

## **Práctica 7. Dispersión de la luz mediante un prisma**

### 1. OBJETIVOS

- Aprender el manejo del espectrómetro.
- Determinar del índice de refracción de un prisma y de un líquido problema.
- Realizar la curva de calibrado de un prisma.

### 2. MATERIAL

- Espectrómetro.
- Accesorios (prisma, montura ...).
- Portalámparas y fuente de alimentación.
- Lámparas de Na y He.

### 3. FUNDAMENTO TEÓRICO

Un **prisma óptico** es un medio transparente limitado por dos superficies planas que forman un ángulo diedro A (llamado **ángulo de refringencia**). Es, después de las lentes, la pieza más útil de los aparatos ópticos.

Newton descubrió en 1666 que cuando se hacía pasar un haz de luz natural a través de un prisma óptico, aparecía una banda coloreada muy semejante a una porción de arcoiris, y demostró que la luz era una combinación de los colores que aparecían (Fig. 1).

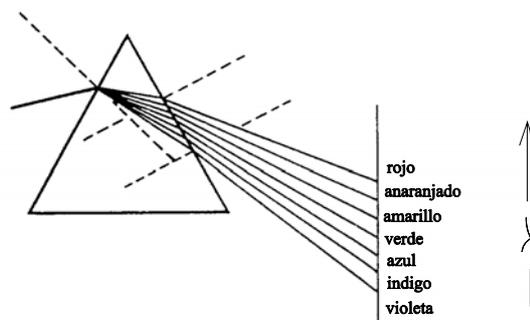


Figura 1

Dispersión de la luz blanca por un prisma óptico

En su experiencia, Newton dispersó los distintos componentes de la luz natural en lo que denominó **espectro**. El fundamento de la dispersión de la luz blanca radica en que las distintas radiaciones que componen la luz natural viajan en el vacío con la misma velocidad, mientras que en el vidrio lo hacen con velocidades distintas. A cada frecuencia componente de la radiación luminosa le corresponde un índice de refracción diferente, y por ello sufren distintas desviaciones. El ángulo de desviación de la luz refractada es mayor cuanto mayor es la frecuencia.

Hoy llamamos espectro al resultado del análisis de las distintas frecuencias que integran una radiación compleja. En la Figura 2 podemos ver el conjunto del espectro electromagnético, del que el espectro visible es una pequeña porción cuyas longitudes de onda aparecen en la tabla 1.

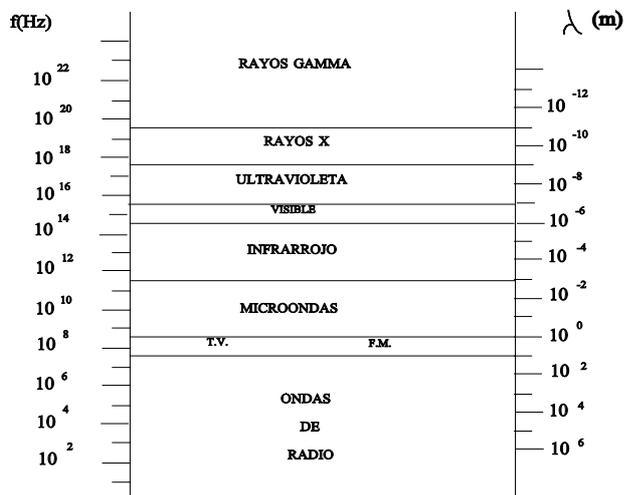


Figura 2  
Espectro electromagnético

Longitud de onda $\lambda$ en amstrongs (A)	color
3950-4550	violeta
4550-4900	azul
4900-5750	verde
5750-5900	amarillo
5900-6500	anaranjado
6500-7500	rojo

Tabla1: El espectro visible

Según su origen podemos distinguir dos tipos de espectros:

- los **espectros de emisión**, que resultan del análisis de la luz emitida por sustancias incandescentes;
- los **espectros de absorción**, que resultan del análisis de la luz que emite un foco luminoso conocido cuando ésta es obligada a atravesar determinada substancia.

Según su aspecto, los espectros son continuos y discontinuos. Estos últimos pueden ser *de rayas* (originados por átomos) o *de bandas* (originados por moléculas).

### Análisis espectral

Cuando se estudiaban los espectros de los elementos químicos, se observó que para un elemento dado, las rayas que aparecían eran sistemáticamente las mismas (correspondían a las mismas frecuencias). A estas rayas se las denominó **rayas características**. En la figura 3 (parte superior) aparece el esquema del dispositivo empleado para medir espectros atómicos, y en la parte inferior de la figura 3 un ejemplo: el espectro del hidrógeno.

