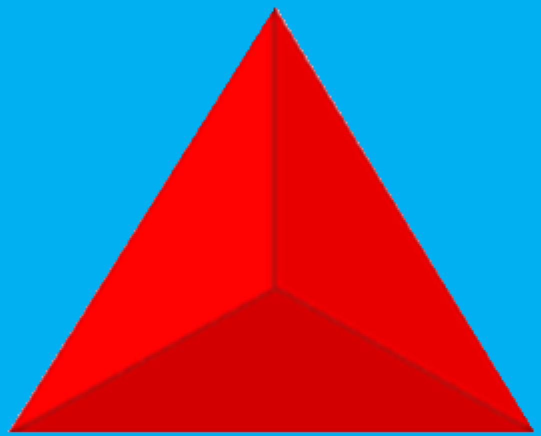
Cuadernos de Clase

Difracción Nº 3



Las Redes de Difracción

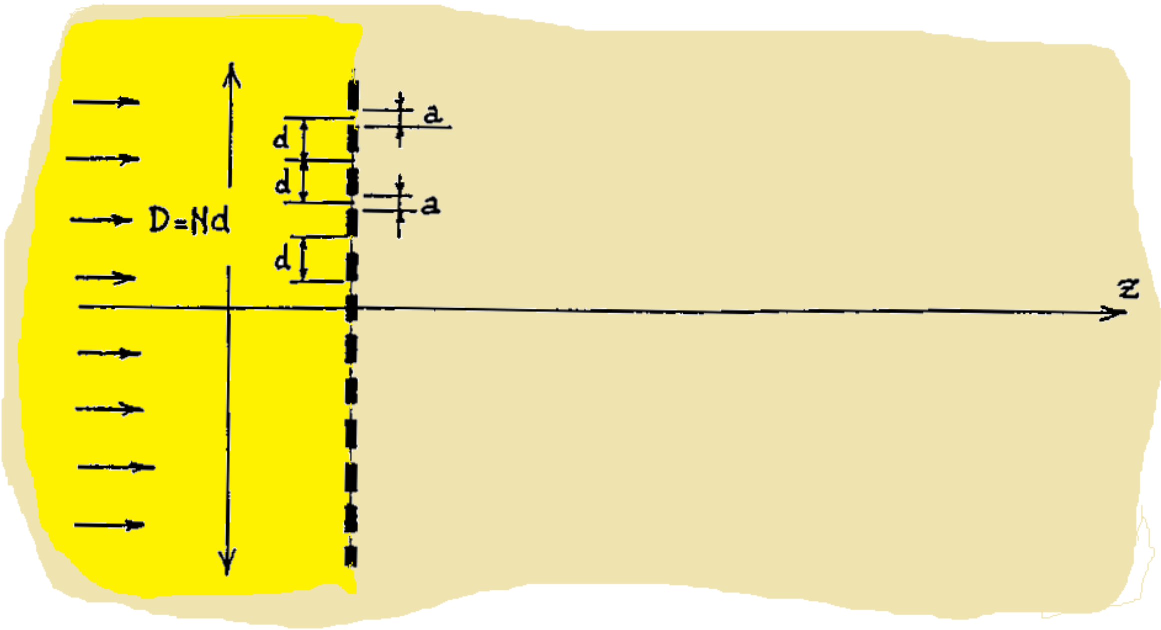
Física 2016 -FCN

Dr. Horacio Rodríguez

RED DE DIFRACCIÓN

Limitándonos a un esquema, podemos presentarla como una pantalla con un conjunto de infinidad de ranuras muy finas, muy próximasly cuidadosamen te tramadas todas iguales entre sí.

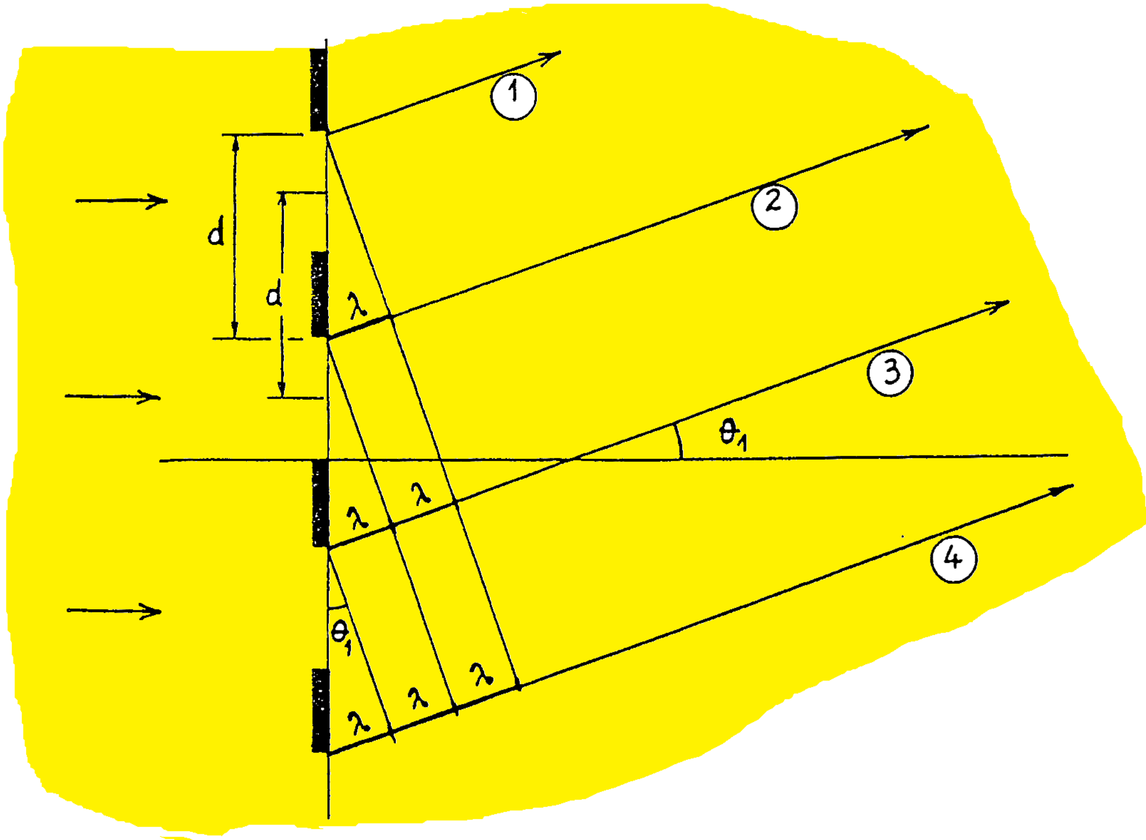
Supongamos que "a" es el ancho de cada una, y que d es la separación entre los centros de doa consecutivas. Supongamos que hay un número muy grande de, N, de manera que toda la red tiene anchos D = Nd



Imaginemos que un haz monocromático, de longitud de onda λ incide paralelamente a "z" desde la izquierda, (valen las mismas consideraciones que hemos hecho en todos los casos anteriores: fuente puntual, lejana, proyección sobre una pantalla lejana, etc.)

