

Medición de las líneas espectrales de gases nobles y vapores metálicos con un espectrómetro de red de difracción

Objetivos del experimento

- Ajuste del espectrómetro de rejilla
- Medición de un espectro de líneas
- Identificación de la fuente de luz medida
- Determinación de la distancia de sendas líneas D amarillas del sodio.

Fundamentos

Los metales nobles y los vapores metálicos excitados para generar luz emiten líneas espectrales, o sea, una determinada cantidad de longitudes de onda que son características del elemento en cuestión. La medición exacta de las longitudes de onda permite realizar aseveraciones sobre las fuentes de luz.

Con una rejilla de difracción es posible separar las líneas espectrales. En dicha rejilla la luz sufre difracción, los haces de una longitud de onda se superponen y producen claros máximos de intensidad. La luz de onda larga es difractada más fuertemente que la de onda corta.

La luz entra en el espectrómetro de red de forma divergente a través de su rendija vertical S, de altura y ancho variables, e incide en el objetivo O_1 , que se encuentra en la distancia focal de la rendija (ver figura 1). La rendija y el objetivo juntos forman un colimador. Detrás del objetivo, la luz llega como un conjunto de haces paralelos hasta la red G, esto es, todos los haces inciden con el mismo ángulo en la red. La luz es difractada por la red de forma que cada longitud de onda es desviada de manera distinta.

Finalmente, mediante un segundo objetivo O_2 , todos los haces paralelos de una longitud de onda confluyen en una imagen de la rendija S sobre el plano focal del objetivo. En el plano focal surge un espectro tan puro que puede ser observado con el ocular O' . El objetivo O_2 y el ocular O' forman juntos un telescopio astronómico enfocado al infinito.

A fin de medir el ángulo de desviación, el telescopio es solidario a un brazo giratorio. Girando el telescopio se enfoca hacia las distintas líneas espectrales un retículo, que se encuentra en el plano focal del ocular. Para medir los ángulos γ , de este modo, la posición relativa de cada línea, se registra sobre un goniómetro la posición del telescopio sobre un semidisco con una escala dividida en intervalos de $0,5^\circ$. Mediante un nonio puede leerse la posición con precisión de un minuto.

La difracción está en relación lineal con la longitud de onda ($\sin \alpha \sim \lambda$ del espectro normal). Para que las longitudes de onda de una fuente de luz desconocida puedan asociarse a las desviaciones que provoca la red, el aparato, a diferencia del espectrómetro de prisma (espectro de dispersión), no debe ser calibrado. Contando con las desviaciones de cada línea espectral de una fuente de luz desconocida pueden calcularse las longitudes de onda correspondientes. En base a ellas puede luego determinarse, por comparación con valores de tabla adecuados, la fuente de luz.

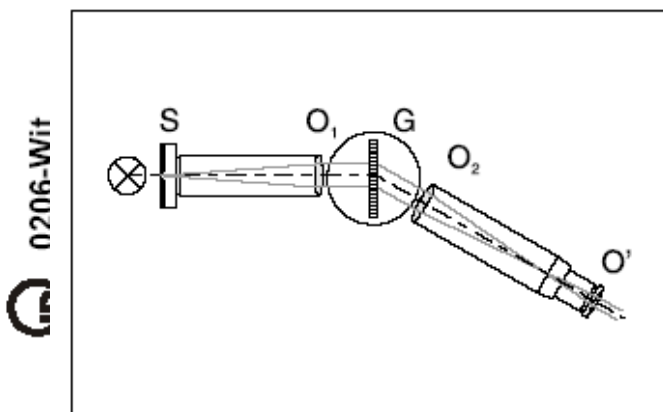


Fig. 1 Marcha del haz en un espectrómetro de rejilla

Equipo

1 espectrómetro y goniómetro	467 23
1 copia de red de difracción de Rowland aproximadamente 5700 rayas/cm	471 23
1 lámpara espectral de He; casquillo de patillas	451 031
1 lámpara espectral de He; casquillo de patillas	451 111
1 chasis para lámpara espectral con zócalo con bornes	451 16
1 bobina de reactancia universal, en chasis 230 V, 50 Hz	451 30
1 transformador 6 V~, 12 V~/30VA	562 73
1 base de soporte pequeña en forma de V	300 02

además:

1 lámpara espectral de Ne; zócalo de bornes	51 011
1 lámpara espectral de Cd; zócalo de bornes	451 041
1 lámpara espectral de Hg/Cd; zócalo de bornes	451 071
1 lámpara espectral Ti; zócalo de bornes	451 081