Las rayas características de un elemento aparecen siempre que el elemento esté presente en la muestra analizada, independientemente de que se halle mezclado o combinado

con otros. El que ningún elemento presente las rayas características de otro, permite averiguar la composición química de las substancias analizando con un espectroscopio la luz emitida (o absorbida) por una muestra.

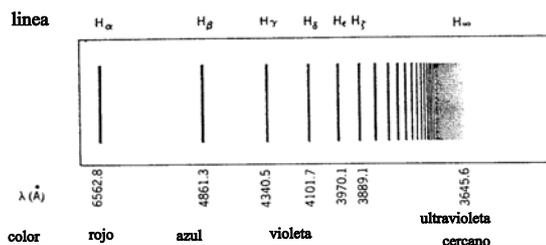
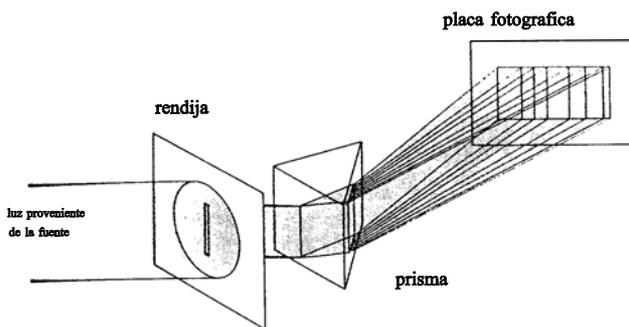


Figura 3

La aplicación de la Espectroscopía al análisis químico no sólo permite la realización de análisis cualitativos identificando las rayas o bandas correspondientes a las distintas substancias, sino que también permite la realización de análisis cuantitativos ya que la intensidad de las rayas espectrales es una función de la concentración de la substancia que las origina.

### EL PRISMA ÓPTICO

Los prismas juegan muchos papeles diferentes en la óptica. Hay combinaciones de prismas que sirven como divisores de haz, polarizadores o interferómetros. Sin embargo, la gran mayoría de las aplicaciones se basan en una de las dos funciones principales de los prismas: dispersión de haces de luz y cambio en la orientación de una imagen o de la dirección de propagación de un haz.

Estudiaremos la refracción de un rayo en una sección principal del prisma: aquella que es normal a la arista del mismo.

#### Desviación angular $\delta$

Es el ángulo que forma la prolongación del rayo incidente con el emergente. Encontrar  $\delta$  es inmediato. Basta aplicar la ley de Snell a la primera superficie (ver figura 4), calcular el ángulo de refracción, encontrar geoméricamente el ángulo de incidencia en la segunda superficie y aplicar de nuevo la ley de Snell.

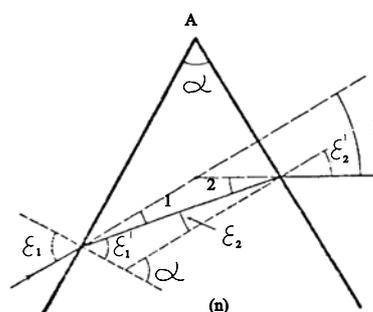


Figura 4.

Refracción en la sección principal

Obtenemos:

$$\delta = \varepsilon_1 + \varepsilon_2' - A \quad (1)$$

Si asumimos que la luz incidente es monocromática, fijados  $A$  ( un único prisma) y  $\varepsilon_1$  (ángulo de incidencia) obtendremos un único valor para  $\delta$ .

Si, por el contrario, variamos el ángulo de incidencia, la desviación también variará: si  $\varepsilon_1$  decrece a partir de un valor grande,  $\delta$  decrece en principio, y después aumenta, pasando por un mínimo para un ángulo de incidencia bien definido: cuando los rayos atraviesan el prisma simétricamente. El ángulo  $\delta_m$  de mínima desviación se puede obtener aplicando la condición de extremo a la expresión de  $\delta$ ; dicha condición conllevará, aplicando la ley de Snell y diferenciando las expresiones, que para  $\delta_m$ ,  $|\varepsilon_1| = |\varepsilon_2'|$ .<sup>1</sup>

$$\varepsilon_1' = \frac{A}{2}; \quad \varepsilon_1 = \frac{\delta_m + A}{2}$$

Y aplicando de nuevo la ley de Snell:

$$\text{sen} \frac{\delta_m + A}{2} = n \text{sen} \frac{A}{2}$$

De donde podemos determinar  $n$  experimentalmente si conocemos (o medimos)  $A$  y medimos  $\delta_m$ .

$$n = \frac{\text{sen} \left( \frac{\delta_m + A}{2} \right)}{\text{sen} A/2} \quad (2)$$

Para determinar el índice de refracción de un sólido, se talla una muestra en forma de prisma. Se determinan los ángulos de refringencia y mínima desviación con un **espectrómetro**, y se puede calcular  $n$  con gran exactitud. Dado que el índice de refracción de una substancia varía con la longitud de onda, para caracterizar la refracción en dicha substancia se refiere su índice de refracción a la longitud de onda de la raya amarilla del espectro de sodio.

