

Elementos dispersivos I:
prisma
version 1.0

Héctor Cruz Ramírez^{1*}
Antonio Alfonso Rodríguez-Rosales²
¹Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM
²CICTEG
*hector.cruz@ciencias.unam.mx

agosto 2018

Índice

1. Introducción	1
2. Primera parte experimental	4
2.1. Consideraciones experimentales	4
3. Segunda parte experimental	8
3.1. Proceso	8
4. Pormenores de la práctica	8
5. Agradecimientos	8

1. Introducción

La funcionalidad de los elementos dispersivos es el poder adquirir el **espectro** de un sistema físico; tales espectros pueden ser de *emisión* o *absorción*. En esta práctica el sistema físico (F) será una lámpara (por ejemplo Hg, Cd, Tl) que emite luz cuando se aplica una diferencia de potencial, ver Figura (1). Esta luz emitida es propagada a través de un dispositivo (Ω) el cual la separa en cada una de sus componentes espectrales (longitud de onda) λ_c , con cierto ancho de banda $\Delta\lambda$, tal que se tiene un intervalo dado $[\lambda_c - \Delta\lambda/2, \lambda_c + \Delta\lambda/2]$ a la salida de Ω y en la cual se mide su potencia con un potenciómetro (D) en este intervalo (espectro de emisión). Este proceso es llamado **espectroscopia**.

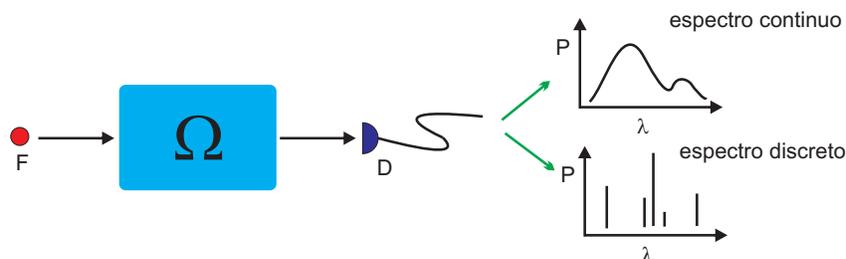


Figura 1: Esquema para realizar un análisis espectral de un fuente F.

Existen tres procesos básicos por medio del cual una molécula puede absorber radiación, dando lugar a niveles excitados de energía donde el incremento en la energía es igual la energía de la radiación absorbida: transición rotacional, transición vibracional y transición electrónica. Este último se refiere al caso en el que un átomo o molécula absorbe energía y entonces los electrones de un estado base pasan a un nivel de energía excitado, para posteriormente liberar la energía en forma de radiación electromagnética (luz). Esta diferencia de energía (ΔE) está relacionada con la longitud de onda por $\Delta E = \frac{hc}{\lambda}$ [1, 2, 3, 4].

Ejemplos de elementos dispersivos pueden ser la rejilla de difracción y un prisma (como el caso de esta práctica). Ejemplos de dispositivos que son usados para obtener un espectro de emisión o absorción son el monocromador, el espectrómetro, el espectrofotómetro y el analizador de espectros óptico (*OSA* por sus siglas en inglés). En nuestro caso se utilizará el espectrómetro, que se muestra en la Figura (2) y consiste de una tabla rotatoria en la cual un prisma o una rejilla de difracción son utilizados como elementos dispersores para realizar un análisis espectral; un colimador para proporcionar luz paralela al prisma o rejilla proveniente de la fuente de luz bajo estudio, y un telescopio movable para observar y ubicar las líneas espectrales. En esta práctica se utilizará un prisma de vidrio para dispersar (separar) la luz de una lámpara policromática (de Hg) en sus diferentes longitudes de onda. Por lo que con base en la ley de Snell, podemos establecer que el **índice de refracción depende de la longitud de onda**, i.e., $n = n(\lambda)$ [1, 2, 3, 4].