Nos preguntamos, ¿en qué direcciones saldrá esta radiación?, es decir, en qué direcciones, con respecto al eje "z", habrá interferencia constructiva.

Aplicando el mismo razonamiento que antes utilizamos para dos ranuras, podemos enunciar una primer conclusión: si la diferencia de camino δ entre un trocito de una ranura, y el trocito correspondiente de la consecutiva es exactamente:(número entero) $n\lambda$ (es decir: 0; λ; 2λ; 3λ; etc.), entonces, en esas direcciones en las que dos ranuras consdecutivas dan interferencia constructiva, TODAS, las N ranuras, TAMBIÉN DAN INTERFERENCIA CONSTRUCTIVA:



La figura ilustra para $\delta = \lambda$.

La diferencia de camino (hasta un P muy lejano), entre (1) y (2) es λ exactamente. Por lo tanto también vale λ la diferencia de camino entre (2) y (3), entre (3) y (4), etc., y por ello, la diferencia de camino entre (1) y (3) es 2Å , entre (1) y (4) es 3λ ,etc.

Finalmente, entre la luz transmitida por la primer ranura, y la transmitida por la última, la diferencia de camino vale exactamente (N - 1) . Es decir, cualquier rayo tiene una diferencia de camino: N° entero con el rayo que sale de la misma partecita de cualquiera de las N ranuras, en esta dirección θ_1 dada por: sen$\theta_1 = \lambda/d$.

Es decir: en cualquiera de las direcciones θ_n dadas por la fórmula de las dos ranuras: sen $\theta_n = n\,\lambda/d$

HAY CON SEGURIDAD, RADIACIÓN NETA EMERGENTE, (es decir, interferencia totalmente constructiva de N ondas como la irradiada por una sola ranura,en esa dirección).

La intensidad de los campos en una de estas direcciones θ_n en N veces la intensidad que una ranura irradiaría en esa dirección. (La intensidad de la luz, por lo tanto, es N^2 veces lo que una ranura sola emitiría en esa dirección)

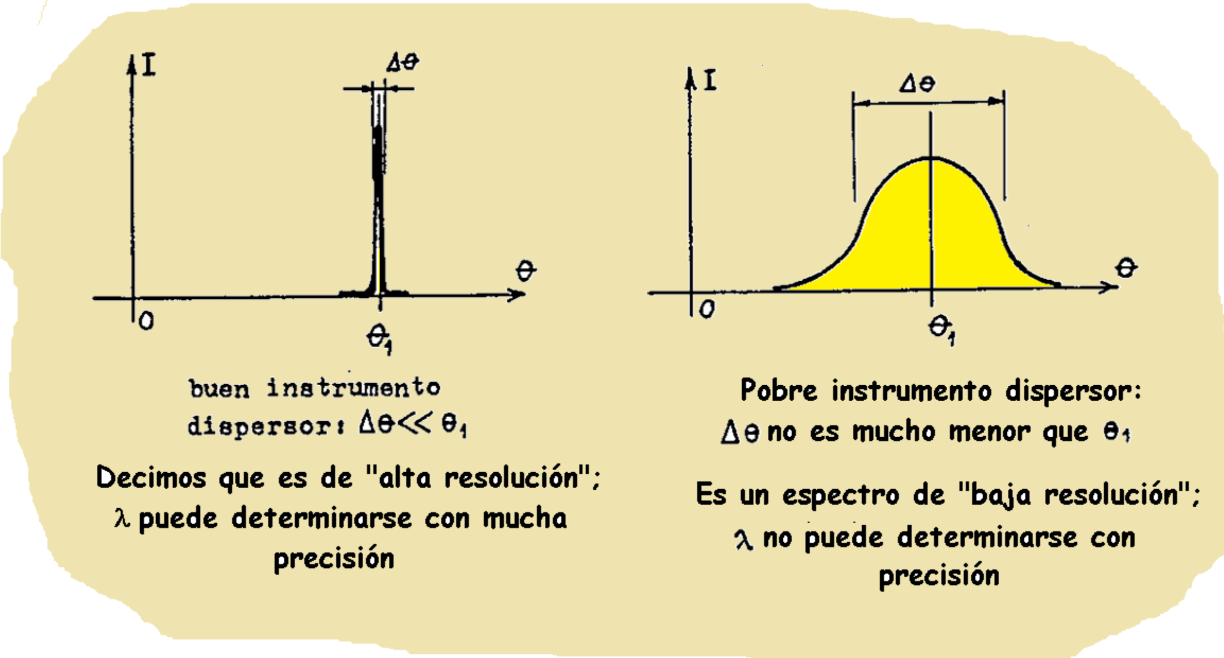
(En particular, para n= 0 , tenemos θ_n= 0 , que es la dirección de incidencias es decir que parte de la energía continúa sin desviarse).

NOTA: En estos casos puede no será válido aproximar: sen $\theta \cong \theta$, ya que las redes muy poderosas tienen una gran densidad de líneas por cm lo que significa pequeño d , de manera de dispersar en grades ángulos: θ_1 puede valer 30° , con lo cual se consigue si d $\cong 2\lambda \cong 10^{-3}$ mm (es decir con 10000 líneas por centímetro)

