

1 La fission

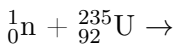
1.1 Principe

Entre 7,7 MeV/nucléon pour l'Uranium 235 et 8,7 MeV/nucléon pour les noyaux fils les plus stables, on peut récupérer MeV/nucléon.

Fission d'un noyau lourd :
..... d'énergie.

1.2 Sur un exemple

Voici l'exemple d'une réaction (formant deux fragments parmi tous ceux qui sont possibles). Complétez la réaction nucléaire ci-dessous, sachant que l'on produit du strontium 94, du xénon 139, trois neutrons et du rayonnement gamma (aide : utilisez le tableau périodique).



Le neutron incident a une énergie cinétique de 0,02 MeV (...keV). Plus rapide, il traverse, moins rapide, il rebondit !

Nous allons calculer l'énergie libérée. La méthode est générale.

• **Calcul de l'énergie initiale :**

$$E_{\text{initiale}} =$$

Il s'agit uniquement des énergies de masse des réactifs. On a négligé l'énergie cinétique du neutron incident, car sa valeur est négligeable par rapport aux énergies de masse au repos.

• **Calcul de l'énergie finale :**

$$E_{\text{finale}} =$$

Il s'agit des énergies de masse des produits, énergies auxquelles il faut ajouter l'énergie cinétique des neutrons émis, qui n'est plus négligeable : il s'agit de neutrons rapides ! On ne néglige pas non plus l'énergie du photon gamma émis ($E(\gamma) = \dots$), car cette particule transporte une grande valeur d'énergie.

Généralisation :

$$E_{\text{initiale}} =$$

$$E_{\text{finale}} =$$

• **Conservation de l'énergie :**

$$E_{\text{initiale}} = E_{\text{finale}}$$

On remplace :

.....

• **Calcul de l'énergie libérée**

Sous quelle forme est « perçue » l'énergie libérée à l'« extérieur » ? Utilisez les notations précédentes pour compléter :

— Élévation de la, ou agitation thermique (énergie cinétique microscopique) :

— Émission d'un rayonnement particulièrement dangereux :

Donc l'énergie libérée s'exprime par :

.....

Cette formule est logique : l'énergie libérée provient de la formule $E_0 = m \cdot c^2$, ou plus précisément de la petite partie de la masse initiale qui est détruite, et qui ne se retrouve pas dans la masse finale. Les produits sont plus légers que les réactifs.

• **Signe de l'énergie libérée**

Les produits sont plus légers que les réactifs, donc selon l'expression ci-dessus, l'énergie libérée a une valeur

Si l'on se place du point de vue du réacteur, il s'agit d'une énergie qui est

On adopte en physique la
 ou convention du banquier : on
 compte toute quantité d'énergie
 qui est perdue par le système.

.....

.....

.....

.....

• **Application numérique**

Formule littérale :

.....

Le calcul ne pose pas de problème, les données des masses des réactifs, des produits, et la célérité de la lumière seront des données du problème.

Néanmoins, on préfère réaliser l'application numérique d'une autre manière ! Pour cela, on calcule l'énergie de

masse au repos pour l'unité de masse atomique (rappel de la séance précédente) :

.....

.....

Une fois cette valeur précisée par l'énoncé, on a juste à trouver les valeurs des masses des nucléides, exprimées en unité de masse atomique (u. m. a.) :

Nucléide	²³⁵ U	⁹⁴ Sr	¹³⁹ Xe
Masse (u. m. a.)	235,2350	93,8945	138,8892

Les valeurs manquantes (neutrons...) ont été calculées dans la première partie de ce chapitre. Application numérique :

.....

.....

En déduire l'énergie libérée par nucléon et conclure.

.....

2 La fusion

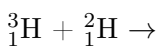
2.1 Principe

Aux environs de 3 MeV/nucléon pour l'hydrogène 2 (deutérium) et 7 MeV/nucléon pour l'hélium 4, on peut récupérer MeV/nucléon.

Fusion d'un noyau lourd : d'énergie.

2.2 Résolution d'un exemple

Voici l'exemple d'une réaction. Complétez la réaction nucléaire ci-dessous, sachant que l'on produit de l'hélium 4, un neutron et du rayonnement gamma (aide : utilisez le tableau périodique).



Une énergie cinétique de plusieurs centaines de keV est nécessaire pour vaincre la répulsion électrostatique entre les noyaux. Et un confinement est nécessaire !

Nous allons calculer l'énergie libérée sur cet exemple. La méthode est générale.