Es importante entender cómo funciona esta propiedad en un prisma. Recordemos además que existe una diversidad de tipos de prismas: los que son de caras paralelas (rectangular), Ver Figura (3) y los de caras no paralelas (trapezoides y triangulares), ver Figura (4). En el caso del primero se hace notar que sólo existe un desplazamiento paralelo al haz de entrada, de forma independiente a la longitud de onda utilizada a diferencia de los casos de caras no paralelas, en donde cada λ sale con un ángulo independiente del resto [1, 2, 3, 4].

Existe una relación muy útil para determinar la dependencia del índice de refracción en función de la longitud de onda $n = n(\lambda)$, conocida como la fórmula de Cauchy, que se representa por [1, 2, 3, 4]

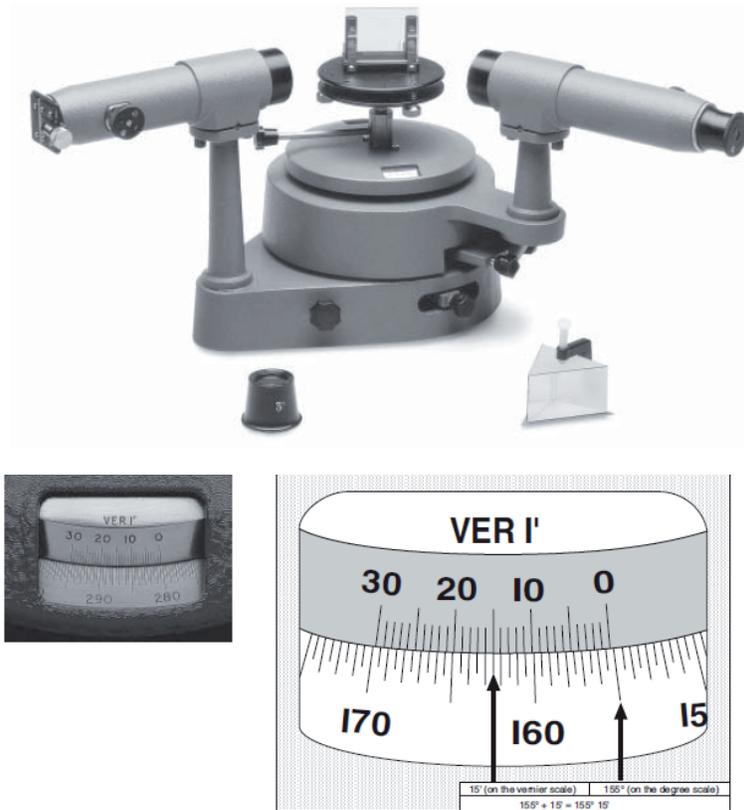


Figura 2: Fotografía de un espectrometro con una amplificación de uno de los vernier, tomado de [5].

$$n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} + \dots \quad (1)$$

siendo A, B, \dots , constantes.

Por las características del experimento, esta práctica se divide en dos partes experimentales. La primera tiene como fin caracterizar un prisma para utilizarse como elemento de dispersión espectral; en la segunda parte el objetivo es utilizar los resultados de la primera parte para obtener los coeficientes de Cauchy, así como determinar la λ de una fuente de emisión desconocida (utilizar la de un láser) y su $n = n(\lambda)$ asociada al prisma.

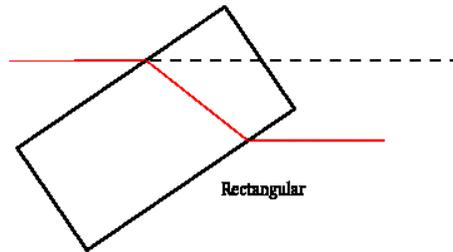


Figura 3: Prisma de geometría rectangular.