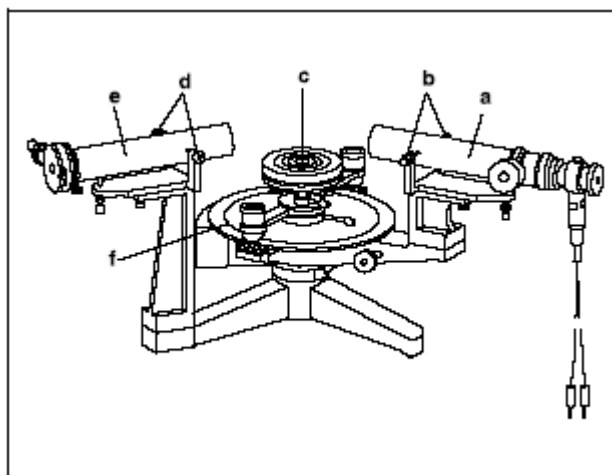


Fig. 2 Espectrómetro

- a telescopio
- b tornillos de ajuste para desplazamiento lateral del colimador
- c mesa de prisma
- d tornillos de ajuste para desplazamiento lateral del telescopio
- e colimador
- f base de montaje del espectrómetro

Ajuste del espectrómetro

Para poder realizar mediciones precisas, el espectrómetro debe ser ajustado con cuidado.

La rendija y la retícula deben hallarse en el plano focal de los objetivos correspondientes (marcha telescópica del haz).

La rendija y la retícula deben correr paralelas al eje de rotación del telescopio.

Oscurecer un poco el ambiente facilita algunos pasos del trabajo de ajuste así como la medición de las líneas espectrales.

Ajuste previo:

La inclinación de la mesa de prisma puede modificarse sólo dentro de ciertos límites. A fin de contar con más espacio para realizar el ajuste fino, esta mesa debe disponerse lo más horizontalmente posible (para controlar esto puede usarse sencillamente la vista).

- Emplazar horizontalmente el telescopio (a), la mesa de prisma (c) y el colimador (e). Bastará hacerlo a simple vista (ver figura 2).
- Centrar el telescopio y el colimador con los tornillos de ajuste del desplazamiento lateral (b), (d) y luego afirmar. No aflojar demasiado estos tornillos, ya que sirven para afirmar la posición del telescopio y el colimador.

Indicaciones para la seguridad

- No superar la máxima tensión permitida para la lámpara del iluminador ($U_{\max} = 8V$).

Las lámparas espectrales y el chasis aumentan su temperatura al estar en funcionamiento.

- Antes de intercambiar las lámparas, entonces, dejarlas enfriar.

Enfoque del telescopio al infinito:

Indicación: Si bien las personas con ametropía pueden observar con nitidez objetos lejanos con el telescopio, para que esto ocurra, el telescopio no debe encontrarse enfocado exactamente al infinito. No obstante eso, pueden hacerse mediciones precisas si una misma persona ajusta el colimador junto con el telescopio enfocado de esa manera. Para que otras personas puedan observar los espectros, el ocular a4 debe ser deslizado, a fin de lograr nitidez.

- Quitar el ocular (a4), asegurar el iluminador (a3) al telescopio y volver a ubicar el ocular con la abertura para el iluminador (a5) mirando hacia abajo (ver figura 3).
- Enfocar el retículo con nitidez deslizando el ocular (a4) dentro del tubo del ocular y, eventualmente, centrarlo, procurando siempre que la abertura para el iluminador (a5) siga mirando hacia abajo.
- Con el tornillo de enfoque para nitidez (a1) enfocar hacia un objeto lejano (> 500 m) el telescopio, que se encuentra en posición horizontal.

Dado que la imagen del objeto observado debe, si está correctamente enfocado, encontrarse en el plano focal, en la medida de lo posible no debe existir paralaje entre dicho objeto y el retículo.

Ajuste del iluminador:

- Apuntar el telescopio hacia el colimador (rendija levemente abierta).
- Conectar el iluminador (a3) a una tensión $U = 6 V$.
- Con el tornillo de seguridad (a2) fijar el iluminador al telescopio de tal forma que la cara interior de la rendija esté bien iluminada sin que se haya producido ningún corrimiento del ocular.

