

Una aproximación al proceso de formación de la molécula de Ozono O_3

El ozono, una molécula relativamente inestable compuesta de tres átomos de oxígeno, es esencial para la vida en la Tierra a pesar de representar solo una fracción muy pequeña de la atmósfera. Su impacto en la vida depende de su ubicación: en la estratosfera (entre 10 y 40 km sobre la superficie), actúa como una barrera protectora contra la radiación ultravioleta dañina del sol. El ozono estratosférico se forma cuando la radiación ultravioleta de alta energía descompone moléculas de oxígeno en átomos individuales, los cuales se combinan nuevamente con oxígeno molecular para formar ozono. Este proceso asegura que la radiación ultravioleta de alta energía sea absorbida en la estratosfera, protegiendo así la superficie terrestre.

El ozono es valioso porque absorbe energía ultravioleta nociva para la vida en la Tierra. Al absorber incluso radiación ultravioleta de baja energía, una molécula de ozono se divide en una molécula de oxígeno y un átomo de oxígeno libre. Generalmente, este átomo de oxígeno libre se recombina rápidamente con una molécula de oxígeno para formar otra molécula de ozono, manteniendo así el “ciclo de ozono-oxígeno”. Este ciclo transforma la peligrosa radiación ultravioleta en calor, contribuyendo a la protección continua de la vida en la superficie terrestre.

Para simplificar el análisis, desarrollaremos el problema en el marco de referencia donde las moléculas de O_2 se encuentran en reposo. Además, consideraremos a los átomos y moléculas como partículas puntuales, y despreciaremos todo tipo de interacciones a distancia.

- a) (2.0pts) Considere una molécula de O_2 que absorbe cierta energía E proveniente del Sol. Una porción ΔE de esta energía es utilizada para romper el doble enlace $O = O$. Obtenga una expresión para la rapidez de las partículas emitidas, en función de estos parámetros y la masa m de los átomos de O.

Utilizando conservación de momento y energía:

$$mv_1 - mv_2 = 0 \quad \rightarrow \quad v_1 = v_2$$

$$\hookrightarrow \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}mv_2^2 = E - \Delta E \quad \rightarrow \quad v_1 = v_2 = \sqrt{\frac{E - \Delta E}{m}}$$

- b) (2.0pts) Luego uno de estos átomos de O colisiona con otra molécula de O_2 , formando

la molécula de O_3 . ¿Cuál es la rapidez de la nueva molécula? Exprese su resultado en función de los parámetros del inciso a).

$$mv_1 = 3mu \quad \rightarrow \quad u = \frac{v_1}{3} = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{E - \Delta E}{m}}$$

- c) (2.0pts) Encuentre la razón r de la cantidad de energía pérdida en la colisión de los dos átomos liberados del O_2 en la formación de las moléculas de O_3 , con respecto a la energía inicial E .

$$\begin{aligned} \Delta E_c &= \left(\frac{1}{2} m v_1^2 - \frac{1}{2} 3 m u^2 \right) \\ \Delta E_c &= \frac{1}{2} m v_1^2 - \frac{3}{2} m \left(\frac{v_1}{3} \right)^2 \\ \Delta E_c &= \frac{1}{3} m v_1^2 = \frac{1}{3} (E - \Delta E) \\ r &= 2 \Delta E_c / E \\ r &= \frac{2}{3} \left(1 - \frac{\Delta E}{E} \right) \end{aligned}$$

- d) (3.0pts) Luego esta molécula de O_3 , que aún conserva mucha energía, colisiona con moléculas circundantes de O_2 u otros gases diatómicos como N_2 (que también se encuentran en reposo en nuestro marco de referencia), transfiriendo el resto de energía por medio de estas colisiones. Llame M a la masa de cada átomo de estas moléculas, encuentre la rapidez resultante de las moléculas de O_3 y el otro gas, luego de una colisión frontal unidimensional, considere que es elástica.

$$3mu = 3mU + 2MV$$

$$\frac{1}{2} 3mu^2 = \frac{1}{2} 3mU^2 + \frac{1}{2} 2MV^2$$

$$U = u \frac{3m - 2M}{3m + 2M} = \frac{1}{3} \frac{3m - 2M}{3m + 2M} \sqrt{\frac{E - \Delta E}{m}}$$

$$V = \frac{1}{3} \frac{6m}{3m + 2M} \sqrt{\frac{E - \Delta E}{m}}$$

- e) (1.0pts) Si para formar la molécula de O_3 se necesitan 104 kJ/mol, y se requiere al menos 495 kJ/mol para separar la molécula de oxígeno. Estime la energía E_{\min} que permitiría la formación de O_3 y compárela con los valores de energía mínima de los rayos UV (4.97×10^{-19} J). Tenga en cuenta el número de Avogadro: $N_A = 6.022 \times 10^{23}$ moléculas/mol.

$$\Delta E_c = \frac{1}{3} (E - \Delta E)$$

$$E = 3\Delta E_c + \Delta E = 3 * 104 + 495 \text{ kJ/mol}$$

$$E_{\min} = \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} = 1.34 \times 10^{-18} \text{ J/molécula}$$

$$\frac{E_{\min}}{E_{\text{rayos}}} = 13.4/4.97 \approx 2.7$$

Se necesita aproximadamente 3 veces la energía mínima de un rayo UV para formar cada O_3 .