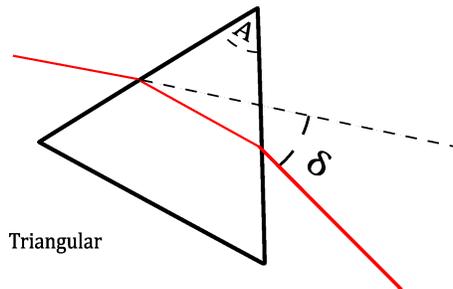


Figura 4: Prisma de geometría triangular.

2. Primera parte experimental

La primera etapa tiene como objetivos los siguientes, ver Figura (5):

- Con el espectrómetro determinar el ángulo del vértice principal del prisma (ángulo refringente) y el ángulo de desviación mínima para las diferentes líneas del espectro del mercurio (Hg).
- Con los datos obtenidos de al menos cuatro líneas espectrales (cuyas longitudes de onda se encuentran en las tablas del laboratorio), determinar el índice de refracción del prisma para cada una de estas.

2.1. Consideraciones experimentales

Con el fin de optimizar el desarrollo experimental, es conveniente tomar en cuenta los siguientes puntos claves en el experimento:

- Considerar que el telescopio apunta al centro de la plataforma circular, por lo que es necesario determinar y marcar el centro de la misma ver Figura (5 a). El espectrometro (telescopio, plato, colimador) primero deberá alinearse con un láser (L). ADVERTENCIA: si el láser no está atenuado no mirar por el telescopio.

