

Réactions nucléaires provoquées

I. La fission de l'uranium :

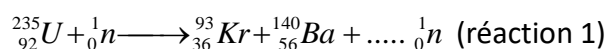
C'est grâce à l'uranium, un métal relativement abondant dans l'écorce terrestre, que fonctionnent les centrales nucléaires.

1. Equation de la réaction de fission :

L'uranium 235 est le seul atome à l'état naturel dont le noyau se brise en deux noyaux plus petits sous l'effet d'un bombardement de neutronique. On dit également que l'uranium 235 est fissile. **Cette transformation est une réaction nucléaire que l'on appelle réaction de fission.**

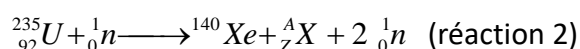
Un noyau d'uranium 235 peut subir la fission. On dit qu'il est fissile.

- Une des réactions possibles s'écrit :

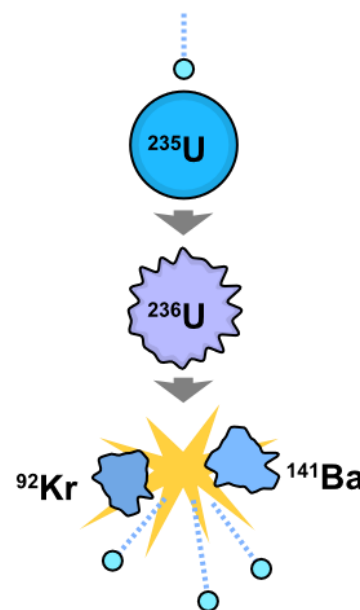


Les lois de conservation permettent de prévoir le nombre de neutrons libérés par cette réaction

- D'autres noyaux peuvent se former au cours de la même réaction :



Déterminer X. (utiliser la classification périodique des éléments).



- La fission dégage de l'énergie sous forme de chaleur. Cette réaction libère également deux ou trois neutrons et s'accompagne de rayonnements α , β et γ .

D'où proviennent les différents rayonnements qui accompagnent cette fission ?

- Expliquer pourquoi la réaction de fission est qualifiée de réaction en chaîne ? Pourquoi faut-il contrôler la fission ?

2. Energie libérée au cours de la réaction de fission :

a. Relation d'équivalence entre la masse et l'énergie

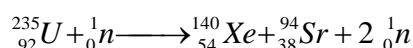
En 1905, Einstein formule l'équivalence entre la masse et l'énergie : toute particule, même au repos, possède, du seul fait de sa masse m , de l'énergie E_0 , appelée énergie de masse, donnée par la relation :

$$E_0 = m \cdot c^2, \text{ où } c \text{ est la célérité de la lumière dans le vide}$$

E_0 est en joule (J) - m est en kilogramme (kg) - c est en mètre par seconde ($m \cdot s^{-1}$)

b. Energie libérée par une réaction nucléaire :

On cherche à définir l'énergie libérée au cours de la réaction suivante :



On donne : $1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

$$c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$m_p = 1,00727 \text{ u}$$

$$m({}^{235}\text{U}) = 234,9935 \text{ u}$$

$$1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$m_n = 1,00867 \text{ u}$$

$$m({}^{94}\text{Sr}) = 93,8945 \text{ u}$$

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$m({}^{140}\text{Xe}) = 139,8920 \text{ u}$$

$$M({}^{235}\text{U}) = 235 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

- Montrer qu'au cours de la réaction écrite, de la masse disparaît en calculant le « défaut de masse » Δm en « u » (unité de masse atomique) puis en « kg ».

$$\Delta m = m({}^{94}\text{Sr}) + m({}^{140}\text{Xe}) + m_n - m({}^{235}\text{U}) = -1,9833 \cdot 10^{-1} \text{ u}$$

il y a une perte de masse de $0,19833 \text{ u}$ soit $3,29 \cdot 10^{-28} \text{ kg}$ par fission.

- Ce défaut de masse correspond à l'énergie libérée au cours de la réaction. Calculer l'énergie libérée en J puis en MeV (Méga électron-Volt)

$$E = -1,9833 \cdot 10^{-1} \times 931 = -185 \text{ MeV} \text{ soit } -2,95 \cdot 10^{-11} \text{ J par réaction.}$$

b. Tep (Tonne équivalent pétrole) :

- Combien de noyaux d'uranium 235 y a-t-il dans un échantillon de masse $m = 1,00 \text{ g}$

$$N = \frac{m}{M({}^{235}\text{U})} \cdot N_A \quad \text{A.N. } N = \frac{1,00}{235} \times 6,02 \cdot 10^{23} = 2,56 \cdot 10^{21} \text{ noyaux}$$

- Quelle est l'énergie, en Joule, libérée par la fission de $1,00 \text{ g}$ d'uranium ?

$$E = 2,56 \cdot 10^{21} \times 2,95 \cdot 10^{-11} = 7,55 \cdot 10^{10} \text{ J}$$

- La combustion d'une tonne de pétrole libère en moyenne une énergie de $4,2 \times 10^{10} \text{ J}$. Combien de tonnes de pétrole faudrait-il utiliser pour obtenir la même quantité d'énergie ?

$$E' = \frac{7,55 \cdot 10^{10}}{4,2 \cdot 10^{10}} = 1,8 \text{ tep}$$

II. Réaction de fusion

1. Définition :

La fusion est une réaction nucléaire provoquée au cours de laquelle deux noyaux légers s'associent pour former un noyau plus lourd. La réaction se fait avec perte de masse et dégagement d'énergie.

