

145

Simple + mente
física



Masa de la atmósfera terrestre (8 - 12 febrero 2010)

¿Cuál es la masa de la atmósfera terrestre?



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 (al menos, se intentará) 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.: El cálculo más rápido se basa en tener en cuenta que la presión atmosférica al nivel del mar, p_{atm} , es el peso de la columna de aire por unidad de superficie. Si se multiplica p_{atm} por la superficie terrestre, $S=4\pi R^2$, se obtiene la fuerza con que la Tierra atrae a la masa de toda la atmósfera:

$$F_{\text{gravit}} = 4\pi R^2 p_{\text{atm}},$$

donde R es el radio de la Tierra.

Si el valor de la aceleración debida a la gravedad terrestre, g , es constante en toda la extensión de la atmósfera, se obtiene su masa sin más que dividir la expresión anterior entre g :

$$m = \frac{F_{\text{gravit}}}{g} = \frac{4\pi R^2 p_{\text{atm}}}{g}$$

Tras sustituir los valores típicos $p_{\text{atm}}=1.013\times 10^5 \text{ N/m}^3$, $R=6370 \text{ km}$ y $g=9.81 \text{ m/s}^{-2}$, se obtiene que la masa de la atmósfera terrestre vale $m=5.26\times 10^{18} \text{ kg}$.

Dada la simplicidad del cálculo, este resultado es sorprendentemente próximo al que aparece en los manuales de referencia, que dan un valor de $5.148\times 10^{18} \text{ kg}$. Esto se debe a que la densidad de la atmósfera disminuye de manera casi exponencial con la altura, por lo tanto la mayoría de su masa se halla muy próxima a la superficie terrestre, donde el valor de g apenas varía. De hecho, la atmósfera terrestre tiene el 50% de su masa por debajo de los 5.6 km de altura, el 90% por debajo de los 16 km y el 99.99997% por debajo de los 100 km de altura. Esta última altura (denominada línea de Kármán) se suele tomar como la frontera entre la atmósfera y el espacio exterior.

Un procedimiento más sofisticado para obtener un resultado similar al anterior consistiría en calcular directamente la masa atmosférica por medio de la siguiente integral de volumen

$$m = 4\pi \int_{r_1}^{r_2} \rho(r) r^2 dr,$$

donde $\rho(r)$ es la densidad de la atmósfera en función de la altura; $r_1=R$ y r_2 definen los límites inferior y superior de la atmósfera. El valor de r_2 está definido vagamente, pues la atmósfera no se acaba bruscamente; puede tomarse $r_2=\infty$ si se considera una dependencia exponencial para $\rho(r)$.

Si se procediera de esta forma, el principal problema sería disponer de una expresión analítica para $\rho(r)$. Pero el comportamiento de la atmósfera es muy complicado y la dependencia de su densidad con la altura, $\rho(r)$, no se expresa mediante una simple expresión, sino que hay que definir una función en cada una de las regiones en que se divide la atmósfera.

Cabe mencionar que el defecto de aproximadamente 2.5% entre el valor que aparece en las referencias y el calculado se debe, en parte, a la orografía terrestre, pues el volumen de las montañas debe descontarse del que ocuparía el aire si la superficie terrestre fuese completamente lisa.