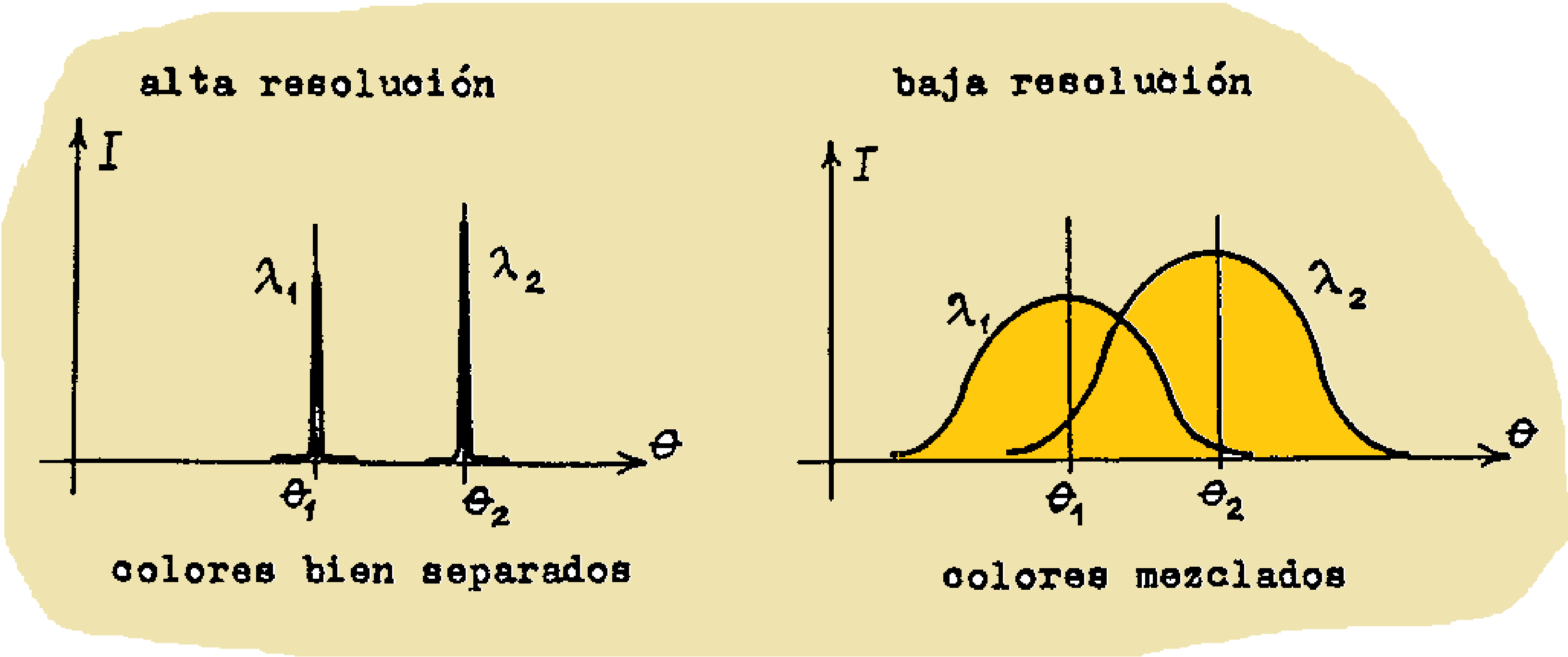
Ahora bien, antes de continuar, haremos una reflexión:

Nuestra red cumplirá con nuestros deseos si separa muy limpiamente unos colores de otros, es decir, si cada λ sale muy exactamente en un ángulo dado, y no se "desparrama" mucho alrededor de la zona.

Es decir, una de las diferencias entre un buen espectro y un mal espectro, es la que muestran las figuras (suponiendo que sólo hay una única frecuencia en el haz incidente):

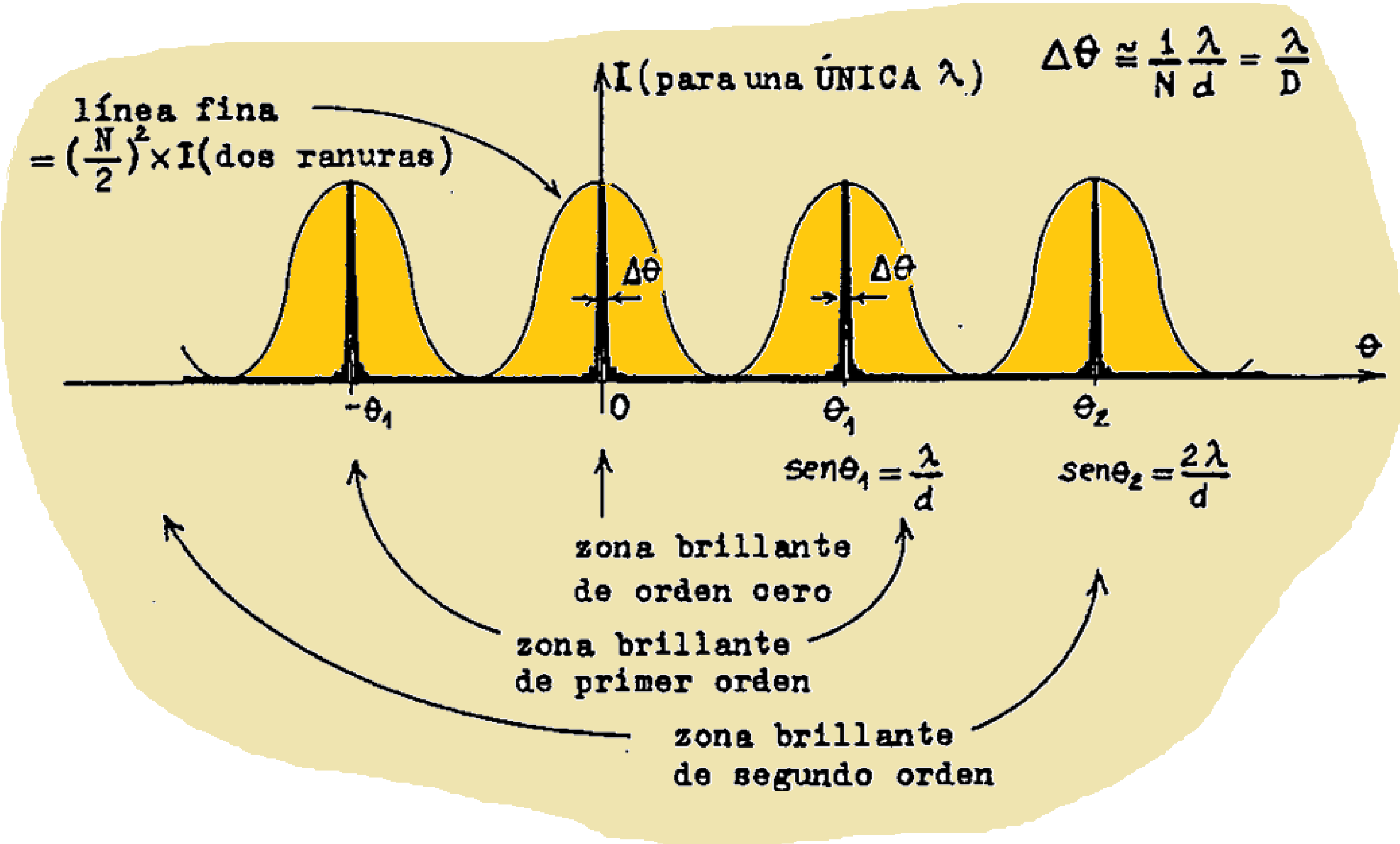


De manera que sí la radiaoión incidente contuviese, por ejemplo, dos colores, $\lambda 1$ y $\lambda 2$, los espectros mostrados hubieran sido:



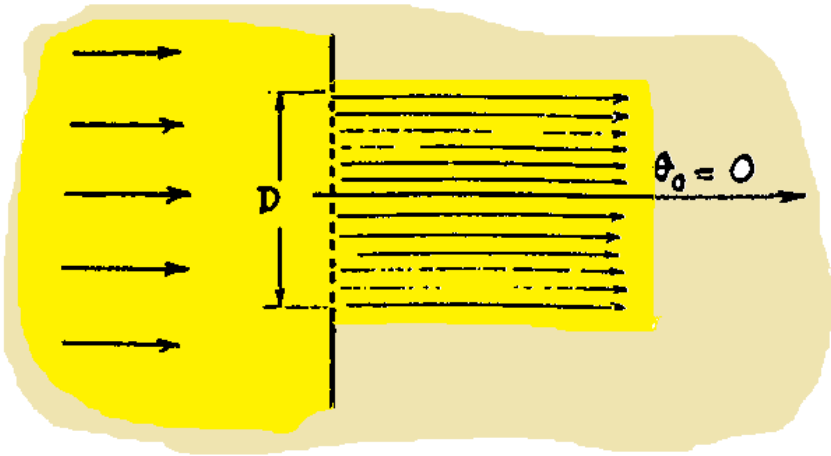
Vale ahora la preguntas la red que estamos proponiendo, ¿separa mucho o poco los colores? Es decir: ¿da colores nítidamente separados o bandas gruesas de colores mezclados? ¿Es de alta, o de baja resolución?

La respuesta es que es de alta resolución si N es grande; porque si bien los ángulos en los cuales emerge la energía en cada color son los mismos que para sólo dos ranuras de la misma separación d , la "zona" de interferencia no destructiva es mucho más angostas N veces más angosta:



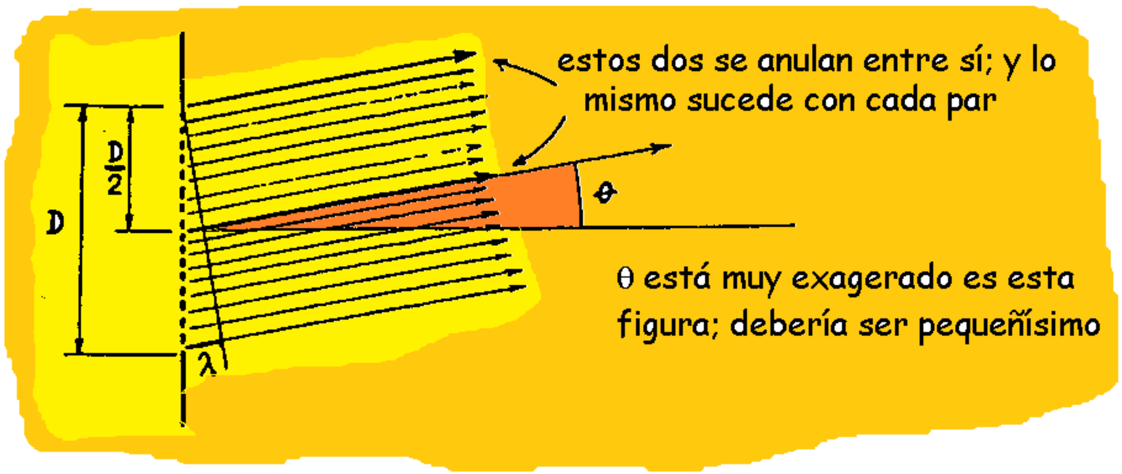
Veamos cómo se justifican esta afirmaciones: comencemos considerando la dirección $\theta = 0$.

Todo el haz no obstruido pasa directamente:



Ahora consideremos una dirección levemente apartada, tan levemente apartada que el camino extra del último rayo sea λ;