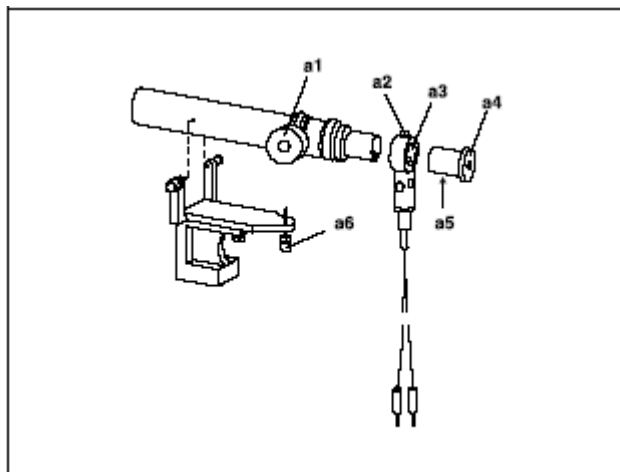


Fig. 3 Telescopio con iluminador

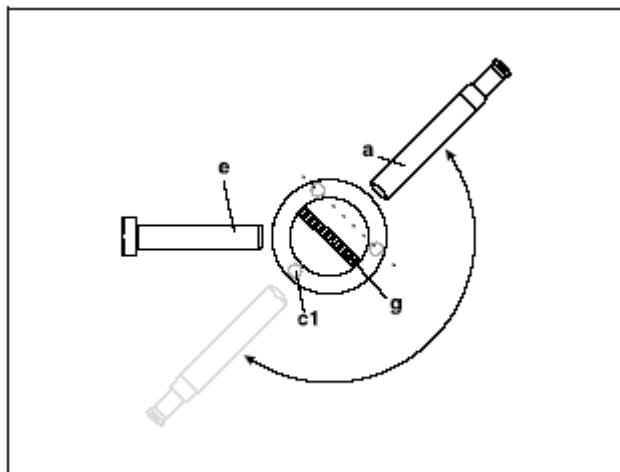
- a1 tornillo de enfoque para nitidez
- a2 tornillo de seguridad para el iluminador
- a3 iluminador
- a4 ocular
- a5 abertura para iluminador (tapada)
- a6 tornillo de ajuste de altura del telescopio

Ajuste del eje óptico del telescopio perpendicular al eje del espectrómetro y de la rejilla, paralela a él:

- Adherir firmemente la rejilla al soporte del disco plano de vidrio (**g**) y ubicarla a 45° del colimador (**e**) en el centro de la mesa de prisma, de manera que la línea de unión de dos tornillos de nivelación corra paralela a las caras laterales de la rejilla (ver figura 4).
- Disponer el telescopio (**a**) perpendicularmente a una cara lateral de la rejilla de manera que el retículo pueda reflejarse en la cara lateral.
- Superponer la parte horizontal del retículo y su imagen reflejada. Para ello, ajustar la mitad de la distancia con el tornillo de ajuste de altura del telescopio (**a6**) (ver figura 3) y la otra mitad con el tornillo de nivelación de la mesa de prisma (**c1**).

Fig. 4 Espectrómetro con rejilla

- a telescopio
- c1 tornillo de nivelación para la mesa de prisma
- e colimador
- g rejilla sobre soporte



- Repetir los dos pasos siguientes tantas veces como sea necesario para que la parte horizontal del retículo en ambas caras de la rejilla y su reflejo queden superpuestos:

1) hacer girar el telescopio 180°, tal como muestra la figura 4, a fin de que el retículo se refleje en la otra cara lateral de la rejilla.

2) Controlar que retículo e imagen estén superpuestos. En caso de que esto no ocurra, ajustar, tal como se hizo antes, la mitad de la distancia con el tornillo de ajuste de altura del telescopio (**a6**) y la otra mitad con el tornillo de nivelación de la mesa de prisma (**c1**).

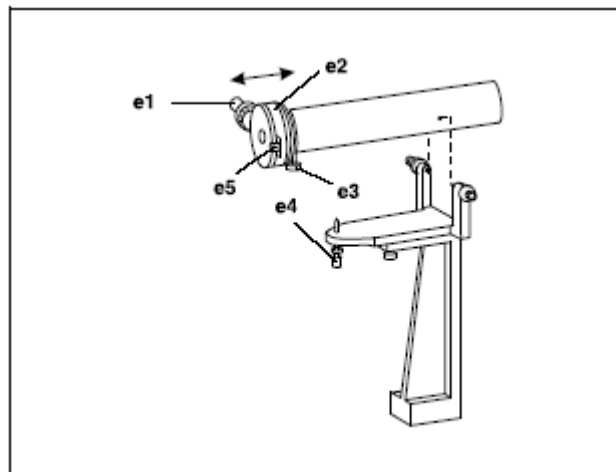
- Asegurar con una contratuerca el tornillo de ajuste de altura del telescopio (**a6**).
- Extraer de la mesa de prisma la rejilla con el soporte. Prestar atención a la disposición de la rejilla respecto de los tornillos de nivelación de la mesa de prisma, ya que sólo en esa posición corre paralela al eje de rotación del telescopio y deberá ser colocada nuevamente sobre dicha mesa para realizar el experimento.
- Apagar el iluminador.