• **Énergie libérée**

.....

.....

• **Application numérique**

Nucléide	³ H	² H	⁴ He
Masse (u. m. a.)	3,01550	2,01355	4,00151

.....

En déduire l'énergie libérée par nucléon et conclure.

3 Correction des exercices du chapitre 10 (fin)

10.6 N° 13 p. 154 – Conversions en tout genre

1. L'activité \mathcal{A} d'une source est le nombre moyen de désintégrations par seconde.
2. L'activité s'exprime en becquerels, symbole Bq. 1 Bq correspond à 1 désintégration par seconde.
3. Pour déterminer l'activité des sources, on divise le nombre de désintégrations par le temps de comptage, exprimé en seconde.

— Homme de 70 kg :

$$\mathcal{A} = \frac{152}{1 \times 60} = 2,5 \text{ Bq}$$

— 1 kg de granit :

$$\mathcal{A} = \frac{503}{500 \times 10^{-3}} = 1,0 \times 10^3 \text{ Bq}$$

— 1 g de Radium :

$$\mathcal{A} = \frac{3,7 \times 10^{10}}{1} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

— 50 kg d'engrais phosphaté :

$$\mathcal{A} = \frac{29}{1 \times 3600} = 8,1 \times 10^{-3} \text{ Bq}$$

— 1 L de Lait :

$$\mathcal{A} = \frac{803}{10} = 80 \text{ Bq}$$

Classement de l'échantillon le plus radioactif à l'échantillon le moins radioactif (par ordre d'activité décroissante) : radium ; granit ; lait ; homme ; engrais.

10.7 N° 15 p. 154 – Activité du césium 137

1. La radioactivité est un phénomène aléatoire, spontané et inéluctable. Par conséquent, le nombre d'évènements ne peut pas être strictement identique d'une mesure à l'autre.

Remarque : on dispose du matériel pour réaliser ces mesures au lycée, mais ce TP a été interdit par la Préfecture, de peur qu'un élève avale la source radioactive !

2. Plus le nombre de mesures est important, plus on s'approche du comportement statistique, qui s'exprime par la loi des grands nombres. Donc plus les différences

aléatoires seront gommées, et plus le comportement moyen, caractéristique de la loi physique de désintégration, apparaît (il faut s'imaginer en train d'étudier le comportement typiquement aléatoire d'un dès lors d'un jeu : on ne saura si le dés est juste ou *pipé* que si on le lance un grand nombre de fois).

3. a. Il s'agit d'une moyenne *pondérée*, du même type que celle qui apparaît sur votre bulletin de notes trimestriel (la moyenne tient compte des coefficients du Bac, même en Première S!). Pour réaliser un tel calcul, on multiplie chaque nombre N de désintégrations par sa fréquence de comptage f , et on divise par la somme des fréquences, qui vaut normalement 120 (10 mesures par élève, 12 élèves, donc $12 \times 10 = 120$) :

$$\begin{aligned} \sum_i f_i &= 1 + 1 + 2 + 7 + 2 + 5 + 7 \\ &\quad + 8 + 11 + 10 + 17 + 15 + 9 \\ &\quad + 7 + 5 + 6 + 3 + 2 + 1 + 1 \\ &= 120 \quad \text{c. q. f. d.} \end{aligned}$$

Notons ce nombre de désintégrations moyen \bar{N} :

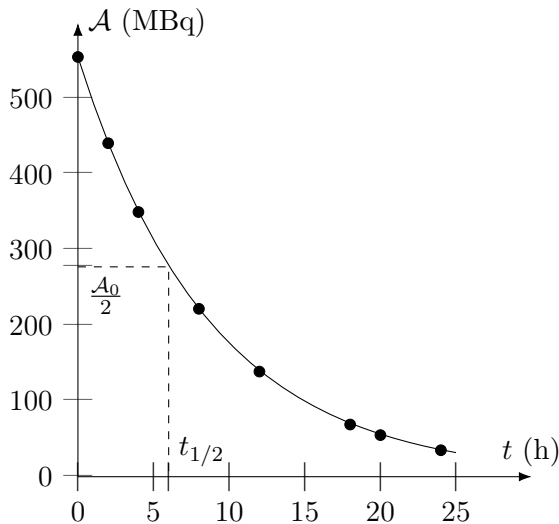
$$\begin{aligned} \bar{N} &= \frac{\sum_i f_i N_i}{\sum_i f_i} \\ &= \frac{1 \times 296 + 1 \times 298 + 2 \times 300 + 7 \times 301 \\ &\quad + 2 \times 302 + 5 \times 303 + 7 \times 304 \\ &\quad + 8 \times 305 + 11 \times 306 + 10 \times 307 \\ &\quad + 17 \times 308 + 15 \times 309 + 9 \times 310 \\ &\quad + 7 \times 311 + 5 \times 312 + 6 \times 313 \\ &\quad + 3 \times 314 + 2 \times 315 + 1 \times 316 \\ &\quad + 1 \times 317}{120} \end{aligned}$$