$$\operatorname{sen}\theta = \frac{\lambda}{D} \cong \theta$$

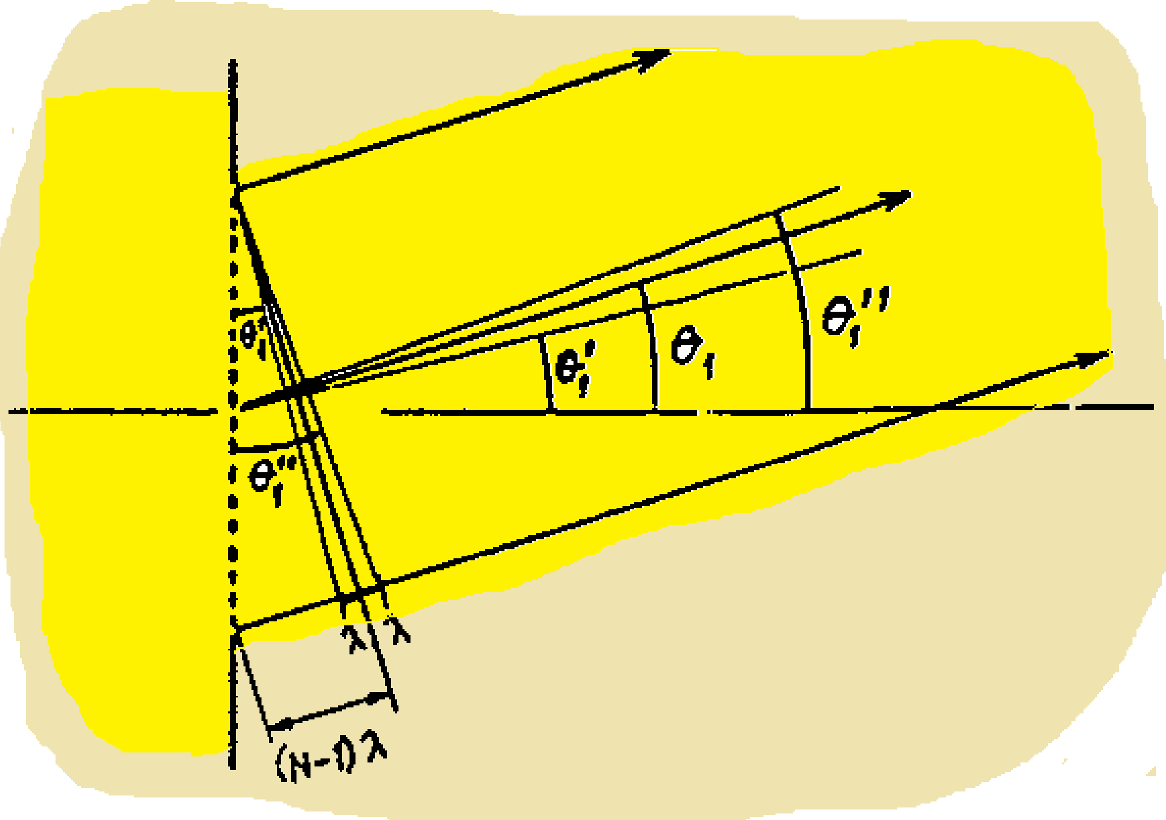


El mismo razonamiento que hicimos con una ranura de ancho "a", aplicado a esta gran ranura de ancho D, nos muestra que la intensidad será nula en esta dirección, pues lo que pasa por cada ranurita de la mitad de abajo, atrasará $\lambda/2$ con respecto a lo que pasa por la ranurita correspondiente de la mitad de arriba. La única variante que hay en el razonamiento es:

* anteriormente razonamos para una ranura de ancho "a" , a la cual imaginamos subdividida en N partes iguales.

* ahora razonamos para una ranura imaginaria de ancho D (que es toda la red), la cual está realmente subdividida en N partes iguales.

El tremendo ancho de esta ranura ficticias D = Nd, hace que sea tremendamente angosta la zona en la cual se distribuye la energía, cuyo ancho medio puede ser estimado $\cong \lambda/D = \lambda/Nd$



Si seguimos aumentando θ ,la interferencia resultará prácticamente destructiva, excepto pequeñísimas contribuciones fluctuantes de unas pocas ranuritas que no se cancelarán de todo (tal como si fuese, valga la repeti ción, una gran ranura de ancho D)

La diferencia entre la red y una ranura de ancho D, es que a medida que nos acerquemos a θ_1, dado por sen $\theta_1 = \lambda/d$ llegaremos a una nueva interferencia constructiva que nunca aparecería en una ranura simple de ancho D.

Eh la proximidad de la dirección θ_1, vuelve a ocurrir lo que ya hemos descripto para la vecindad de θ_0 referido a la posibilidad de considerar leves apartamientos de la dirección exacta:

Exactamente según θ_1, sale el haz en interferencia totalmente constructiva, con intensidad I= [N^2 x (Intensidad de una ranurita de ancho "a")]; y en esta dirección, la contribución de la última ranurita llega al lejano punto P atrasada exactamente (N-1) λ con respecto a la de la primer ranurita.

En una dirección dada por θ_1' , levemente inferior a θ_1 , tan próxima que el último rayo sólo se atrasa una λ menos, (N-2) λ respecto del primero, ya se destruye totalmente la onda; y lo mismo en la dirección dada por θ_1'' tal que el atraso es $N\lambda$ (es decir, un λ más que en θ_1).

Y lo mismo sucede en la vecindad de cualquier dirección θ_n de interferencia constructiva (sen $\theta_n = n\lambda/d$)

La conclusión es que podemos hacer cada franja luminosa tan delgada e intensa como querremos, a condición de aumentar suficientemente el número N de ranuras de la red.

Como todo esto ocurre para cada λ , entonces, podemos enunciar, a modo de conclusión:

A partir de un haz incidente polioromático, paralelo, alineado con el eje Z, la red transmitirá:

a) toda la energía, sin separación de colores, exactamente en la dirección del eje Z.

b) un conjunto de espectros, (de primer orden (n= 1), de segundo orden (n= 2), de tercer orden (n = 3), etc,), dispuestos simétricamente hacia los lados del eje Z.

La distancia angular a la que se situará, desde Z, la radiación de longitud de onda λ, en el espectro de orden n, estará dada por:

Sen $\theta_n = n\,\lambda/d$ (relación que a veces se podrá aproximar con: $\theta_n \cong \text{sen}\theta_n$, y a veces no)

El ángulo en el que se obtiene cada λ estará dado con una incerteza **Δθ** = λ/Nd , de manera que dos radiaciones de λ muy parecidas,se podrán detectar separadas si:

$$\underbrace{\frac{d\theta_n}{d\lambda}\,\Delta\lambda}_{\substack{\Delta\theta \text{ debido} \\ \text{a } \Delta\lambda}} \gtrsim \underbrace{\frac{1}{N}\,\frac{\lambda}{d}}_{\substack{\Delta\theta \text{ asociado con cada } \lambda \\ \text{debido a las limitaciones} \\ \text{propias de la red}}}$$