---

<sup>1</sup>Otra forma no matemática de demostrar la necesidad de esta igualdad es el argumento de REVERSIBILIDAD: supongamos que un rayo sufre una desviación mínima y que  $\varepsilon_1 \neq \varepsilon_2'$ ; si regresamos el rayo, éste recorrerá la misma trayectoria, por lo que  $\delta = \delta_m$ , pero esto implicaría que habría dos ángulos de incidencia diferentes para los cuales la desviación es un mínimo y esto no es cierto; por lo tanto  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2'$ .

### Dispersión

La velocidad de la luz en una substancia es distinta para cada longitud de onda  $\lambda$ , por lo que el índice de refracción, como se ha visto, también será función de  $\lambda$ :  $n=n(\lambda)$ . La forma de esta dependencia ha de ser determinada para cada medio por métodos teóricos o experimentales. Diferenciando esa expresión:

$$dn = \left(\frac{dn}{d\lambda}\right) d\lambda \tag{3}$$

A  $dn/d\lambda$  se le denomina dispersión espectral del medio o **dispersión cromática**.

Para caracterizar los vidrios ópticos, existe el convenio de tomar unas longitudes de onda tipo, pertenecientes a los espectros atómicos de ciertos elementos y dar los índices de refracción correspondientes. Algunas de esas longitudes de onda de referencia se listan en la tabla 2.

Región del espectro	Símbolo	$\lambda$ (en nm )	Elemento
infrarrojo		1014	Hg
rojo	A'	768,2	K
rojo	C	656,3	H
amarillo	D	589,3*	Na
amarillo	D <sub>3</sub> o d	587,6	He
verde	e	546,1	Hg
verde	c	495,8	Fe
azul	F	486,1	H
azul	g	435,8	Hg
violeta	h	404,7	Hg
violeta	K	393,4	Ca
ultravioleta		365	Hg

\* En realidad esta raya es el centro del doblete del Na, formado por dos rayas muy juntas de longitudes de onda 589,6 nm ( raya D<sub>1</sub>) y 590nm (raya D<sub>2</sub>).

Tabla 2: longitudes de onda de algunas líneas espectrales características

En general, el índice de refracción es mayor para las longitudes de onda más cortas, y su variación con  $\lambda$  puede ser muy distinta de unas sustancias a otras. Para caracterizar la dispersión de un vidrio, que será tanto mayor cuanto mayor sea  $dn/d\lambda$  se define el **parámetro de dispersión o número de Abbe  $\nu$**  para cada intervalo del espectro como el cociente entre el índice central menos uno y la diferencia entre los índices extremos:

$$\nu_d = \frac{n_d - 1}{n_F - n_C} \quad (4)$$

Los subíndices de la expresión corresponden a las letras que simbolizan las líneas espectrales listadas en la tabla 2.

Seguidamente se adjuntan unas instrucciones generales para la realización de las medidas que determinarán el ángulo de mínima desviación y el de refringencia:

#### Para medir el ángulo de mínima desviación:

1.- Alinear y enfocar el espectrómetro

2.- Fijar el soporte del prisma a la plataforma del espectrómetro usando los dos tornillos, y poner el prisma sujetándolo con el tornillo de plástico (ver Figura 5).

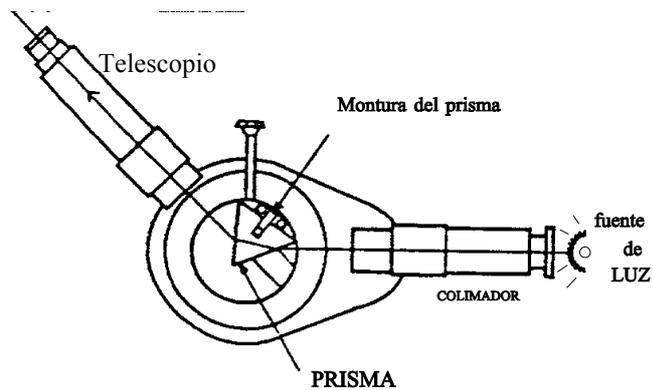


Figura 5

3.- Colocar la fuente de luz a unos pocos centímetros detrás de la rendija del colimador. (Puede ser útil oscurecer parcialmente la habitación, pero cuando se usa el prisma no suele ser necesario).