2. Mécanisme de fusion de l'hydrogène dans une étoile :

Document : extrait d'article du dossier hors série de la revue « Pour la science » de janvier 2001 « ...La phase de **fusion** (ou combustion) de l'hydrogène est la plus longue de la vie des étoiles. Si la masse stellaire est comparable ou inférieure à celle du Soleil, la température centrale est inférieure à une **vingtaine de millions de degrés**. Dans ces conditions, la fusion de **deux noyaux d'hydrogène** (ou protons) produit un **noyau de Deutérium** qui capture un autre proton et forme un **noyau d'Hélium 3** ... Finalement, **deux noyaux d'Hélium 3** fusionnent en un **noyau d'Hélium 4** ...L'ensemble de ces réactions constitue la première des chaînes proton - proton ou chaîne p-p, la plus importante dans le cas du Soleil ...».

3. Le projet ITER : International Thermonuclear Experimental Reactor

Document : D'où peut bien provenir l'énergie du Soleil ?

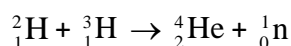
C'est seulement en 1920 que le voile est levé, par les Britanniques Francis William ASTON et Arthur EDDINGTON : les noyaux d'atomes d'hydrogène, le principal constituant solaire, se transforment en hélium en fusionnant. Une réaction qui libère une énergie faramineuse.

L'objectif du projet ITER est de démontrer la possibilité scientifique et technologique de la production d'énergie par la fusion des atomes.

La fusion contrôlée représente un défi scientifique et technologique majeur qui pourrait répondre au problème crucial de disposer, à plus ou moins long terme, de nouvelles ressources énergétiques. A côté de l'énergie de fission, l'énergie de fusion représente l'espoir d'avoir une source d'énergie propre et abondante au cours du XXI^e siècle. A l'heure où la raréfaction des énergies fossiles est prévue d'ici 50 ans, il est d'une importance vitale d'explorer le potentiel de toutes les autres sources d'énergie.

Le concept solaire de production d'énergie est basé sur une réaction dont la probabilité de se réaliser est extrêmement faible sur notre planète. Mais l'idée reste bonne ! Il "suffit" de remplacer l'hydrogène par des noyaux qui ont un maximum de chance de fusionner sur Terre, en l'occurrence, ceux de deutérium et de tritium, deux isotopes de l'hydrogène [...] en les chauffant à des températures très élevées, de l'ordre de 100 millions de degrés. »

C'est donc sur cette réaction que se concentrent les recherches concernant la fusion contrôlée.



Données :

	deutérium	tritium	hélium	neutron
Symbole	${}^2_1\text{H}$	${}^3_1\text{H}$	${}^4_2\text{He}$	${}^1_0\text{n}$
Masse du noyau en u	2,01355	3,01550	4,00150	1,00866

$$1\text{u} = 1,66054 \times 10^{-27} \text{ kg.}$$

$$1 \text{ MeV} = 1,602 \times 10^{-13} \text{ J}$$

$$N_A = 6,023 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}.$$

$$\text{célérité de la lumière dans le vide : } c = 2,998 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}.$$

- a. Calculer la variation de masse au cours de la réaction de fusion d'un noyau de deutérium et d'un noyau de tritium. Donner sa valeur en kilogramme et commenter son signe.

$$\Delta m = m({}_2^4\text{He}) + m_n - [m({}_1^2\text{H}) + m({}_1^3\text{H})] \approx -1,889 \cdot 10^{-27} \text{ u}$$

soit $1,889 \cdot 10^{-27} \times 1,66054 \cdot 10^{-27} = -3,137 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$

- b. Déterminer l'énergie produite par cette réaction de fusion, donner le résultat en MeV.

$$E = \Delta m \cdot c^2$$

$$E = -3,137 \cdot 10^{-29} \times (2,998 \cdot 10^8)^2 = -2,819 \cdot 10^{-12} \text{ J} \text{ soit } \frac{-2,819 \cdot 10^{-12}}{1,602 \cdot 10^{-13}} = -17,60 \text{ MeV}$$

- c. Vérifier que le nombre de noyaux présents dans 1,0 g de noyaux de deutérium est $3,0 \times 10^{23}$ noyaux.

$$N = \frac{m}{M({}_1^2\text{H})} \cdot N_A \text{ A.N. } N = \frac{1,0}{2,0} \times 6,023 \cdot 10^{23} = 3,0 \cdot 10^{23} \text{ noyaux}$$

- d. Vérifier qu'il en est de même dans 1,5 g de noyaux de tritium.

$$N = \frac{m}{M({}_1^3\text{H})} \cdot N_A \text{ A.N. } N = \frac{1,5}{3,0} \times 6,023 \cdot 10^{23} = 3,0 \cdot 10^{23} \text{ noyaux}$$

- e. En déduire l'énergie, en MeV puis en Joule, que l'on pourrait espérer obtenir si on réalisait la réaction de fusion de 1,0 g de noyaux de deutérium avec 1,5 g de noyaux de tritium dans le réacteur ITER.