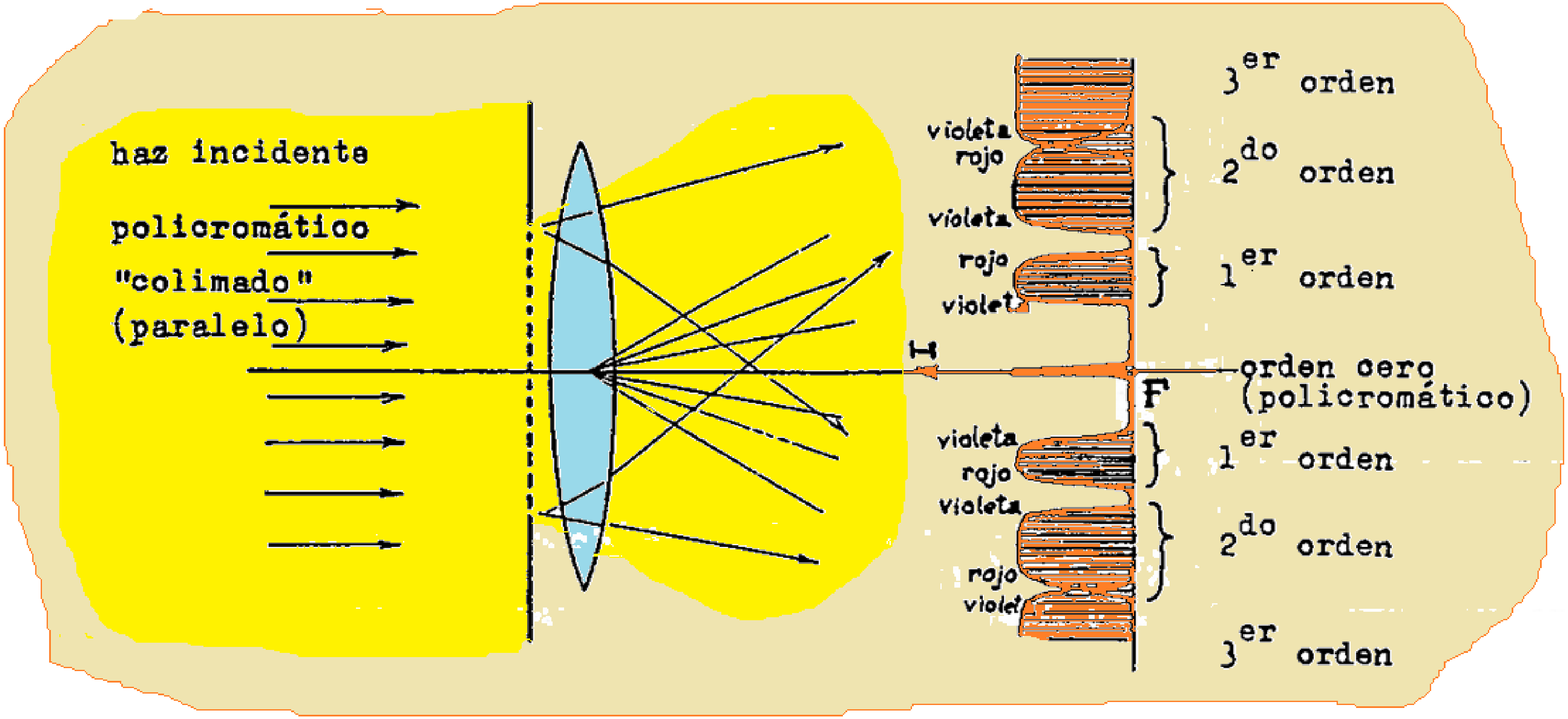
Pero: $\dfrac{d\theta_n}{d\lambda} = \dfrac{n}{d}\,\dfrac{1}{\cos\theta_n} \gtrsim \dfrac{n}{d}$

Entonces, los colores se verán separados si: $\dfrac{n}{\cancel{d}}\,\Delta\lambda \gtrsim \dfrac{1}{N}\,\dfrac{\lambda}{\cancel{d}}$

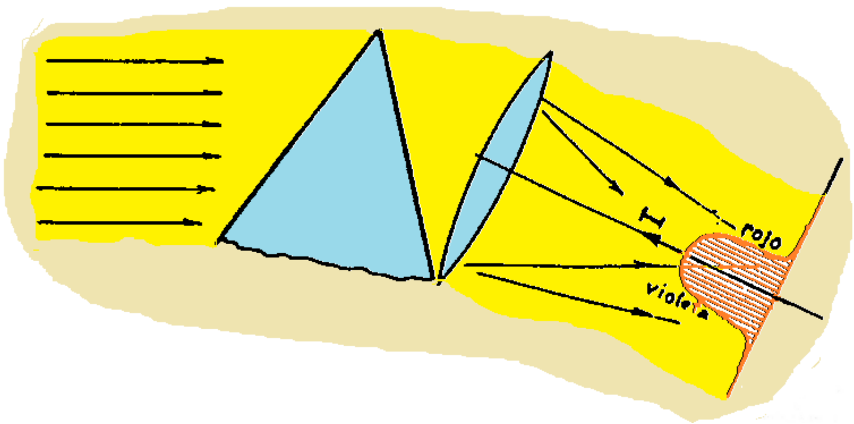
es decir, si : $\dfrac{\Delta\lambda}{\lambda} \gtrsim \dfrac{1}{n\,N}$

En los espectros de mayor orden (es decir: mayor n) es mayor el poder de una misma red para mostrar separadas radiaciones de λ muy parecidas.

Como en caso anteriores, el agregado de una lente, trae el espectro desde el infinitamente lejano punto P, al plano focal:



Después del segundo orden se mezclan las λ pequeñas de un orden, con las λ grandes de otro. En las situaciones prácticas se decide qué orden utilizar, y se emplean ciertos refinamientos para eliminar las superposiciones.



Nótese la diferencia con un "espectro de prisma": hay un único espectro; las frecuencias mayores son más desviadas (debido a la forma en que el índice de refracción depende de f.