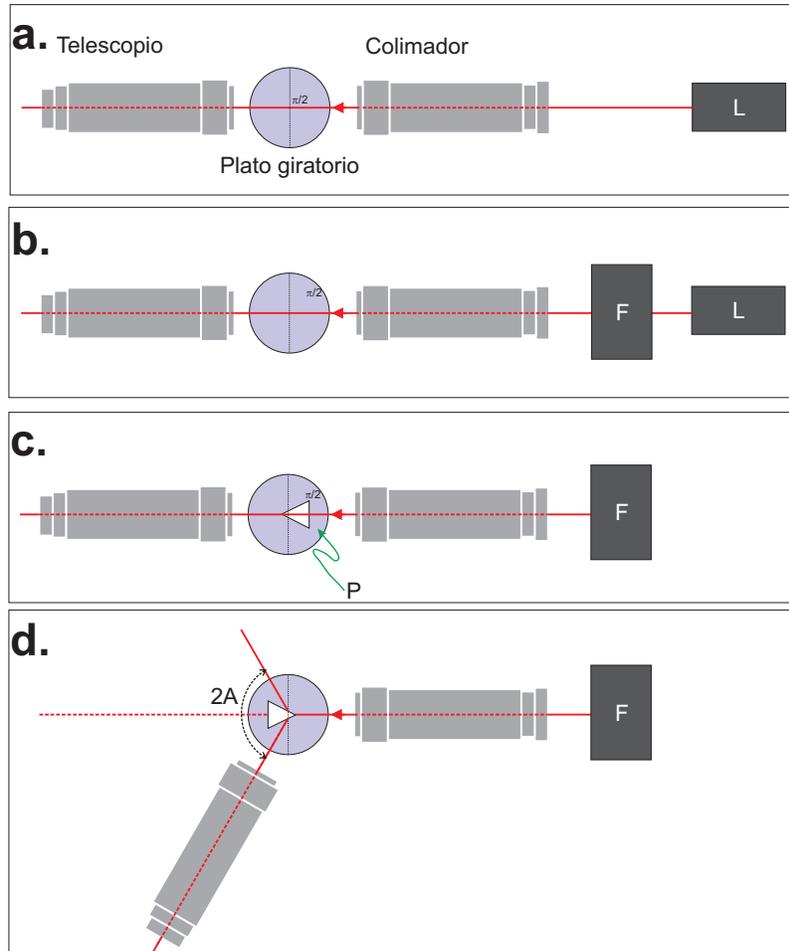


Figura 5: Diagrama para alinear el espectrometro y medir el ángulo del prisma

- La fuente (Hg, Cd, Tl), deberá contar con una rendija de aproximadamente 2-3 mm de ancho por 2-3 mm de largo. En este paso se inserta la lámpara (F), ver Figura (5 b). El haz debe propagarse en la misma dirección que el eje óptico y se debe cerrar la rejilla hasta ver una línea.
- Alineación. Como ya se ha mencionado, esta etapa es fundamental para la obtención de resultados, por lo que es muy importante que se alinee el sistema de tal manera que el colimador, la plataforma circular y el telescopio se alineen y queden a 0° y a 180° , ver Figuras (5 a y b).
- Cuando se coloque el prisma (P), el vértice del ángulo A, deberá estar en el centro de la plataforma (1 ó 2 mm adelante del centro, ver Figura (5 c y d)).
- En todos los casos, antes de realizar mediciones, primero observar en forma cualitativa los fenómenos a estudiar. En el caso de la primera parte, lo que se debe observar son reflexiones de la luz (en ocasiones se comete el error de confundir con las de transmisión). Para la etapa de las observaciones espectrales, notar que el haz de luz entra por una de las caras de incidencia y sale por la contracara, inmediatamente girar la plataforma de manera manual (sin desalinear el colimador y el telescopio) hasta observar el espectro, , ver Figura (6); continuar hasta observar el punto de retorno (donde se ubica el δ mínimo para cada color).

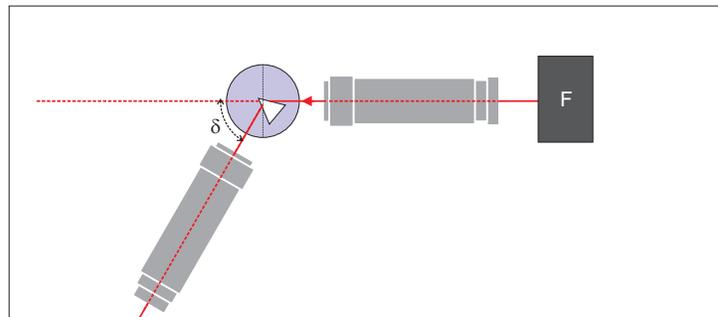


Figura 6: Diagrama para medir el ángulo de desviación mínima para cada longitud de onda.

Designamos con A el ángulo del vértice principal (ángulo refringente del prisma). El método propuesto en este experimento consiste en determinar los ángulos involucrados en las mediciones a través de un método de triangulación; puesto que usando una fuente de Hg, el mismo se puede determinar usando el esquema ilustrado en la Figura (5 c y d).

Usando el esquema experimental indicado en la Figura (6), donde el haz del láser atraviesa el prisma, se demuestra teóricamente, al utilizar las leyes de la

refracción que el ángulo de desviación total del rayo incidente (δ) toma su valor mínimo cuando el haz de luz atraviesa el prisma en forma simétrica respecto a la bisectriz del ángulo de refrigencia del prisma. Más específicamente, ver Figura (7) se puede calcular que [1, 2, 3, 4]:

$$\delta = \alpha + \text{sen}^{-1}[(\text{sen}A)(n^2 - \text{sen}^2\alpha)^{\frac{1}{2}} - \text{sen}\alpha \cdot \text{cos}A] - A. \quad (2)$$

Al graficar la ecuación anterior como función de α , se aprecia que hay un mínimo en el valor de δ_{min} , ver Figura (8).

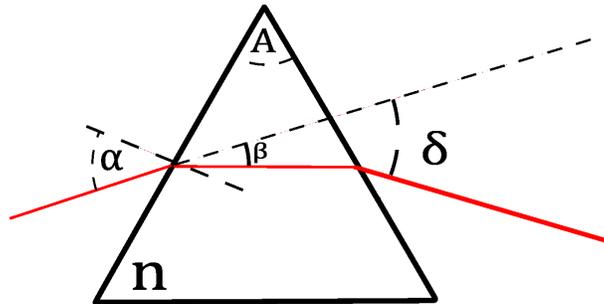


Figura 7: Esquema para encontrar el ángulo de desviación mínima.