$$\bar{N} = \frac{36\,905}{120} = 308$$

En moyenne, l'échantillon étudié a une activité de 308 désintégrations lors de la durée de chaque comptage, de 5 secondes.

- b. L'activité d'une source est égale à son nombre de désintégration par seconde :

$$\mathcal{A} = \frac{308}{5} = 62 \text{ Bq}$$

10.8 N° 16 p. 154 – Scintigraphie osseuse1. Courbe $A = f(t)$:

L'activité diminue avec le temps, et de moins en moins (courbe dite exponentielle décroissante, qui sera vue en mathématiques en Terminale S).

2. Lecture graphique pour :

$$\frac{A_0}{2} = \frac{555}{2} = 277,5 \text{ MBq}$$

On trouve $t_{1/2} = 6 \text{ h}$.3. Au bout d'un jour, c'est-à-dire 24 heures, l'activité vaut $A_{24} = 35 \text{ MBq}$; l'activité initiale A_0 de l'échantillon injecté est donc divisée par un facteur :

$$\frac{A_0}{A_{24}} = \frac{555}{35} = 16$$

L'activité d'un traceur diminuant très rapidement au cours du temps, cela permet son usage médical.

10.9 N° 19 p. 155 – Authenticité d'un millésime

1. Isotopes issus de la radioactivité naturelle : carbone 14 et potassium 40.

Isotopes issus de la radioactivité artificielle : césium 137.

2. Activité du vin pour 75 cL :

$$A = \frac{42}{500} = 0,084 \text{ Bq}$$

L'activité est proportionnelle au volume du vin. Pour 1 L, on a donc :

$$A = \frac{0,084}{0,75} = 0,112 \text{ Bq} = 112 \text{ mBq},$$

valeur qui peut correspondre aux l'années 1953, 1973 ou 1987 sur le graphe (droite déjà tracée en rouge).

3. Le pic provient des essais nucléaires aériens.

10.10 N° 22 p. 156 – Le retour de la momie1. Une baisse de 40 % de la radioactivité de la momie signifie qu'il reste 60 % de cette radioactivité, donc 0,6 pour la courbe. Par lecture graphique, on trouve environ $t = 4500$ ans pour l'âge de la momie.

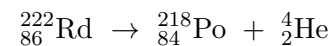
2. Il n'y a plus d'ingestion de matière carbonée, puisque les organismes n'absorbent plus de dioxyde de carbone (soit directement pour les végétaux, soit ultérieurement dans la chaîne alimentaire).

3. La proportion de carbone 14 est quasi-nulle à partir de 30 000 ans, donc on ne peut pas utiliser la datation au carbone 14 pour des fossiles trop anciens, comme ceux des dinosaures.

10.11 N° 23 p. 156 – Le radon des sous-sols

1. Il s'agit d'une radioactivité naturelle.

2. Réponse (c), car le radon perd deux protons et deux neutrons lors de sa désintégration :



C'est donc bien que le radon a un excès de protons et de neutrons.

3. ${}_{84}^{210}\text{Po}$.

4. La radioactivité est un phénomène aléatoire, spontané et inéluctable. Par conséquent, entre chaque mesure, le caractère aléatoire apparaît.

5. Moyenne sur l'ensemble des mesures : $A = 8,5 \text{ Bq}$.6. Avec $10 \text{ L} = 0,010 \text{ m}^3$, l'activité par mètre cube d'air est donc :

$$A = \frac{8,5}{0,010} = 850 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$$

Il faut aérer la cave car le seuil de précaution est dépassé.

4 Exercices du chapitre 11**11.1** N° 6 p. 282 – L'énergie des étoiles**11.2** N° 8 p. 283 – Le plutonium 241**11.3** N° 15 p. 284 – Fission de l'uranium**11.4** N° 20 p. 286 – Tritium**11.5** N° 22 p. 286 – Le cobalt 60**11.6** N° 23 p. 286 – Perte de masse du Soleil