Ajuste del colimador:

- Iluminar la rendija desde afuera, por ejemplo con luz de lámpara incandescente o de una lámpara espectral.
- Dirigir el telescopio al colimador y abrir un tanto la rendija con el tornillo micrométrico (**e1**).
- Con el pasador (**e5**) llevar la rendija a una altura adecuada, donde pueda ser observada.
- Con el tornillo de ajuste de altura del colimador (**e4**) alinear la rendija con el centro de la parte horizontal del retículo y luego fijar.
- Liberar el tornillo de seguridad para extracción de la rendija (**e3**) y deslizar el tubo de la rendija (**e2**) en dirección de la flecha (ver figura 5) de forma que pueda verse nítida su figura.
- Girar el tubo y dejar así la rendija en posición vertical a fin de que quede paralela a la parte vertical del retículo, y volver a ajustar el tornillo de seguridad para extracción de la rendija (**e3**).

Fig. 5 Colimador

- e1 tornillo micrométrico
- e2 tubo de rendija
- e3 tornillo de seguridad para el tubo de rendija
- e4 tornillo de ajuste de altura del colimador
- e5 control deslizable de la rendija



Montaje

- Fijar la lámpara espectral de He dentro de su caja, según muestra la figura 7, a la base de soporte, conectar a la bobina de reactancia universal y encender.
- Iluminar la rendija con la lámpara espectral de He. Procurar aquí que la lámpara se encuentre en el eje óptico del colimador.
- Posicionar la rejilla sobre la mesa de prisma y disponer el telescopio de tal forma que la luz que atraviesa la rendija pueda iluminar por completo la rejilla (observado desde arriba, ver figura 1) y el observador pueda mirar el espectro con el telescopio.
- Para poder realizar más tarde mediciones precisas, ubicar la rejilla sobre el eje de rotación del telescopio y vertical al eje óptico del colimador (mitad de la mesa de prisma).

La resolución crece a medida que decrece el ancho de la rendija, al mismo tiempo que la intensidad luminica del espectro se hace menor.

- Con el tornillo micrométrico (**e1**) llevar el ancho de la rendija a un valor adecuado.

Realización

Indicación: El espectrómetro trae dos nonios enfrentados entre sí. Para disminuir los errores de lectura y, eventualmente, compensar la excentricidad de la división del círculo contra el eje de rotación, hallar un valor medio de ambas lecturas.

a) Medición del espectro de líneas del He:

- Accionar el tornillo de seguridad del telescopio (**f4**) y enfocar la parte vertical del retículo mediante el ajuste fino de la rotación del telescopio (**f3**), sucesivamente, hacia cada línea espectral del mismo orden de difracción a ambos lados del máximo principal. Con ayuda de las lupas de lectura (**f6**) y de ambos nonios (**f5**), leer las correspondientes posiciones del telescopio sobre el disco graduado, y anotarlas.

