

Serie N°3
La radioactivité

Exercice1

En consultant l'encyclopédie Universalis on constitue la carte d'identité du plutonium fournie ci-dessous :

Description : métal lourd artificiel

Isotopes : quinze isotopes dont plutonium 238, 239 et 241

Production : irradiation de l'uranium 238

Utilisation : plutonium 239 : composant de têtes nucléaires et de combustibles Mox ; plutonium 238 : source de neutrons et de chaleur

Radioactivité : émetteur de particules alpha et rayonnement gamma faible, sauf plutonium 241 émetteur bêta

Commentaire : plutonium 239 et 241 sont des matières fissiles...

Données : 1 MeV = 1,6022 · 10⁻¹³ J ;
1 u = 1,66043 · 10⁻²⁷ kg ;
c = 2,9979 · 10⁸ m · s⁻¹.

Extrait de la classification périodique :

| | | | | |
|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| ⁹² U | ⁹³ Np | ⁹⁴ Pu | ⁹⁵ Am | ⁹⁶ Cm |
| Uranium | Neptunium | Plutonium | Américium | Curium |

Masse atomique de quelques noyaux :

| | | | | |
|--------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| Noyau | ¹⁰² / ₄₂ Mo | ¹³⁵ / ₅₂ Te | ²³⁹ / ₉₄ Pu | ¹ / ₀ n |
| Masse (en u) | 101,9103 | 134,9167 | 239,0530 | 1,0089 |

1. À partir de la carte d'identité du plutonium, répondre aux questions suivantes.

Le numéro atomique de l'élément chimique plutonium étant Z = 94, donner la composition des noyaux de plutonium 238 et 239.

Définir l'isotopie.

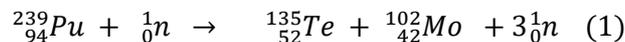
Quelle est la nature d'une « particule alpha » ?

En utilisant l'extrait de la classification périodique et en précisant les lois de conservation utilisées, écrire l'équation de la désintégration du noyau de plutonium 238 lorsque le noyau fils est émis dans un état excité.

Pourquoi y a-t-il émission d'un rayonnement gamma ?

De quelle réaction parle-t-on dans le commentaire de la carte d'identité ci-dessus ? La définir.

2. L'équation (1) de la réaction du plutonium 239 sous l'impact d'un neutron est :



Donner l'expression de la perte de masse du système au cours de cette réaction. Calculer sa valeur en kilogramme. Donner l'expression de l'énergie libérée par l'action d'un neutron sur un noyau de plutonium. Calculer sa valeur en MeV.

3. On donne les énergies de liaison des noyaux suivants :

| | | | |
|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Noyaux | ²³⁹ / ₉₄ Pu | ¹³⁵ / ₅₂ Te | ¹⁰² / ₄₂ Mo |
| Énergie de liaison (en MeV) | 1,79 · 10 ³ | 1,12 · 10 ³ | 8,64 · 10 ² |

À partir des énergies de liaison de ces trois noyaux, donner l'expression de l'énergie libérée lors de la réaction (1). Calculer cette énergie et comparer le résultat à la valeur trouvée en 2.2.

Calculer l'énergie de liaison par nucléon de chacun des noyaux. Comparer la stabilité de ces trois noyaux.

À l'aide de ces résultats, donner et justifier le bilan énergétique de la réaction (1).

Exercice 2

Où est passée l'antimatière ?

« Il est communément admis par les scientifiques que, juste après le Big Bang, l'énorme quantité d'énergie disponible dans notre Univers naissant s'est transformée en des quantités égales de matière et d'antimatière.

Particules et antiparticules étant de même masse mais de charges opposées auraient dû tout naturellement s'annihiler les unes aux autres, débouchant sur un univers rempli de rayonnement mais vide de matière.

Manifestement, l'Univers dans lequel nous vivons aujourd'hui est constitué de matière et aucun atome d'antimatière à l'état naturel n'a pu être découvert. Les antiparticules ne sont produites que lors d'interactions de particules cosmiques avec l'atmosphère terrestre. C'est ainsi qu'en 1933 ont été découverts les premiers positons (anti électrons de charge positive). La disparition de l'antimatière dans l'univers est donc une énigme (...) »

D'après Science revue n°36 nov/dec/janv 2009

Les parties 1, 2 et 3 sont indépendantes

1. L'antimatière au voisinage de la Terre

Les éruptions solaires peuvent créer des paires électron-positon. Celle de juillet 2002 a créé un demi-kilogramme d'antimatière, assez pour couvrir la consommation d'énergie d'un grand pays pendant plusieurs jours.