Cette quantité mène à $3,0 \cdot 10^{23}$ réactions.

L'énergie libérée est donc $E_{tot} = 17,60 \times 3,0 \cdot 10^{23} = 5,3 \cdot 10^{24} \text{ MeV}$

ou bien : $E_{tot} = 2,819 \cdot 10^{-12} \times 3,0 \cdot 10^{23} = 8,5 \cdot 10^{11} \text{ J}$

- f. Quelle masse de pétrole produirait la même énergie ?

$$m = \frac{8,5 \cdot 10^{11}}{4,2 \cdot 10^{10}} = 20 \text{ tonnes}$$

A masse de « combustible » égale, on obtient plus de 10 fois plus d'énergie que pour la fission de l'uranium !

Et nous n'avons pas évoqué le fait que les gisements de deutérium et le tritium (eau) sont faciles à atteindre et sans limite...

Exercices Energie Réactions Nucléaires

Données : $1\text{MeV} = 1,6022 \cdot 10^{-13}\text{J}$ $1\text{u} = 1,66043 \cdot 10^{-27}\text{kg}$ $c = 2,9979 \cdot 10^8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
 $m_p = 1,007276\text{u}$ $m_n = 1,008665\text{u}$

1. Calculer une énergie de liaison par nucléon :

La représentation d'un noyau de Polonium 210 est ${}^{210}_{84}\text{Po}$. La masse de ce noyau est :

$$m({}^{210}_{84}\text{Po}) = 210,0482\text{u}$$

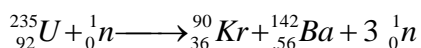
- Ecrire la réaction de destruction du noyau qui conduit à l'obtention de ses nucléons séparés au repos.
- Calculer en u la variation de masse Δm qui accompagne cette formation.
- Calculer en MeV l'énergie qui correspondrait à une perte de masse de 1u.
- En déduire la variation d'énergie en MeV nécessaire à la destruction de ce noyau. Justifier le terme « nécessaire ».
- Calculer l'énergie de liaison par nucléon du noyau ${}^{210}_{84}\text{Po}$.

2. Le plutonium 240 se désintègre selon l'équation : ${}^{239}_{94}\text{Pu} \longrightarrow {}^{236}_{92}\text{U} + {}^4_2\text{He}$

- S'agit-il d'une réaction provoquée ou spontanée ? Préciser son nom.
- Calculer la variation de masse Δm en kg qui accompagne cette réaction.
- En déduire l'énergie mise en jeu lors de cette réaction (en Joule). S'agit-il d'une réaction qui libère ou consomme de l'énergie ?
- Exprimer cette énergie en MeV.

Données : $m({}^{239}_{94}\text{Pu}) = 3,98524 \cdot 10^{-25}\text{kg}$ $m({}^{236}_{92}\text{U}) = 3,91879 \cdot 10^{-25}\text{kg}$ $m({}^4_2\text{He}) = 6,64449 \cdot 10^{-27}\text{kg}$

3. L'uranium 235 fissile se transforme sous l'effet de la collision d'un neutron lent selon la réaction :



- Calculer en u la variation de masse Δm qui accompagne cette transformation.
 - En déduire en MeV l'énergie E mise en jeu par cette transformation. Justifier qu'il s'agit d'une énergie libérée par le système.
- On considère 1kg d'uranium 235.
- Calculer en kilogramme la masse d'un noyau d'uranium 235.
 - Combien de noyaux d'uranium contient cet échantillon. Combien de réactions nucléaires cet échantillon peut-il générer ?
 - En déduire en MeV l'énergie $E_{1\text{kg}}$ libérée par la fission de 1kg d'uranium.
 - Convertir cette énergie en Joules.
 - Un réacteur nucléaire possède une puissance de 100MW. Quelle est la durée nécessaire pour consommer 1 kg d'uranium dans ce réacteur.

Données : $m({}^{235}_{92}\text{U}) = 235,043915\text{u}$ $m({}^{90}_{36}\text{Kr}) = 89,819720\text{u}$ $m({}^{142}_{56}\text{Ba}) = 141,916350\text{u}$
 $1\text{MW} = 1\text{MJ}\cdot\text{s}^{-1}$ (1MJ libéré en 1s)