

Comparaison entre l'énergie libérée par une réaction nucléaire de fission et par la combustion du pétrole.

Source: <http://physique.chimie.pagesperso-orange.fr/>

ENONCE :

En 1999, la France a produit une énergie électrique de 486×10^9 kWh. Plus de trois quart sont d'origine nucléaire. Le but de cet exercice est de montrer l'intérêt énergétique de ce choix.

DONNÉES

Masses de quelques particules	Masses de quelques noyaux	Divers
proton : $m_p = 1,6726 \times 10^{-27}$ kg	uranium 235 : 234,9935 u	1 u = $1,6606 \times 10^{-27}$ kg
neutron : $m_n = 1,6749 \times 10^{-27}$ kg	cérium 146 : 145,8782 u	c = $2,9979 \times 10^8$ m / s
électron : $m_e = 9,1094 \times 10^{-31}$ kg	sélénium 85 : 84,9033 u	$N_A = 6,022 \times 10^{23}$ mol ⁻¹
		e = $1,602 \times 10^{-19}$ C

La production d'énergie dans ces réacteurs repose sur la fission de l'uranium 235.

Lorsqu'un neutron heurte un noyau d'uranium ${}_{92}^{235}\text{U}$, une des fissions possibles conduit à la formation d'un noyau de cérium ${}_{58}^{146}\text{Ce}$, d'un noyau de sélénium ${}_{X}^{85}\text{Se}$, ainsi qu'à un nombre a de neutrons.

1- Écrire l'équation complète de cette réaction nucléaire ; en déduire la valeur de a et celle de X. Justifier en exprimant les lois appliquées.

2- Calculer la variation de masse Δm qui accompagne la fission d'un noyau d'uranium 235

3- Calculer, en joule et en MeV, l'énergie ΔE libérée par cette réaction.

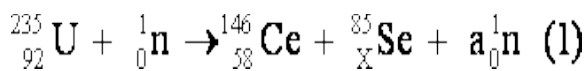
On considère que les énergies cinétiques initiales du neutron ${}_0^1\text{n}$ et de l'uranium ${}_{92}^{235}\text{U}$ sont négligeables devant leur énergie de masse

4- Les centrales nucléaires françaises utilisant de l'uranium 235 fournissent au maximum une puissance électrique $P = 1455$ MW.

La combustion d'un kilogramme de pétrole libère une énergie $E = 45 \times 10^6$ J sous forme de chaleur. Le rendement de la transformation d'énergie thermique en énergie électrique est de 34,2 %. En déduire la masse de pétrole qui serait nécessaire pour produire pendant un an la même énergie électrique que les centrales nucléaires françaises.

SOLUTION :

1- Equation de la réaction de fission



La loi de conservation de la charge électrique permet d'écrire :

$$92 + 0 = 58 + X + a \times 0$$

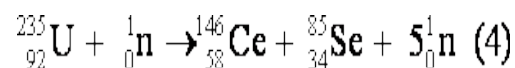
$$X = 34 \quad (2)$$

La loi de conservation du nombre de nucléons permet d'écrire :

$$235 + 1 = 146 + 85 + a \quad (3)$$

On obtient $X = 34$ et $a = 5$.

Portons dans l'équation (1) :



2- Calcul de la variation de masse Δm qui accompagne la fission d'un noyau d'uranium 235.

Calculons tout d'abord, en unité de masse atomique, la masse d'un neutron :

$$m({}_0^1\text{n}) = 1,6749 \times 10^{-27} \text{ kg} = 1,6749 \times 10^{-27} / 1,6606 \times 10^{-27} = \mathbf{1,0086 \text{ u}} \quad (5)$$

D'après (4), la variation de masse qui accompagne la fission d'un noyau d'uranium 235 est :

$$\Delta m = \text{masse finale} - \text{masse initiale}$$

$$\Delta m = (145,8782 + 84,9033 + 5 \times 1,0086) - (234,9935 + 1,0086)$$

$$\Delta m = 235,8195 - 236,0021 = -0,1826 \text{ u} \quad (6)$$

La masse du système diminue (Δm est négatif). Cette disparition de masse provoque une **apparition** d'énergie.

3-Calcul de l'énergie ΔE libérée par cette réaction.

On considère que les énergies cinétiques initiales du neutron et de l'uranium sont négligeables devant leur énergie de masse.

L'énergie que la réaction dégage s'écrit, en valeur absolue :

$$|\Delta E| = |\Delta m| \times c^2 \quad (7)$$

Calculons Δm en kg (l'énoncé rappelle que $1 \text{ u} = 1,6606 \times 10^{-27} \text{ kg}$) :

$$|\Delta m| = 0,1826 \text{ u} = 0,1826 \times 1,6606 \times 10^{-27} = 3,032 \times 10^{-28} \text{ kg} \quad (8)$$

Portons dans la relation (7) :

$$|\Delta E| = |\Delta m| \times c^2 = 3,032 \times 10^{-28} \times (2,9979 \times 10^8)^2$$

$$|\Delta E| = 2,724981 \times 10^{-11} \text{ J} \quad (9)$$

- Calculons cette énergie en MeV.

L'énoncé rappelle que $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$ (10). On peut ainsi retrouver que :

$$1 \text{ MeV} = 1 \times 10^6 \times (1,602 \times 10^{-19} \text{ C})V = 1,602 \times 10^{-13} \text{ CV} = \mathbf{1,602 \times 10^{-13} \text{ J}}$$

Soit :

$$1 \text{ J} = 6,24219 \times 10^{12} \text{ MeV}$$

On peut donc écrire :

$$|\Delta E| = 2,724981 \times 10^{-11} \text{ J} = 2,724981 \times 10^{-11} \times 6,24219 \times 10^{12} = 170,09849 \text{ MeV}$$

Finalement :

$$|\Delta E| = 2,724981 \times 10^{-11} \text{ J} = \mathbf{170,09849 \text{ MeV}} \quad (11)$$

4- Masse de pétrole qui serait nécessaire pour produire pendant un an la même énergie électrique que les centrales nucléaires françaises

Calculons la durée en secondes :

$$t = 1 \text{ an} = 365 \text{ jours} = 365 \times 24 \text{ heures} = 365 \times 24 \times 3600 \text{ secondes}$$

$$t = 31536000 \text{ s}$$

Calculons l'énergie électrique fournie par les centrales nucléaires, en 1 an :

$$\mathbf{W = P \times t = (1455 \times 10^6) \times (3,1536 \times 10^7) = 4,589 \times 10^{16} \text{ J}} \quad (12)$$

- La combustion d'un kilogramme de pétrole libère une énergie $E = 45 \times 10^6 \text{ J}$ sous forme de chaleur. Le rendement de la transformation d'énergie thermique en énergie électrique est de 34,2 %.

1 kg de pétrole \longrightarrow 45×10^6 J (calorifique) \longrightarrow $0,342 \times 45 \times 10^6 = 15,39 \times 10^6$ J (électrique)

On peut donc écrire :

$15,39 \times 10^6$ J (électrique) nécessitent 1 kg de pétrole

1 J (électrique) nécessite $1 / (15,39 \times 10^6)$ kg de pétrole

$4,589 \times 10^{16}$ J (électrique) nécessiteraient $4,589 \times 10^{16} / (15,39 \times 10^6) = 2,982 \times 10^9$ kg de pétrole

Près de 3 milliards de kg de pétrole seraient nécessaires pour produire l'énergie électrique que la France produit pendant un an.