

168



Espectros luminosos en la oscuridad

(25.julio.2016)

Hace poco tiempo he conseguido unas gafas que en lugar de lentes llevan una red de difracción. Con ellas me dedico a observar cualquier objeto luminoso que se presenta en mi campo de visión.

Una noche estuve mirando con estas gafas la luz de las farolas que había en una calle y pude comprobar que su espectro luminoso contenía una zona estrecha oscura (siempre en la misma posición respecto al conjunto de colores), como se puede ver claramente en las fotografías adjuntas.



Si la farola emite luz con un espectro aparentemente continuo, ¿por qué motivo aparece esa estrecha zona oscura en su espectro luminoso?

AVISO: El objeto de **Simple+mente física** no va más allá del placer que proporciona plantearse y resolver sencillas cuestiones razonando (y experimentando) de acuerdo con principios básicos de la física. No hay ningún tipo de compensación, excepto la satisfacción personal y no van dirigidas a ningún grupo de personas en particular (es decir, están abiertas a todo el mundo).

Se intentará presentar cada mes una nueva cuestión y la respuesta a la cuestión anterior.

Rafael Garcia Molina, Departamento de Física - CIOyN, Universidad de Murcia (rgm@um.es)

<http://bohr.inf.um.es/miembros/rgm/s+mf/>

Resp.: Por su mayor eficiencia respecto de las lámparas incandescentes, en la iluminación de calles y carreteras se emplean lámparas de descarga que contienen gases de determinados elementos en su interior.¹ Entre las más usadas se encuentran las de vapor de sodio (a alta presión), que emiten una luz anaranjada-amarillenta,² como la que se observa en los círculos luminosos que aparecen a la izquierda de la fotografía donde se plantea la cuestión.

Estas lámparas contienen en su interior sodio en estado sólido, además de pequeñas cantidades de algún gas (neón, argón...), los cuales ayudan a iniciar la descarga luminosa, con el consiguiente aumento de temperatura para provocar la evaporación del sodio.

La diferencia de potencial entre los electrodos de la lámpara acelera los electrones y los iones que, de forma natural, se encuentran en su interior. Las sucesivas colisiones de estas cargas con el resto de átomos neutros produce una avalancha de ionizaciones, lo cual resulta en el paso de corriente eléctrica a través de la lámpara.

La mayoría de la corriente se debe a los electrones (debido a que su masa es mucho menor que la de los iones). Cuando estos electrones energéticos chocan con los átomos de sodio que llenan la lámpara, provocan transiciones electrónicas desde los estados ocupados de menor energía a los estados desocupados de mayor energía; en el caso del sodio, dominan las transiciones del estado $3s$ al $3p$ (que son, respectivamente, el último ocupado y el primero desocupado). Cada electrón excitado regresa a su estado fundamental emitiendo un fotón cuya energía E es la diferencia de energías de los estados electrónicos entre los que se producen los saltos. La frecuencia f (o la longitud de onda λ) de la radiación electromagnética correspondiente a estos fotones es $f=E/h$ (o $\lambda =hc/E$), donde h representa la constante de Planck y c la velocidad de la luz en el vacío. La desexcitación desde el estado $3p$ al $3s$ produce luz cuya longitud de onda es aproximadamente 590 nm, que se manifiesta como una línea muy luminosa (línea D)³ en el espectro de emisión del sodio, tal como se observaría con una red de difracción o un prisma. En el espectro también aparecen otras líneas (menos intensas) debidas a otras transiciones electrónicas, como se observa en el espectro adjunto.



Así pues, las lámparas de vapor de sodio a alta presión emiten una luz amarillo-anaranjada alrededor de los 590 nm. Por tanto, los fotones emitidos tienen energías –y longitudes de onda– alrededor de la correspondiente a la línea D.

Pero lo más interesante, y con ello retomamos la cuestión planteada originalmente, es que en el espectro hay una región oscura donde debería aparecer la línea D (590 nm), precisamente la que debería ser más intensa según la explicación dada en los párrafos previos. Esta ausencia se debe a que la misma transición electrónica ($3p \rightarrow 3s$) que es capaz de emitir un fotón de longitud de onda determinada, también es capaz de absorber dicho fotón ($3s \rightarrow 3p$).

Hasta aquí todo parece correcto, pues esos fotones de 590 nm emitidos por los átomos de sodio son también absorbidos por otros átomos de sodio cuando se propagan por el interior del gas de la lámpara. Pero la transición electrónica $3s \rightarrow 3p$ que produce cada fotón absorbido debe desexcitarse emitiendo nuevamente un fotón. Estos fotones reemitidos ya no llegan a nuestros ojos porque la emisión es isotrópica y la dirección del fotón reemitido con 590 nm no es la misma que tenía originalmente. Así es que en la luz que capta nuestro ojo a

¹ Cada día se emplean más los LED en la iluminación, incluso de lugares públicos.

² También se usan las lámparas de vapor de mercurio, pero éstas crean una sensación luminosa menos cálida. Estas lámparas producen residuos muy tóxicos (debido al mercurio que contienen) y son más contaminantes en términos lumínicos (para la observación astronómica, así como para la vida de insectos y otros animales). Además de todo lo anterior, las lámparas de vapor de sodio son las más eficientes energéticamente.

³ Realmente son dos líneas muy juntas.

través de la red de difracción falta la longitud de onda correspondiente a los fotones de 590 nm reemitidos isotrópamente.

De este modo se explica la región oscura alrededor del color amarillo en el espectro de emisión de las lámparas que iluminan las calles con ese característico color anaranjado-amarillento.

Como acabamos de ver, tanto el espectro de emisión (líneas luminosas discretas sobre fondo oscuro) como el de absorción (líneas oscuras sobre fondo coloreado) de cada elemento están relacionados con su estructura electrónica y constituyen una característica única de cada elemento (como si fuera su huella de identidad), empleada para identificarlos.

Miscelánea (frases, anécdotas, curiosidades...):

Cuando se le preguntó a Freeman Dyson por su exclusión del Premio Nobel concedido a los autores de las tres formulaciones de la Cromodinámica Cuántica (Schwinger, Tomonaga y Feynman), que él demostró que eran equivalentes, Dyson respondió diciendo que «es mejor que pregunten por qué no ganaste el Nobel en lugar de que te pregunten *por qué lo ganaste*».

[Phillip F. Schewe, *Maverick Genius. The Pioneering Odyssey of Freeman Dyson* (2013)]