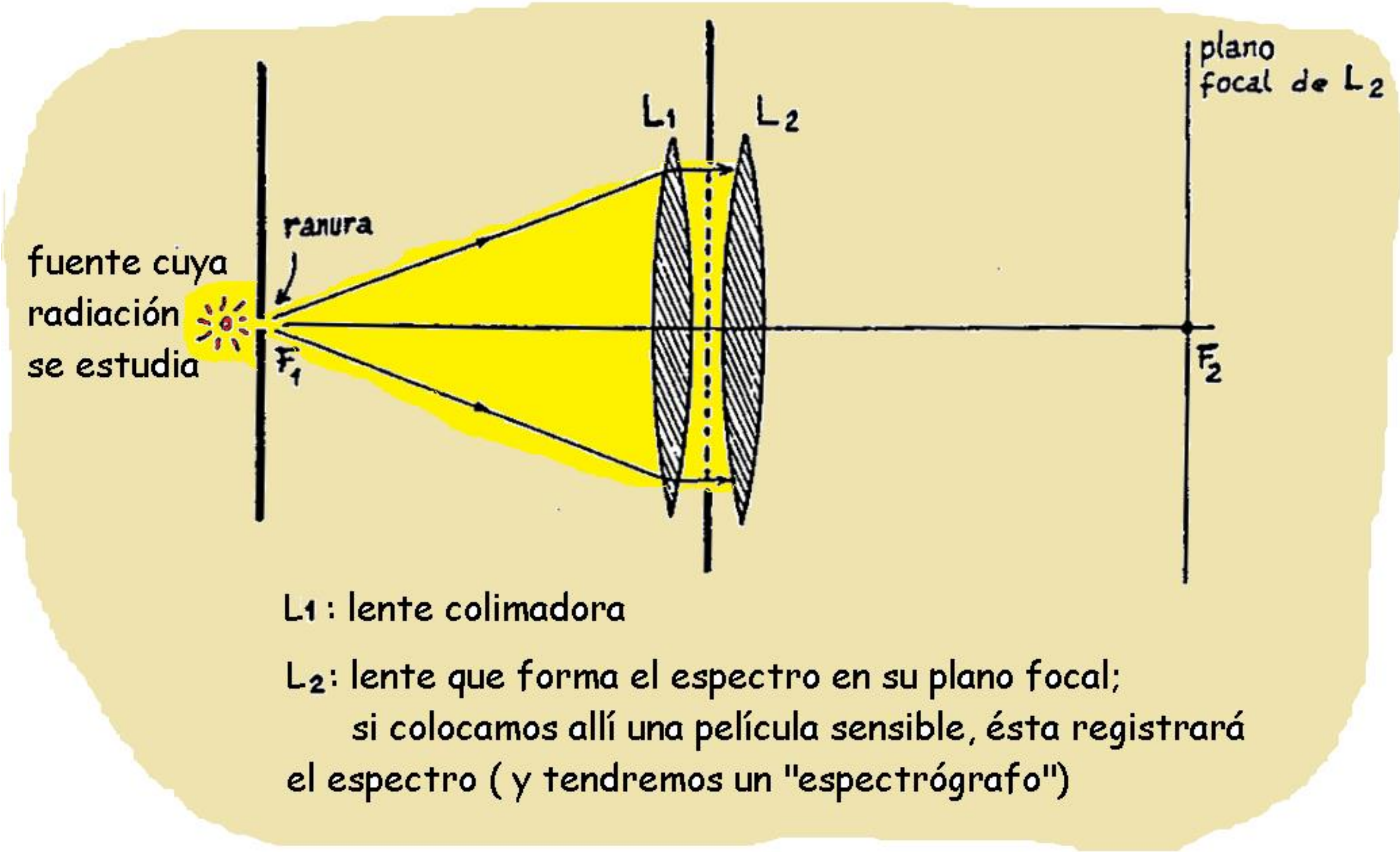
NOTA 1 : cualquier superficie muy finamente rayada puede dar lugar a efectos parecidos a los de la red de difracción, tanto en la luz trans-mitida, si la hay, como en la reflejada.

Por ejemplo, este efecto es precario pero muy visible, en la luz reflejada en los discos musicales, mucho más espectacular en los "discos laser", y en esas calcomanías de apariencia "pla teada" que "descomponen la luz".

NOTA 2 : para explotar totalmente las posibilidades de la red, hay que utilizar todo su ancho D, es decir todas las ranuras (esto también se aplica al ancho del prisma).

Si se utiliza la red, por ejemplo, para mostrar cómo se desvía un haz de luz laser, de 1 mmde ancho, entonces, aunque la red tenga 3 cm de an cho, sólo "trabajarán" las ranuras que hay en 1 mm, lo cual desperdicia más del 95 % de las po sibilidades teóricas de la red.

Por esto es que los aparatos que estudian espectros (espectroscopios y eepectrógrafos) tienen una delgada ranura (paralela a las líneas de la red) que hace de fuente luminosa, situada en el foco de una lente de suficiente diámetro como para lograr que toda la superficie de la red sea alcanzada por radiación perfectamente paralela (que parece provenir de la imagen virtual, en el infinito, de la ranura) :

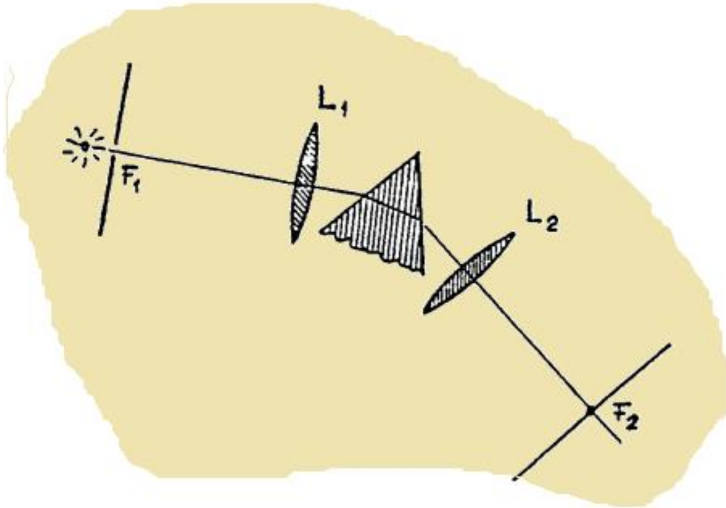


Para el espectroscopio de prisma se utiliza el mismo montaje básico: esto es un espectrógrafo, en realidad.

Reemplazando L2 por el ojo humano (o elíminando la pantalla en F_2 y observando adecuadamente desde más atrás), tendríamos un espectroscopio

En el plano focal de L_2 aparece el espectro, que es toda una sucesión de imágenes de la ranura, en cada uno de los colores contenidos en la radiación emitida por la fuente en estudio.

Como la ranura se ajusta hasta ser una línea lo más delgada posible, el espectro tiende a mostrar líneas de cada color (que en realidad, son ranuras de cada color).



NOTA 3: La mejor variable para caracterizar cada radiación (o cada color) es su frecuencia, ya que ea la única que no se altera al pasar la radiación por distintos medios..

No obstante, es costumbre también, utilizar λ y pero siempre se sobreentiende que es λ en el vacío (o en al aire), de manera que en estas condiciones hay una relación única entre ambas:

$$\boxed{c = \lambda f \qquad \lambda = \frac{c}{f} \qquad f = \frac{c}{\lambda}}$$

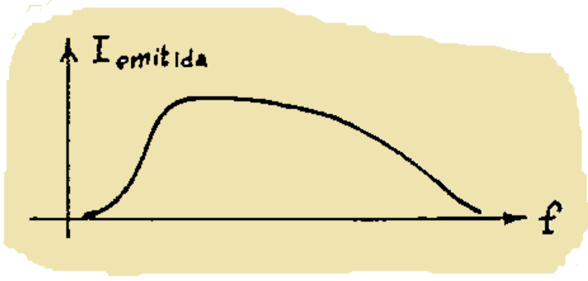
Sobreentendiendo esta relación, cada autor utiliza, en cada momento, lo que más cómodo le resulte, λ o **f** .