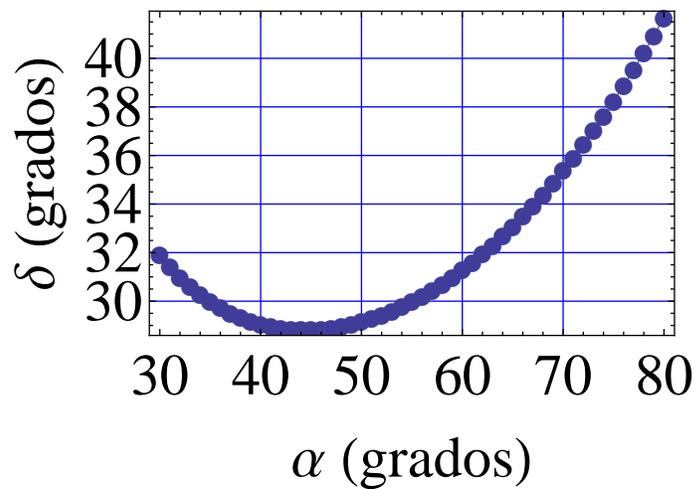


Figura 8: Gráfica de ángulo de desviación en función del ángulo de incidencia, con $n = 1.5$ y $A = 60^\circ$



Cuando δ sea mínimo se obtiene la siguiente relación:

$$n = \frac{\text{sen}\left(\frac{\delta_{\text{mín}} + A}{2}\right)}{\text{sen}\left(\frac{A}{2}\right)}.$$

Nota final: Si se desea medir el índice de refracción de un líquido usando esta técnica, se llena con el líquido en cuestión, un prisma hueco y se procede como se hizo anteriormente.

3. Segunda parte experimental

Esta segunda parte tiene como objetivos, los siguientes:

- Con los resultados obtenidos determinar los coeficientes A y B de la fórmula de Cauchy.
- Con base en las experiencias adquiridas determinar la longitud de onda de una fuente luminosa monocromática (láser) y el índice de refracción en el prisma asociado a ésta.

3.1. Proceso

Para determinar los coeficientes de la fórmula de Cauchy se pueden seguir los siguientes pasos:

- Graficar λ vs $n(\lambda)$.
- Elaborar una tabla que contenga λ , $n(\lambda)$ y $\frac{1}{\lambda^2}$.
- Graficar $\frac{1}{\lambda^2}$ vs $n(\lambda)$.
- Realizar el proceso de regresión lineal sobre la gráfica para obtener A y B .

Para la obtención de la λ y $n(\lambda)$ proponga el arreglo y estrategia experimental. Se recomienda basarse en los experimentos y resultados obtenidos.

4. Pormenores de la práctica

Cantidad de sesiones en el laboratorio: 2 sesiones.

5. Agradecimientos

Estas notas fueron realizadas con el apoyo del proyecto PAPIME PE107618 (versión 1). Agradecemos a los estudiantes Samuel Corona Aquino y Javier Alejandro López Alfaro en la elaboración de estas notas.



Referencias

- [1] B.D. Guenther, "Modern Optics," Oxford University Press; 2 edition (2015).
- [2] E. Hecht, "Optics," Addison-Wesley; 4 edition (2001).
- [3] M. Born and E. Wolf, "Principles of optics," Cambridge University Press; 7 edition (1999).
- [4] B.E.A Saleh y M.C. Teich, "Fundamentals of photonics," Wiley-Interscience; 2 edition (2007).
- [5] Instruction Manual and Experiment Guide for the PASCO scientific Model SP-9268A, "Student spectrometer," PASCO scientific, 1991.