134 Simple+mente física

Temperatura en la superficie terrestre

(5 – 9 octubre 2009)

A partir de la radiación solar que incide sobre la Tierra y las características de nuestro planeta, ¿es posible determinar (aproximadamente) la temperatura en su superficie?

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 - CIOyN, Universidad de Murcia (rgm@um.es)

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

Resp.: Calcularemos la temperatura de la superficie terrestre a partir del balance entre la energía que recibe la Tierra y la energía que ésta reemite al espacio.

La energía por unidad de tiempo y de área que llega a la Tierra procedente del Sol se denomina flujo solar y vale $I = 1372\ \mathrm{W/m^2}$.[1] Pero la Tierra tiene un coeficiente de reflexión, denominado albedo, que vale aproximadamente $a = 0.3$; esto significa que el 30% de la radiación procedente del Sol se refleja en la atmósfera terrestre hacia el espacio.

La energía solar que absorbe la Tierra calienta su superficie a una temperatura $T_{\text{superficie terrestre}}$; la energía por unidad de tiempo y de superficie que emite la Tierra a esta temperatura se obtiene mediante la ley de Stefan-Boltzmann: $E_{\text{superficie terrestre}} = \sigma\, T^4_{\text{superficie terrestre}}$.

Así pues, la energía que recibe la Tierra por unidad de tiempo es la correspondiente a su sección transversal: $P_{\text{recibida}} = (1-a)\pi R^2_{\text{Tierra}} I$, donde R_{Tierra} es el radio de la Tierra. La energía por unidad de tiempo que reemite la superficie terrestre es $P_{\text{reemitida}} = \sigma\, T^4_{\text{superficie terrestre}} 4\pi R^2_{\text{Tierra}}$. Tras igualar P_{recibida} con $P_{\text{reemitida}}$, se obtiene que $T_{\text{superficie terrestre}} = \left[(1-a) I/(4\sigma)\right]^{1/4} = 255\ \mathrm{K}$.

La temperatura que se ha obtenido se denomina temperatura de cuerpo negro de la Tierra, pero está claramente por debajo del valor promedio de la temperatura en la superficie terrestre, que vale aproximadamente 290 K.

En la discusión anterior no se ha considerado que la atmósfera sólo deja escapar aproximadamente un porcentaje $b = 60\%$ de la radiación emitida por la Tierra (el resto de la radiación se absorbe por las moléculas de H_2O, CO_2, CH_4, N_2O, CCl_2F_2… de la atmósfera). Si se tiene en cuenta este factor, ahora el balance energético entre la energía recibida y la emitida en la misma cantida de tiempo se escribe como $(1-a)\pi R^2_{\text{Tierra}} I = b\, 4\pi R^2_{\text{Tierra}} \sigma\, T^4_{\text{superficie terrestre}}$, de donde se obtiene que $T_{\text{superficie terrestre}} = \left[(1-a) I/(4\sigma b)\right]^{1/4} = 290\ \mathrm{K}$, en excelente acuerdo con el valor medio de la superficie terrestre determinado experimentalmente.

[1] A partir del valor de I determinado experimentalmente, puede obtenerse la temperatura en la fotosfera solar. Puesto que la energía se conserva, la energía que emite el Sol por unidad de tiempo, P_{Sol}, ha de ser la misma que la que llega a una esfera cuyo radio sea el de la órbita terrestre, $P_{\text{órbita terrestre}}$. Si consideramos el Sol como un cuerpo negro, la ley de Stefan-Boltzmann nos da $P_{\text{Sol}} = \sigma\, T^4_{\text{Sol}} 4\pi R^2_{\text{Sol}}$; por otra parte, $P_{\text{órbita terrestre}} = I\, 4\pi D^2_{\text{Sol-Tierra}}$. En las expresiones anteriores $\sigma = 5.67\times10^{-8}\ \mathrm{J\ m^{-2} s\ K^4}$ es la constante de Stefan-Boltzmann, $R_{\text{Sol}} = 6.96\times10^8\ \mathrm{m}$ es el radio del Sol, y $D_{\text{Sol-Tierra}} = 1.5\times10^{11}\ \mathrm{m}$ es la distancia promedio entre el Sol y la Tierra. La temperatura que se obtiene para la superficie del Sol es $T_{\text{Sol}} = \left[I\, D^2_{\text{Sol}}/(\sigma R^2_{\text{Sol-Tierra}})\right]^{1/4} \simeq 5800\ \mathrm{K}$. Este valor concuerda muy bien con la temperatura correspondiente al espectro solar que llega a la atmósfera terrestre, que es el de un cuerpo negro a 5770 K.