

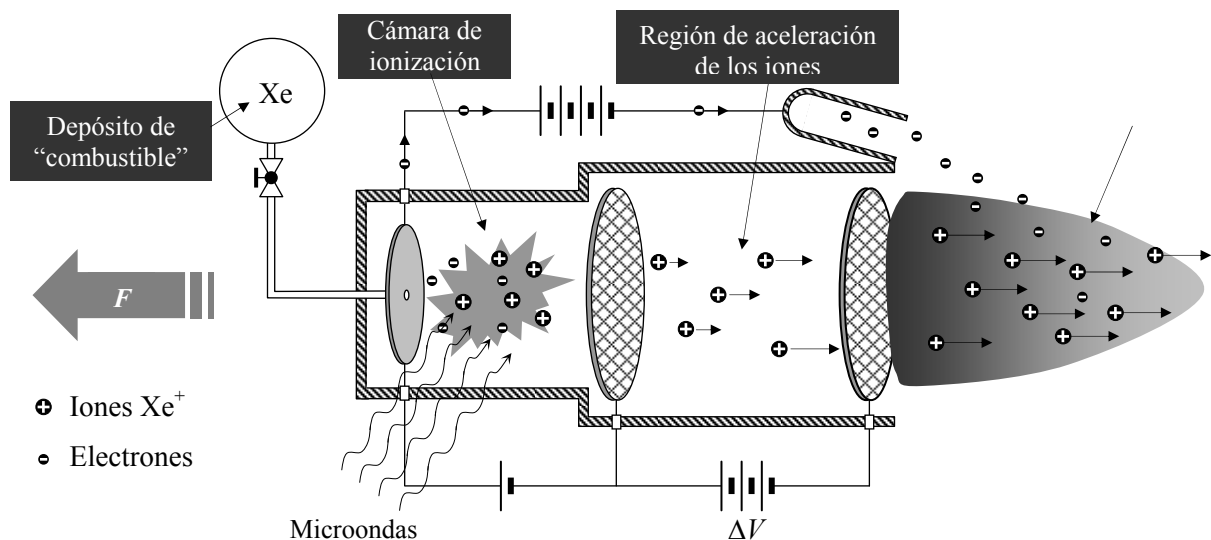
P2. Propulsión iónica.

Introducción.

La nave SMART-1, de la Agencia Espacial Europea, entró en la zona de predominio de la gravedad lunar el 15 de Noviembre de 2004. Catorce meses antes fue colocada en órbita terrestre por un lanzador convencional Ariane-5, y desde entonces ha viajado hacia la Luna impulsada por su motor iónico. Actualmente, este mismo motor la está frenando lentamente para situarla en una órbita lunar baja, en la que desarrollará su misión científica. Durante todo ese tiempo (cerca de año y medio) el motor iónico ha funcionado de forma casi continua, aunque con un empuje muy débil.

La inmensa ventaja de este sistema de propulsión es que puede mantenerse durante un tiempo muy largo y, a igualdad de propelente gastado, se alcanza una velocidad final mucho más elevada que con un motor cohete tradicional, de forma que su rendimiento es unas diez veces superior. El secreto radica en que la velocidad de expulsión de los iones es muy superior a la de los gases de combustión de un motor cohete, que no suele pasar de los 3 km/s (con un tiempo de encendido de tan solo unos 10 minutos). Además la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de un motor iónico se extrae de la luz solar mediante paneles fotovoltaicos.

El principio de funcionamiento del motor iónico es sencillo: átomos neutros de gas Xenón entran a una primera cámara donde son ionizados mediante un haz de microondas que arrancan un electrón a cada átomo. Los iones Xe^+ son conducidos mediante un campo eléctrico débil a otra cámara, donde un intenso campo eléctrico los acelera hasta una alta velocidad y los expulsa al espacio exterior. Para crear este campo, se establece una diferencia de potencial entre dos rejillas, a través de las cuales pasan los iones. La nave debe permanecer eléctricamente neutra, por lo que un circuito capta los electrones producidos en la ionización y, mediante un cátodo hueco, los expulsa también al espacio, donde se recombinan con los iones Xe^+ formando de nuevo gas neutro y emitiendo un bello resplandor azulado. Los electrones son muchísimo más ligeros que los iones, por lo que su efecto de propulsión es irrelevante.



Problema

La SMART-1 inició su viaje con una carga de unos 80 kg de gas Xenón. A su régimen normal de funcionamiento, el motor iónico tiene un consumo $C = 0,10$ kg/día de Xe , lo que le da una autonomía superior a dos años. La diferencia de potencial entre las rejillas aceleradoras es $\Delta V = 1,3$ kV.

Calcule:

- La velocidad de expulsión de los iones, v_e .
- La fuerza de empuje del motor, F .
- El número N de iones expulsados por segundo y la intensidad de la corriente iónica expulsada, I .

- d) La potencia eléctrica gastada en la ionización del gas, P_i .
- e) El consumo de potencia eléctrica del conjunto del motor, P .

Nota:

Expresa primero sus resultados en forma analítica (fórmula final) en términos de las variables dadas (C , ΔV) y los símbolos empleados para los datos facilitados al pie (m , E^+ , e).

Una vez obtenidas las expresiones analíticas, calcule sus valores numéricos, expresando los resultados en unidades del Sistema Internacional.

Los resultados analíticos y numéricos puntuarán por separado.

Datos:

Masa media de un átomo de Xenón: $m = 2,180 \times 10^{-25}$ kg

Energía de primera ionización: $E^+ = 12,13$ eV

Carga del electrón: $e = 1,602 \times 10^{-19}$ C

Solución

- a) La energía cinética de cada ión es igual al trabajo efectuado sobre una carga e en la caída de potencial ΔV .

$$E_c = \frac{1}{2} m v_e^2 = e \Delta V \Rightarrow v_e = \left(\frac{2e\Delta V}{m} \right)^{1/2} \Rightarrow v_e = 4,4 \times 10^4 \text{ m/s}$$

- b) El empuje es igual al momento lineal de la masa expulsada por segundo

$$F = C v_e = C \left(\frac{2e\Delta V}{m} \right)^{1/2}$$

Como la masa expulsada por segundo es $C = 0,10 \text{ kg/día} = 1,157 \times 10^{-6} \text{ kg/s}$, el valor del empuje es

$$F = 5,1 \times 10^{-2} \text{ N}$$

- c) Número de átomos de Xe expulsados por segundo:

$$N = \frac{C}{m} \Rightarrow N = 5,3 \times 10^{-13} \text{ s}^{-1}$$

Carga expulsada por segundo es la intensidad: $I = N e$, por tanto

$$I = \frac{C e}{m} \Rightarrow I = 0,85 \text{ A}$$

- d) En régimen estacionario, el número de iones expulsados por segundo coincide con el número N de átomos ionizados por segundo. La potencia (energía por segundo) consumida en la ionización será

$$P_i = N E^+ \Rightarrow P_i = \frac{C E^+}{m} \Rightarrow P_i = 10 \text{ W}$$

- e) Para estimar la potencia empleada en la aceleración de los iones se puede razonar al menos de dos maneras:

- i) Potencia eléctrica directa

$$P_a = \Delta V I = \Delta V \frac{C e}{m}$$

- ii) Energía cinética de los iones expulsados por segundo

$$N E_c = N e \Delta V = \Delta V I$$

La potencia total es entonces

$$P = P_a + P_i \Rightarrow P = \frac{C}{m} (e\Delta V + E^+) \Rightarrow P = 1,1 \times 10^3 \text{ W}$$

que es muy similar a los 1,19 kW declarados por la ESA.