4.- Con el prisma, generalmente es posible ver la luz refractada a simple vista. Localizar la dirección del rayo refractado y alinear el telescopio para poder verla.

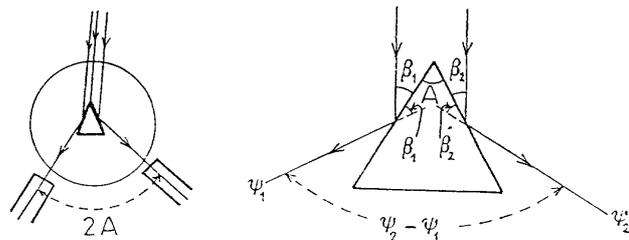
5.- Mientras se mira por el telescopio, rotar la plataforma giratoria del espectrómetro en ambas direcciones. El ángulo de refracción para la línea espectral bajo observación cambia. Rotar la plataforma hasta que ese ángulo sea mínimo, y luego rotar el telescopio para alinear la retícula vertical con el borde fijo de la rendija. Usar los botones de ajuste fino para conseguir un alineamiento tan preciso como sea posible; medir el ángulo usando la escala.

6.- Sin cambiar la plataforma giratoria del espectrómetro, quitar el prisma y girar el telescopio hasta alinearlo con el rayo sin desviar. Medir el ángulo. La diferencia entre este ángulo y el medido para la línea espectral difractada en el paso 5 es el ángulo de mínima desviación. Nótese que, como la determinación del ángulo de mínima desviación para cada línea espectral requiere ajustes de la plataforma giratoria del aparato, *el ángulo del rayo sin desviar debe ser medido para cada línea.*

**Para medir el ángulo de refringencia:**

- 1.- Alinear y enfocar el espectrómetro.
- 2.- Colocar el prisma en la plataforma de modo que la bisectriz del ángulo de refringencia coincida con el eje óptico del colimador.
- 3.- Girar el anteojo hasta que veamos la imagen de la rendija a través de una de las caras del prisma. Ajustar con precisión el anteojo para hacer coincidir la línea vertical del retículo con el borde fijo de la rendija. Realizar la lectura tantas veces como sea necesario para obtener un valor fiable del ángulo  $\psi_1$ .
- 4.- Repetir lo anterior para la otra cara del prisma, y obtener así  $\psi_2$ .
- 5.- El ángulo de refringencia se obtiene

$$A = \frac{\psi_2 - \psi_1}{2}$$



según la expresión (ver Figura 6):

Figura 6.

**4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

Siguiendo las instrucciones adjuntadas en "PUESTA A PUNTO Y USO DEL ESPECTRÓMETRO", realizar los siguientes pasos:

1. Puesta a punto del espectrómetro (alineación y enfoque).

Pedir al profesor que instale la lámpara de Na, y utilizar la raya amarilla D para:

2. Medir el ángulo de refringencia  $A$ .

3. Medir del ángulo de mínima desviación.

Instalar el prisma hueco con agua en su interior.

4. Medir el ángulo de mínima desviación

Pedir al profesor que instale la lámpara de He.

5. Medir los ángulos de mínima desviación para las rayas características del espectro de He.

## RESULTADOS

1) Calcular el índice de refracción del prisma para la raya D del espectro de Na y para la raya amarilla del He.

2) Calcular el índice de refracción del agua para la raya D del Na. Contrastar con los valores encontrados en la bibliografía.

3) Realizar una curva de calibrado del prisma con los valores del espectro del He: en el eje de ordenadas se representarán las longitudes de onda (que previamente se habían determinado con la red de difracción) y en el eje de abcisas se representarán las desviaciones angulares mínimas para cada longitud de onda.

4) Obtener por interpolación en dicha curva de calibrado la longitud de onda de la raya D del Na.

5) Realizar un cálculo aproximado del parámetro de dispersión del prisma para el espectro visible a partir de las rayas amarilla, azul y roja del He.

## CUESTIONES

1.- ¿Por qué cambia el desplazamiento de las rayas en la desviación mínima?

2.- ¿Por qué han de utilizarse haces colimados?

3.- Deducir la expresión (1).

4.- Deducir la expresión (2).

5.- ¿Por qué depende  $\delta$  de la longitud de onda?

6.- ¿Por qué se toman siempre las medias de ángulos de desviación mínima?