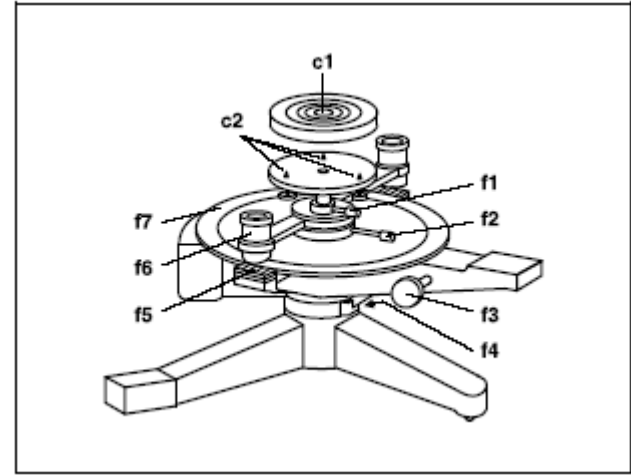


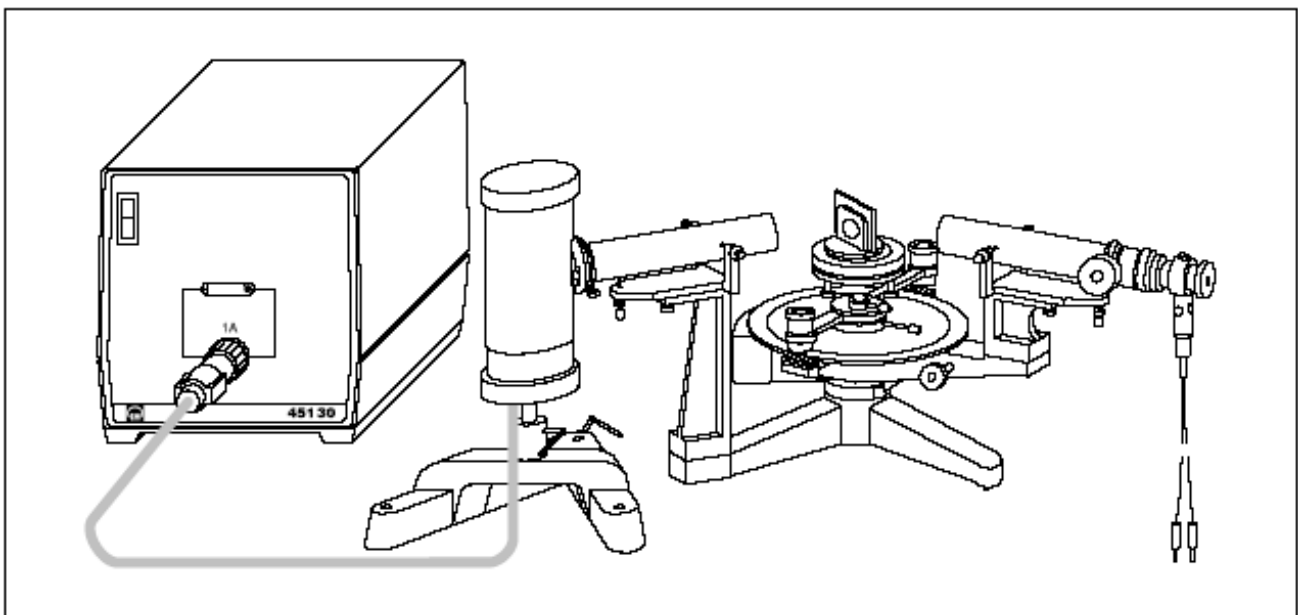
Fig. 6 Base de montaje del espectrómetro y mesa de prisma

- c1** mesa de prisma
- c2** tornillo de nivelación para la mesa de prisma
- f1** tornillo de seguridad para la mesa de prisma
- f2** tornillo de seguridad para el disco graduado
- f3** ajuste fino de la rotación del telescopio
- f4** tornillo de seguridad del telescopio (tapado)
- f5** nonios
- f6** lupas de lectura
- f7** disco graduado

b) Determinación de la distancia de sendas líneas D del sodio:

- Cambiar la lámpara espectral de He por la de Na; al iluminar la rendija prestar nuevamente atención a que la lámpara se encuentre en el eje óptico del colimador.
- Buscar el primer orden de difracción de ambas líneas D amarillas de Na a ambos lados del máximo principal.
- Enfocar la parte vertical del retículo hacia las líneas espectrales; leer y anotar las posiciones.
- Repetir las mediciones para el segundo orden de difracción.

Fig. 7 Montaje completo del experimento luego del ajuste



Ejemplo de medición y análisis

a) Medición del espectro de líneas del He:

Indicación: Con el espectrómetro de rejilla pueden observarse también líneas de menor intensidad que no pertenecen al espectro del vapor metálico o al del gas noble. Durante la fabricación pueden haber sido introducidos otros gases en la ampolla de la lámpara. En las lámparas de gas de metal se introduce, además, argón (Ar) a modo de gas base.

