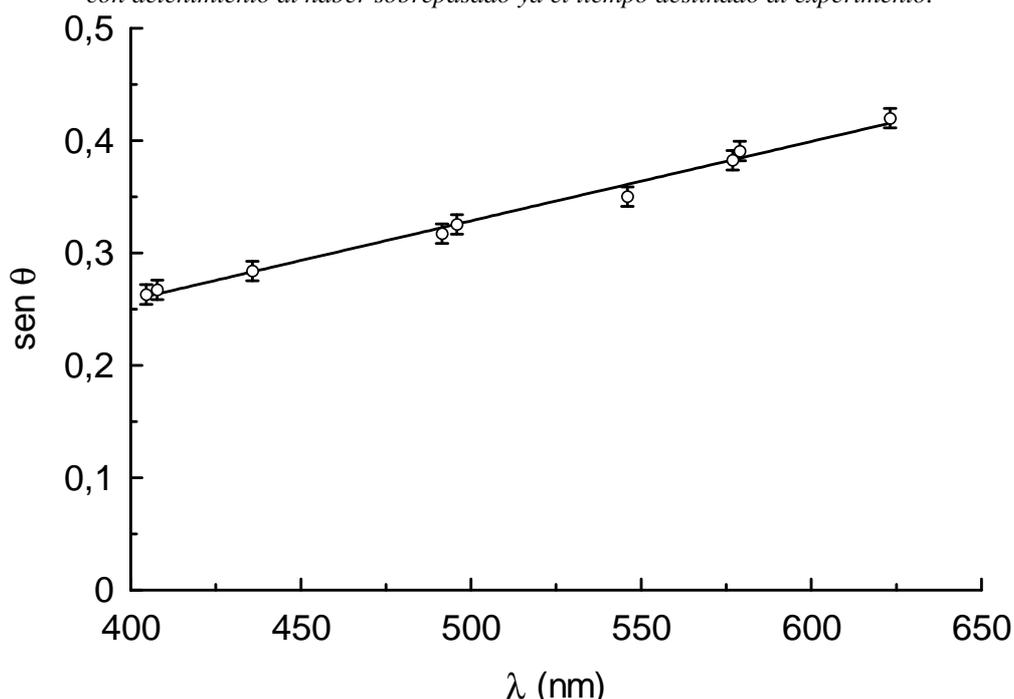
Hay que resaltar en este calibrado pasamos por alto varias rayas del espectro debido a que eran muy débiles y no nos fijamos en ellas. Posteriormente comprobamos (Tabla 2) que eran las que estaban antes del violeta (404,6nm), entre el verde y el azul (491,5nm) y la roja (623,2nm), que simplemente no se veía. Para poder observarla tuvimos que girar la rendija, con lo que los ángulos medidos, aunque más completos, no eran válidos para el resto del experimento, pues esta observación se hizo tras haber realizado los siguientes apartados.

Se observa el comportamiento lineal, (las medidas son algo imprecisas porque se tomaron los ángulos rápidamente dado que ya excedíamos el tiempo de la estancia en el laboratorio, al haber perdido tiempo intentándolo ajustar simétricamente). Por ello se asigna un mayor error a las medidas. Convendría repetir el experimento con más tiempo y correctamente, una vez ya se ha comprendido el procedimiento a seguir. Esto revela la importancia de saber cómo se debe proceder en cada experimento para extraer unos resultados aceptables e indica la incertidumbre que existe al acometer experimentos nuevos, nunca realizados, donde debes ir adquiriendo experiencia mediante ideas, pruebas y errores para ir refinando así el método experimental.

**Tabla 2 - Valores obtenidos en la difracción de la luz de una lámpara de Hg a través de una red de difracción de constante d tras reenfocar la red de difracción.**

Color	Longitud de onda (nm)	$\theta \pm 0^{\circ} 30'$	$\text{sen } \theta \pm 0,0008$
Rojo	623,2	24° 50'	0,4199
Amarillo	579,0	23° 0'	0,3907
Amarillo	576,9	22° 30'	0,3827
Verde	546,0	20° 30'	0,3502
Verde (débil)	495,9	19° 0'	0,3256
Verde	491,5	18° 30'	0,3173
Azul	435,8	16° 30'	0,2840
Violeta (débil)	407,8	15° 30'	0,2672
Violeta	404,6	15° 15'	0,2630

*Nota: Hay un error mayor en el ángulo debido a que no se pudo observar el nonius con detenimiento al haber sobrepasado ya el tiempo destinado al experimento.*



