

64



Simple+ física



Azul celeste

(24 - 28 enero 2005)

Los pintores de todas las épocas han dejado constancia en su obra de magníficos cielos azules. Algunos pintores, como René Magritte, pintan un cielo que comparte protagonismo con (cuando no se lo roba a) los otros motivos presentes en cuadro. Pero, ¿por qué vemos el cielo de color azul?



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).

El primer día hábil de cada semana se presentará una nueva cuestión y la respuesta a la cuestión de la semana anterior.

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

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

<http://www.fisimur.org>

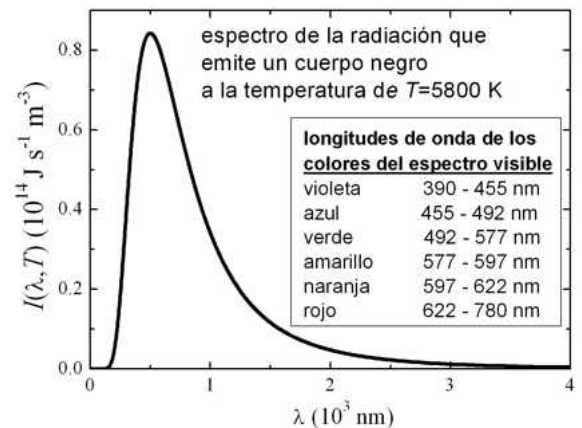
****La ilustración de la cabecera fue realizada por Clàudia Garcia Abril a la edad de 5 años****

RESPUESTA

La luz solar que llega a la Tierra corresponde, aproximadamente, a la que emite un cuerpo negro a la temperatura de 5800 K (que es la estimada para la superficie del Sol); la distribución espectral para las distintas longitudes de onda λ se obtiene a partir de la ley de radiación de Planck

$$I(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1},$$

donde c es la velocidad de la luz en el vacío, h es la constante de Planck y k es la constante de Boltzmann. La figura adjunta muestra esta distribución, aunque en la que llega a la superficie terrestre hay que considerar la absorción de determinadas longitudes de onda por parte de moléculas presentes en la atmósfera terrestre, tales como O_3 , O_2 , H_2O o CO_2 . Conviene notar que la luz solar que llega a la Tierra contiene todos los colores del espectro visible, aunque en distintas proporciones.



La atmósfera terrestre está compuesta principalmente por moléculas de nitrógeno (N_2) y oxígeno (O_2), en una proporción en masa de 75.5% y 23.1%, respectivamente. El tamaño de estas moléculas es del orden de unos pocos nanómetros, es decir, bastante menor que las longitudes de onda del espectro visible. En el caso en que el tamaño de las partículas con las que interacciona la radiación es mucho menor que su longitud de onda, éstas absorben parte de la radiación que les llega y la reemiten (dispersan) en todas las direcciones de acuerdo con la ley del scattering¹ de Rayleigh. Esta ley establece que la intensidad de la luz dispersada es inversamente proporcional a la cuarta potencia de su longitud de onda ($\propto 1/\lambda^4$); para luz no polarizada, depende del ángulo φ entre la dirección del haz luminoso y la dirección de observación según la relación $(1 + \cos^2 \varphi)$. Debido a la fuerte dependencia con λ , los colores de longitud de onda corta (el violeta y el azul) se dispersan mucho más que los de longitud de onda larga (como el rojo); además, hay mayor dispersión en la dirección perpendicular a la del haz luminoso. Así pues, la iluminación celeste que observamos no se debe a la luz que proviene directamente del Sol, sino a la dispersada, la cual es cierto que contiene todos los colores, pero con notable predominancia del violeta y, después, del azul. En estas circunstancias deberíamos de ver el cielo de color violeta, pero no lo vemos así porque en el espectro de luz solar hay proporcionalmente más luz azul que violeta (como muestra la figura del espectro) y, especialmente, porque nuestros ojos son mucho más sensibles al azul que al violeta.² En definitiva, la combinación entre la dispersión de Rayleigh, las intensidades relativas del espectro solar y la sensibilidad de nuestros ojos explica por qué vemos el cielo de color azul.

Hemos visto que la intensidad de un haz de luz procedente del Sol va disminuyendo a medida que se propaga por la atmósfera terrestre, perdiendo principalmente las componentes de longitud de onda corta. Debido al largo camino recorrido en la atmósfera terrestre por un haz de luz solar que llega hasta nosotros cuando el Sol está próximo al horizonte, lo vemos³ de color rojizo o anaranjado durante un amanecer o un atardecer, pues tendrá menos componente azul y, comparativamente, más roja (cuya λ es la mayor del espectro visible).

La concentración de aire disminuye a medida que se asciende en la atmósfera, por lo tanto habrá menos moléculas que dispersen la luz solar y el cielo se verá cada vez más oscuro. Si la Tierra no poseyera atmósfera (como en la Luna), siempre veríamos el cielo completamente negro, a pesar de la luz solar que llega durante el día.

¹ Dispersión o difusión, según las traducciones, pero la que más abunda es la primera denominación.

² La visión humana evolucionó adaptándose al espectro solar, por ello el ojo percibe la porción del espectro electromagnético que denominamos "visible" y tiene su máxima sensibilidad para los colores en la región del verde-amarillo (ya que la máxima intensidad del espectro solar corresponde a $\lambda \sim 500$ nm).

³ Hay que tener mucha prudencia, pues la observación directa del Sol puede ocasionar graves lesiones oculares.