

Calculad la energía equivalente a un gramo de materia. Comparadla con: a) La energía que se puede obtener en la combustión de 1g de butano (masa molar del butano = 58 g/mol, poder calorífico ≈ 700 kcal/mol). b) La energía que se obtiene en la fusión de 1g de deuterio para producir helio mediante la reacción: $2^2_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He}$ (masa de H-2 = 2.01355u, masa de He-4 = 4.00150u. c) La energía total que se obtiene en una central nuclear como resultado de la fisión de 1g de U-235 suponiendo que todos los núcleos se fisioan. ($N_A = 6.02 \cdot 10^{23}$ partículas/mol)



La energía propia correspondiente a un gramo de materia es:

$$E_0 = m \cdot c^2 = 0.001 \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 3 \cdot 10^{14} \text{ J}$$

Para calcular la energía térmica que se desprende en la combustión de 1g de butano bastará multiplicar el número de moles de butano correspondiente por el poder calorífico que se nos da en el enunciado:

$$n = \frac{m}{M} = \frac{1}{58} \text{ moles} \rightarrow E = \frac{1}{58} \text{ moles} \cdot 700 \frac{\text{kcal}}{\text{mol}} = 12.07 \text{ kcal} = 50452.6 \text{ J}$$

La relación entre ambas cantidades es:

$$E/E_0 = \frac{50452.6}{3 \cdot 10^{14}} = 1.68 \cdot 10^{-10} \rightarrow E_0 = \frac{1}{1.68 \cdot 10^{-10}} \cdot E \rightarrow E_0 = 5.95 \cdot 10^9 \cdot E$$

Es decir, que la energía térmica que se desprende al quemar un gramo de butano es casi 6000 millones de veces menor que la energía propia de ese mismo gramo de butano. Por lo tanto, un proceso ordinario de combustión sólo aprovecha una parte insignificante de la masa (o energía equivalente) de ese gramo de butano.

Cuando se desarrolló la teoría de la relatividad y se conoció la ley de equivalencia entre masa y energía, se sugirió rápidamente la idea de que mediante procesos adecuados se podrían obtener cantidades de energía mucho mayores. Esta expectativa, se confirmó poco tiempo después cuando se desarrollaron otras áreas de conocimiento de la física (concretamente la física nuclear y la física de partículas), que estudiaron mecanismos para obtener energía, especialmente reacciones nucleares de fisión y fusión.

a) En cada reacción de fusión: $2^2_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He}$ tenemos:

La masa de los dos núcleos de deuterio iniciales es: $2 \cdot 2.01355 = 4.0271$ u

La masa del núcleo de helio obtenido es: 4.00150 u

La cantidad de masa-energía que se desprende es: $4.0271 - 4.00150 = 0.0256$ u

Por tanto, la relación entre la masa-energía “desprendida” y la masa-energía inicial de deuterio en esta reacción nuclear de fusión es:

$$\frac{\text{masa desprendida}}{\text{masa inicial}} = 0.0256/4.0271 = 6.357 \cdot 10^{-3}$$

Esto es aproximadamente un 0.64 % de la masa-energía inicial de deuterio.

Siguiendo con esta misma proporción, en la fusión nuclear de 1g de deuterio se desprende una masa de $6.357 \cdot 10^{-3} \text{ g} = 6.357 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$, lo que equivale a una de energía de:

$$E_{\text{obtenida}} = m_{\text{desprendida}} \cdot c^2 = 6'357 \cdot 10^{-6} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 5'72 \cdot 10^{11} \text{ J}$$

Conviene darse cuenta de la enorme cantidad de energía que se obtiene tan solo a partir de un gramo de deuterio: más de medio billón de julios. Podemos ver también la magnitud de este valor a través de la siguiente cuestión:

Calculad la masa total de deuterio que sería necesaria diariamente en una hipotética central de fusión, para que generara una energía de $3'8 \cdot 10^{13} \text{ J}$ diarios.

La hipotética central nuclear necesitaría consumir tan sólo:

$$3'8 \cdot 10^{13} / 0'572 \cdot 10^{12} = 66'4 \text{ g de deuterio}$$

En este ejercicio hablamos de una hipotética central nuclear porque la utilización segura y eficiente de estas reacciones de fusión, es todavía una cuestión pendiente. La principal dificultad proviene del hecho de que para que se produzcan estas reacciones es preciso que los núcleos estén a una enorme temperatura (por esto estas reacciones se llaman termonucleares) y, en estas condiciones, es muy difícil mantener a los núcleos controlados en un espacio limitado.

Como se sabe, la fusión nuclear es el mecanismo principal de generación de energía de las estrellas. En su interior las temperaturas son cercanas a 15 millones de Kelvin, pero los núcleos se mantienen ahí porque dada la gran masa que acumula cada estrella, durante mucho tiempo de su proceso evolutivo existe un equilibrio hidrostático entre la fuerza de gravedad que actúa atrayendo el gas estelar hacia el centro y comprimiéndolo, y la presión estelar que esos núcleos ejercen hacia fuera intentando expandir el sistema.

c) El proceso inverso a la fusión nuclear es la fisión, que sí se ha podido utilizar desde hace ya varias décadas para la producción mundial de energía. La fisión de núcleos pesados es un proceso en el que se liberan cantidades sustanciales de energía, que se emite, tanto en forma de radiación gamma como de energía cinética de los fragmentos de la fisión, calentando la materia que se encuentre alrededor.

Dejamos a los lectores que realicen los cálculos de este último apartado.

Rdo. $5'12 \cdot 10^{24} \text{ MeV}$ que representa el 0'0914 % de la energía disponible.