

Aire descendiendo en la atmósfera

Uno de los patrones globales de la circulación del aire en la atmósfera es el que se conoce como célula de Hadley. En esta célula el aire húmedo asciende en el ecuador alcanzando la parte alta de la atmósfera. Una cantidad de aire se va hacia el norte y otra hacia el sur. El aire pierde humedad y ya seco desciende en latitudes alrededor de los 30° . Al llegar al suelo una parte regresa de nuevo al ecuador cerrando el ciclo de circulación. Este patrón explica en parte la existencia de regiones desérticas en las latitudes mencionadas.

En una región árida como el desierto del Sahara la atmósfera se puede considerar compuesta de aire seco, es decir, sin humedad. En tales condiciones, la temperatura de la atmósfera desciende con la altura a una razón L_a . Considere un paquete o masa de aire contenida en una esfera de radio R , a una temperatura T_0 y que se encuentra a una altura z_0 sobre el suelo, estando en equilibrio térmico con el ambiente. En general el aire no está en reposo, por lo que regularmente tiene un movimiento ascendente o descendente sobre una cierta región. Supongamos que el paquete desciende sin mezclarse y sin intercambiar calor con el ambiente que lo rodea, su temperatura aumenta a una razón L_p .

1. Asumiendo que la masa esférica de aire tiene una temperatura uniforme, encuentre la diferencia de temperatura entre la masa de aire y el ambiente cuando desciende hasta una altura z . Expresé su respuesta en términos de L_a y L_p .
2. Debido a la diferencia de temperatura, la masa de aire irradia calor hasta que alcanza nuevamente el equilibrio térmico con el ambiente. Calcule la cantidad de calor que se debe irradiar para alcanzar el equilibrio térmico, cuando el paquete llega a una altura z . Expresé su respuesta en términos de la densidad del aire ρ (que se considera constante durante el proceso) y el calor específico del aire a presión constante c_p .
3. Calcule cuánto tiempo transcurre para que la masa de aire se enfríe hasta alcanzar el equilibrio térmico. Ayuda: utilice la ley de Stefan-Boltzmann $P = \sigma AT^4$. Adicionalmente, para no complicar la matemática del problema, estaremos asumiendo

que el enfriamiento empieza al llegar a la altura z y ocurre a temperatura constante hasta alcanzar el equilibrio térmico. Para esta pregunta utilice los siguientes datos: $L_a = 7.0$ K/km, $L_p = 10$ K/km, $z_0 = 9.0$ km, $z = 0.5$ km, $T_0 = -35^\circ$ C, $R = 400$ m, $\rho = 1.2$ kg/m³, $c_p = 1005$ J/(kg K), $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$ W/(m² K⁴).

4. Cuando los gases de efecto invernadero aumentan su concentración en la atmósfera se propicia lo que llamamos calentamiento global. Esto tiene el efecto de aumentar la altura desde la cual la masa de aire empieza su descenso. Si ahora la altura inicial es $z_0 + h$, de forma que $h = 200$ m, repita el cálculo de la pregunta 3 para esta nueva situación.