**Figura 2 - Reenfoco de la rendija para apreciar todo el espectro de emisión del mercurio.**

Ecuación de la recta y coeficiente de correlación lineal:  
 $\text{sen } \theta = (71 \pm 3) \cdot 10^{-5} \cdot \lambda + (0,024 \pm 0,013) \quad r = 0,996$

A partir de la pendiente podemos decir que  $1/d = 710 \pm 30$  líneas/mm

La constante del cristal de difracción sería ahora:

$d = 1420 \pm 50$  nm. (separación entre las “rendijas” de la estructura cristalina)

La desviación  $\varphi = -0,024 \pm 0,013$  (rad)

Se observa la imprecisión de las medidas, sobre todo entre las dos que estaban muy pegadas, cuya diferencia no se pudo apreciar con detenimiento. En la gráfica se observa visualmente dicho error, que fue debido a la utilización imprecisa del nonius circular para la medida de ángulos.

El sentido de esta nueva medida es analizar el espectro íntegro del mercurio, pues en la anterior no habíamos contemplado todas las rayas de emisión. Asimismo, se comprueba la dependencia lineal e indica las pautas a seguir en una posible repetición más adecuada y fiable del experimento en el futuro.

En cuanto a la observación del rojo, hay que destacar que no era observable hasta que se varió el ángulo de incidencia del haz sobre la red de difracción. Además, en el telescopio se veían reflejos o rayas más débiles entre las rayas principales más intensas del espectro, lo que habría causado confusión de no haber sabido previamente el espectro esperado.

Comparando con la gráfica anterior se observa la importancia de las condiciones iniciales: tanto la ordenada en el origen y la pendiente cambian con respecto a la gráfica anterior. Aunque la diferencia es relativamente pequeña, es más coherente trabajar con los resultados iniciales en los posteriores apartados, donde se siguió con el calibrado incompleto inicial, presumiblemente más adecuado para obtener unos resultados compatibles.

## LÁMPARAS PROBLEMA

A continuación se presenta la tabla con los valores obtenidos en la lámpara problema 1, que se sustituye en lugar de la de mercurio. El método de medida es similar. Mediante las ecuaciones anteriores se puede obtener la longitud de onda para cada ángulo medido según el color.

Puede que exista algún error sistemático en los resultados, puesto que la rendija se movió ligeramente con respecto al calibrado anterior al no haberla fijado suficientemente.

**Tabla 3 - Valores obtenidos en la difracción de la luz de una lámpara problema y longitudes de onda para un gas con un espectro de emisión coincidente con el obtenido.**

Color	$\theta \pm 3'$	$\lambda$ (nm)	Valores esperados (nm)
Azul oscuro	17° 36'	459 ± 8	470,0
Azul claro	18° 7'	471 ± 8	480,0
Verde	18° 44'	486 ± 9	511,0
Rojo	24° 35'	630 ± 10	643,8

Nota: Los valores esperados de la longitud de onda se apuntaron en el póster que había en el laboratorio. Su error lo consideramos despreciable frente al de los valores obtenidos en el experimento.

Vemos que los resultados coinciden con espectro de emisión del gas Cadmio. El espectro de emisión es similar, y los valores de las longitudes de onda coinciden con dichos colores. Los valores de las longitudes de onda son compatibles, puesto que están dentro del intervalo de error, pero se observa un error sistemático a causa del cual se

obtienen en todos los casos valores inferiores. Habría que repetir el experimento sin cometer los mismos fallos para obtener unos valores más fiables y ajustados.

A continuación se presenta la tabla con los valores obtenidos para la lámpara problema 2.

**Tabla 4 - Valores obtenidos en la difracción de la luz de la segunda lámpara problema .**

Color	$\theta \pm 3'$	$\lambda \pm 9 \text{ nm}$	Valores esperados (nm)
Amarillo	22° 50'	585	589,0
Amarillo	22° 55'	587	589,6

En este caso se observa que el espectro de emisión coincide con el del sodio, aunque no con la suficiente precisión como para distinguir uno de otro. Los valores de las longitudes de onda coinciden con dichos colores y son compatibles entre sí. El hecho de que las longitudes de onda obtenidas estén más del doble de separadas de lo esperado se debe a la imprecisión en la medida de los ángulos en el nonius.