Données :

| Particules | électron | positon | neutron | proton |
|-------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Masse en kg | $9,109 \times 10^{-31}$ | $9,109 \times 10^{-31}$ | $1,674\ 92 \times 10^{-27}$ | $1,672\ 62 \times 10^{-27}$ |

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

$1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$

$1 \text{ W} \cdot \text{h} = 3600 \text{ J}$

Exploitation du texte :

Einstein a proposé une relation : $E = m \cdot c^2$. Nommer et donner l'unité des grandeurs apparaissant dans cette relation.

En s'appuyant sur cette relation, commenter la phrase en gras dans le texte.

Énergie créée lors de l'éruption solaire de juillet 2002 :

Écrire l'équation de la réaction nucléaire entre un électron et un positon sachant que cette réaction produit deux photons γ de masse nulle.

Calculer l'énergie libérée par la réaction entre un positon et un électron.

En déduire l'énergie créée lors de l'éruption solaire de juillet 2002 et la comparer à la consommation journalière moyenne d'énergie électrique française égale à $1200 \text{ GW} \cdot \text{h}$ en 2006.

2. La création d'éléments radioactifs artificiels

L'étude des réactions nucléaires réalisées en bombardant des éléments légers comme l'aluminium par des rayons alpha va conduire Irène et Frédéric Joliot-Curie à observer, au cours de ces réactions, l'émission de neutrons et de positons accompagnant la création d'un élément X qu'ils n'identifient pas tout d'abord.

Ils constatent ensuite que les neutrons et les positons ne sont pas émis simultanément et que la réaction observée se produit en deux temps. Les particules alpha éjectent d'abord des neutrons hors de l'élément léger. Dans le cas de l'aluminium, des noyaux de phosphore 30 (élément X) sont créés suivant l'équation :



Ensuite le phosphore 30 qui est radioactif se désintègre en émettant un positon et en se transformant en silicium (réaction 2).

D'après le site radioactivité.com

Données :

| | | | | |
|----------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| $_{12}\text{Mg}$ | $_{13}\text{Al}$ | $_{14}\text{Si}$ | $_{15}\text{P}$ | $_{16}\text{S}$ |
| Noyaux et particules | phosphore 30 | aluminium 27 | particule alpha | neutron |
| Masse en u | 29,970 1 | 26,974 4 | 4,001 50 | 1,008 66 |

- unité de masse atomique : $1 \text{ u} = 1,660 43 \times 10^{-27} \text{ kg}$

- énergie de l'unité de masse atomique : 1 u correspond à une énergie de 931,5 MeV

Étude de la réaction 1 :

Qu'appelle-t-on « particule alpha » ?

En appliquant les lois de conservation, écrire l'équation de la réaction 1 en utilisant les symboles des noyaux et des particules mis en jeu.

Donner l'expression de la variation d'énergie de la réaction (1).

Calculer sa valeur en MeV. Cette réaction provoque-t-elle une perte de masse ou un gain de masse ?

Étude de la réaction 2 :

En appliquant les lois de conservation, écrire l'équation de désintégration du phosphore 30 (réaction 2). De quel type de désintégration s'agit-il ?

Cette réaction est-elle spontanée ou provoquée ? Justifier sans calcul si cette réaction provoque une perte ou un gain de masse.

3. Décroissance radioactive du phosphore

À la date $t_0 = 0$, on arrête le bombardement des noyaux d'aluminium par les particules alpha. L'activité A_0 de l'échantillon de phosphore 30 est alors égale à $7,2 \times 10^{13} \text{ Bq}$.

À la date t_1 , l'activité A_1 de l'échantillon est égale à $9,0 \times 10^{12} \text{ Bq}$.

À un instant t , l'activité est notée $A(t)$.

Donnée : temps de demi-vie du phosphore 30, $t_{1/2} = 156 \text{ s}$.

Définir l'activité $A(t)$ d'un échantillon radioactif puis donner l'expression de la loi de décroissance radioactive pour l'activité, en expliquant la signification de chaque terme.

Définir le temps demi-vie $t_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln \lambda}{2}$, λ étant la constante de désintégration

Exprimer t_1 en fonction de A_0 , A_1 et $t_{1/2}$ et calculer sa valeur.

Montrer que l'on aurait pu trouver ce résultat facilement en calculant le rapport de A_0 sur A_1 .