En este caso vale:

$$\lambda = \frac{\sin \frac{\Delta\alpha}{2}}{n \cdot N} \quad (I)$$

n : orden de difracción

$\Delta\alpha$: diferencia angular entre la línea espectral derecha e izquierda en el orden n -ésimo (ver figura 8),

N : número de rayas, λ : longitud de onda

Con la cantidad de rayas conocida $N = 5700 \text{ cm}^{-1}$ surgen de los ángulos medidos $\Delta\alpha$ las longitudes de onda para las líneas espectrales observadas, dadas en la tabla 1. Si bien coinciden con los valores de tabla para el helio, están, por término medio, un 1,0 % por encima de esos valores. Si se calculan las longitudes de onda con una cantidad de rayas adecuadamente superior ($N = 5706 \text{ cm}^{-1}$), se obtiene una extraordinaria coincidencia con los valores de tabla (ver tabla 1).

Tabla 1: Líneas espectrales de la lámpara ejemplo de He, medidas para un orden de difracción $n = 1$

(Los valores de tabla son para longitudes de onda tanto en el aire en condiciones normales como en el vacío. Para la definición de $\Delta\alpha$, ver figura 8.)

$\Delta\alpha$	$\frac{\lambda_{5700} / \text{cm}}{\text{nm}}$	$\frac{\lambda_{5706} / \text{cm}}{\text{nm}}$	$\frac{\lambda_{\text{aire}}}{\text{nm}}$	$\frac{\lambda_{\text{vacío}}}{\text{nm}}$
29,56°	447,6	447,1	447,0	447,1
31,18°	471,5	471,0	471,2	471,3
32,62°	492,7	492,2	492,1	492,2
33,24°	501,8	501,3	501,5	501,6
39,17°	588,1	587,5	587,4	587,6
44,79°	668,4	667,7	667,6	667,8
47,55°	707,3	706,5	706,3	706,5

b) Determinación de la distancia de sendas líneas D del sodio:

Tabla 2: Líneas D de sodio, medidas para los órdenes de difracción $n = 1$ y $n = 2$

línea	n	$\Delta\alpha$	$\frac{\lambda_{5706} / \text{cm}}{\text{nm}}$
D ₁	1	39,300°	589,33
	2	84,542°	589,41
D ₂	1	39,250°	588,61
	2	84,425°	588,74

De la tabla 2 se obtienen, para la distancia de ambas líneas D amarillas de sodio, $\Delta\lambda = 0,72 \text{ nm}$ (medida para $n = 1$) y $\Delta\lambda = 0,67 \text{ nm}$ (medida para $n = 2$).

El valor medio es $\lambda(D_1) - \lambda(D_2) = 0,70 \text{ nm}$.

Valor de tabla para longitudes de onda en aire y condiciones normales:

$$\lambda(D_1) - \lambda(D_2) = 589,418 \text{ nm} - 588,821 \text{ nm} = 0,597 \text{ nm}$$

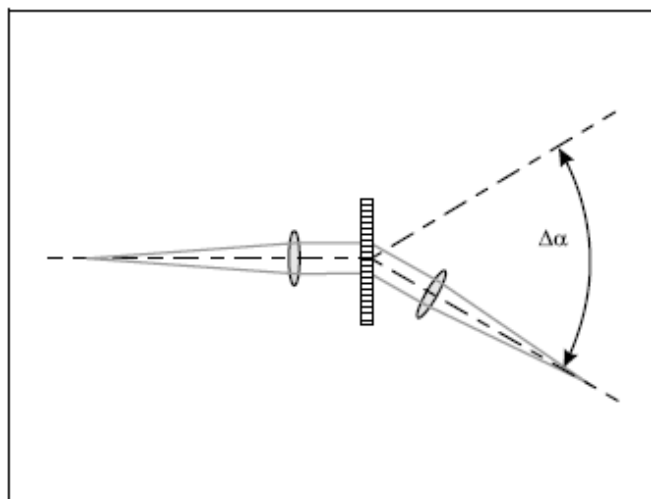


Fig. 8 Esquema para la definición del ángulo $\Delta\alpha$

Información adicional

El espectrómetro y el goniómetro pueden emplearse también como espectrómetro de prisma (ver descripción del experimento P5.7.1.2). Dado que la desviación no es función lineal de la longitud de onda, para determinar las longitudes de onda de las líneas espectrales se hace necesaria una curva de contraste que se construye con una lámpara espectral de espectro conocido. Además, la resolución no es tan alta como la de un buen espectrómetro de rejilla.

No obstante, los espectrómetros de prisma tienen más intensidad, ya que en el espectrómetro de rejilla se pierde una parte considerable de la radiación en el orden cero no difractado, y el resto se distribuye en varios órdenes de difracción a ambos lados del orden cero. Como consecuencia, en el espectrómetro de rejilla pueden verse con mucha dificultad las líneas espectrales menos intensas, si se las ve.