ESPECTRO DISCRETO ("DE LINEAS") y ESPECTRO CONTINUO

Según cuál sea la NATURALEZA de la FUENTE EMISORA cuya radiación se estudia, puede suceder que emita con ESPECTRO CONTINUO, o que lo haga con ESPECTRO DISCRETO.

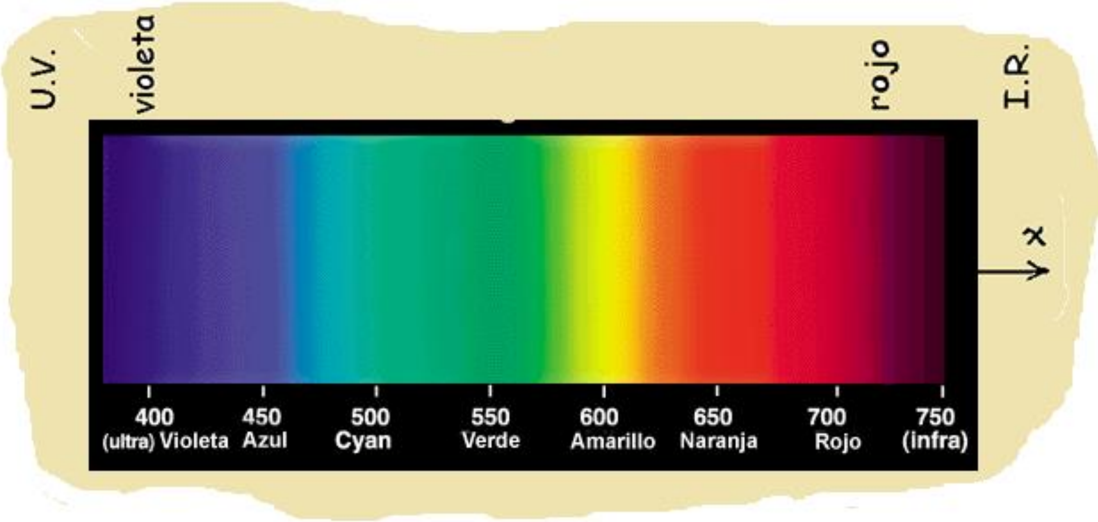
a) <u>CONTINUO</u>

Si la emisión es una mezcla de radiaciones cuya frecuencia varía con continuidad, (es decir, entre doe radiaciones de frecuencia f_1 y f_2 que emite la fuente, también emite las de todas las frecuencias intermedias imaginables), decimos que emite con espectro continuos:



En el espectro (de cada orden) aparece un borrón continuo de colores, sin separaciones brusg cas, ni líneas que resalten: cada color aparece en un valor de X sobre una película; de allí podemos averiguar θ, λ, y f (lo que necesitamos).

Estos espectros son típicos de los sólidos incandescentes (o la materia compacta incandescente), pues la emisión es caótica y están presentes todas las frecuencias imaginables. (Más adelante daremos algunos deta lles más).



h) DISCRETO

Éste es el caso en que la radiación emitida es mezcla de un conjunto discreto de frecuencias (que puede ser finito o infinito, pero discreto).

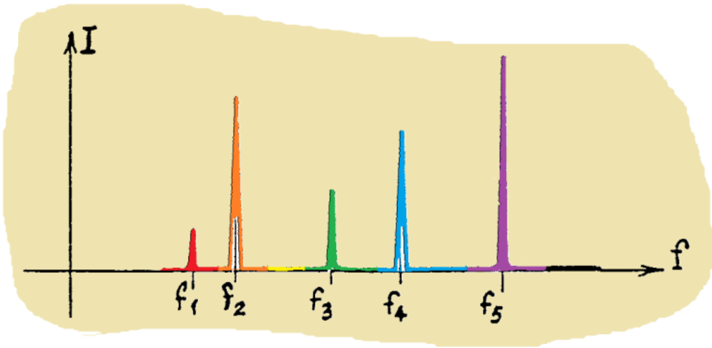
Es decir, en la radiación emitida están presentes las frecuencias f_1, f_2, f_3, ..., etc, y no las intermedias:

En el espectro (en cada orden) aparecerá una ranura (es decir; una línea) de cada color:

De allí el nombres espectro de líneas

El espectro de líneas es típico de los gases excitados, es decir, de los átomos aislados. Y a través del espectro, claramente, se obtiene información del átomo que irradia en esos exactos, únicos y determinados valores de frecuencia. (Tanto así que la Mecánica Cuántica debió su origen al espectro del hidrógeno).

NOTA, cada línea es de un color único y propio, y se ubica en una exacta posición el en espectro.

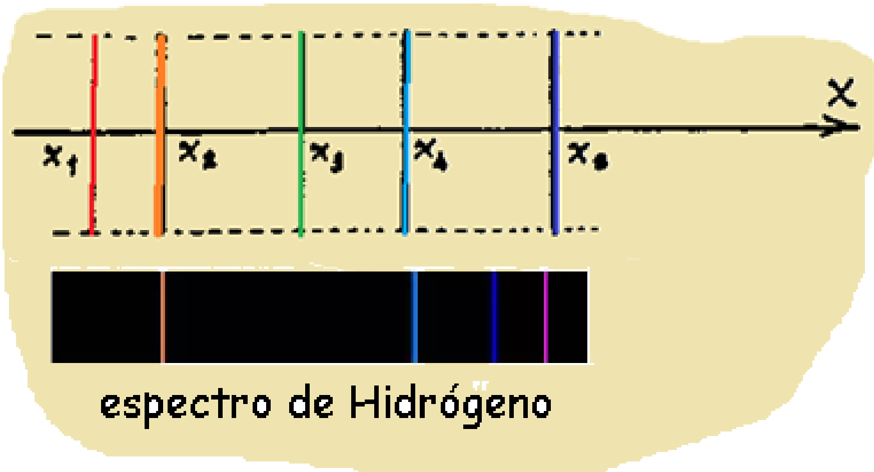


El color es una sensación subjetiva del ser humano, en general poco precisa.

La posición de la línea en el espectro se mide con mucha precisión y a partir de allí se infieren su λ y su frecuencia.

En general se trabaja con película en blanco y negro, pues allí está toda la informaoión necesaria.

No obstante, los espectros de líneas son bellísimos.



espectro de Hidrógeno

Puede visualizar los espectros de todos los elementos en:

http://herramientas.educa.madrid.org/tabla/espectros/espectros6.swf