Se observa nuevamente el error sistemático por el cual los valores son sistemáticamente inferiores. Esto se debe probablemente, como se ha señalado, a que la rendija se movió ligeramente entre el calibrado y la primera lámpara de descarga de gas. Por tanto, deberíamos repetir las medidas y calibrar el instrumento adecuadamente, además de no variar en ningún momento dichas condiciones.

Comparativamente, podemos calcular las longitudes de onda empleando el segundo ajuste, aunque no es una operación correcta porque se han variado las condiciones.

Los valores obtenidos serían:

**Tabla 5 – Comparación de los valores obtenidos en la difracción de la luz de cada lámpara para los dos ajustes realizados.**

Color	$\lambda \text{ (nm)}$	Valores anteriores (nm)	Valores esperados (nm)
<b>Lámpara de Cd</b>			
Azul oscuro	460 ± 30	459 ± 8	470,0
Azul claro	480 ± 30	471 ± 8	480,0
Verde	490 ± 30	486 ± 9	511,0
Rojo	620 ± 30	630 ± 10	643,8
<b>Lámpara de Na</b>			
Amarillo	584 ± 30	585 ± 9	589,0
Amarillo	586 ± 30	587 ± 9	589,6

Se observa que los datos son compatibles con los valores esperados, pero que tienen un error mayor debido a la imprecisión en la medida de los ángulos, lo cual ha provocado que del ajuste por mínimos cuadrados surgiesen errores mayores en la pendiente y la ordenada en el origen. Además, se observa de nuevo un error sistemático por el cual todas las longitudes de onda son inferiores a las esperadas. Este error podría deberse a un error en la medida de los ángulos en el nonius (cero mal centrado), al propio montaje del espectroscopio o a un calibrado impreciso del mismo.

Esta tabla no es concluyente sino indicativa: sugiere que se deben repetir las medidas siguiendo el método adecuado, detenido y preciso de la medida de los ángulos mediante el segundo sistema utilizado (enfocar hasta ver el rojo). De esa manera, se podrán obtener valores compatibles con mayor precisión que permitan distinguir unos colores de otros y asegurar con fiabilidad que se trata de dicho espectro de emisión.

# CONCLUSIÓN

En este experimento se ha observado el espectro de emisión de lámparas de diferentes gases. Cualitativamente se ha comprendido el significado de lo que es un espectro de rayas, fenómeno relacionado con la cuántica, con la simple colocación de una red de difracción. El hecho de que la luz se difractase en distintos ángulos según la longitud de onda permite afirmar el comportamiento ondulatorio de la luz así como que la emisión de luz por dichos gases está determinada y no forma un espectro continuo. Hay que resaltar que a partir de este sencillo experimento se visualizan estos fenómenos y se comprenden los conceptos indicados. Además, se pueden obtener tras un calibrado inicial, donde las longitudes de onda son conocidas, las longitudes de onda de otras lámparas, pudiendo identificar tanto el espectro como sus valores comparando con los valores esperados.

Los valores obtenidos en el experimento han sido en general compatibles, dado que el intervalo de error era en general cercano al valor esperado, pero se ha revelado un error sistemático que habría que subsanar para obtener unos resultados más fiables. Este error, como hemos ido señalando, podría deberse a un calibrado inadecuado del espectroscopio. Además, debido a la falta de tiempo, hemos considerado que el margen de incertidumbre en las medidas era mayor, con lo que los valores finales han tenido un error relativo mayor del que podríamos haber obtenido con un procedimiento más detenido.

En cuanto al montaje experimental, cabe destacar que se pueden determinar con bastante precisión las longitudes de onda, siempre que se utilice correctamente el nonius circular, para lo cual hace falta tiempo y proceder cuidadosa y detenidamente. En ese aspecto, podemos decir que este experimento ha sido algo caótico y apresurado, pues inicialmente se perdió demasiado tiempo calibrando el espectroscopio y después no hubo tiempo para realizar las medidas adecuadamente. Esto puede suceder en la experimentación, cuando no sabes bien cómo se debe proceder y te lanzas a la aventura. Una vez has acabado el experimento es cuando comprendes finalmente cómo debería haber sido el procedimiento y qué obstáculos has de salvar. Por tanto, la forma de mejorar los resultados obtenidos es simplemente repetir las medidas de nuevo ayudándose de la práctica y la experiencia con el fin de obtener unos resultados más ajustados y fiables que los obtenidos en nuestro experimento.

## Bibliografía consultada:

- Tena, Ballester (2002): *Guión de prácticas, Técnicas experimentales en Física General*