Laser megajoule

Bac S 2011 Inde (Pondichéry) (ancien programme) · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

3.1 Donner la nature de l'interaction évoquée par « les noyaux de même charge électrique […] qui naturellement se repoussent ».

Les noyaux de deutérium et de tritium portent tous deux une charge positive : ils se repoussent sous l'effet de l'interaction électrique (force de Coulomb).

Il s'agit de l'**interaction électrostatique**, ici répulsive.

PIÈGE
Répondre « interaction gravitationnelle » : elle est toujours attractive et négligeable à l'échelle des noyaux.

3.2 Rappeler la nature de l'interaction assurant la cohésion du noyau.

Dans un noyau, les protons se repoussent. Une interaction attractive, de très courte portée, s'exerce entre tous les nucléons (protons et neutrons) et l'emporte sur cette répulsion.

La cohésion du noyau est assurée par l'**interaction forte**.

3.3.1 Qu'est-ce qu'un noyau radioactif ?

Un noyau radioactif est un noyau **instable** : il se désintègre **spontanément** en un autre noyau, en émettant une particule (et souvent un rayonnement γ).

COMPRENDRE
Le sujet annonce que le deutérium est radioactif : en réalité ce noyau est stable, seul le tritium se désintègre. Cela ne change rien aux réponses attendues.

3.3.2 Donner la composition des noyaux de deutérium et de tritium. Comment nomme-t-on de tels noyaux ?

Données utiles deutérium ${}_1^2\mathrm{H}$; tritium ${}_1^3\mathrm{H}$

Un noyau ${}_Z^A\mathrm{X}$ contient Z protons et $A-Z$ neutrons.

Deutérium ${}_1^2\mathrm{H}$: 1 proton et $2-1=1$ neutron.

Tritium ${}_1^3\mathrm{H}$: 1 proton et $3-1=2$ neutrons.

Même nombre de protons ($Z=1$), nombres de neutrons différents : ce sont des **isotopes** (de l'hydrogène).

PIÈGE
Lire A comme le nombre de neutrons : A compte tous les nucléons.

3.3.3 Le tritium est radioactif β^-. Écrire l'équation de sa désintégration en rappelant les lois de conservation utilisées.

Une désintégration β^- émet un électron ${}_{-1}^0\mathrm{e}$: ${}_1^3\mathrm{H} \longrightarrow {}_Z^A\mathrm{X} + {}_{-1}^0\mathrm{e}$

Conservation du nombre de nucléons : $3 = A + 0$, donc $A = 3$.

Conservation de la charge électrique : $1 = Z - 1$, donc $Z = 2$: c'est l'élément hélium.

${}_1^3\mathrm{H} \longrightarrow {}_2^3\mathrm{He} + {}_{-1}^0\mathrm{e}$

PIÈGE
Écrire l'électron ${}_1^0\mathrm{e}$: ce serait un positon, donc une désintégration β^+.

COMPRENDRE
Dans le noyau, un neutron s'est transformé en proton : Z augmente de 1, A ne change pas. Un antineutrino est aussi émis ; il ne modifie ni A ni Z.

3.4 Le tritium a une demi-vie de 12 ans. Une source contient N noyaux à $t = 0$. Combien en contient-elle à $t = 6$ ans ?

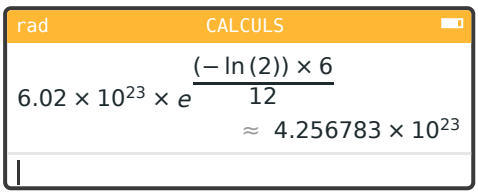
Données utiles $t_{1/2} = 12$ ans ; $N_0 = 6{,}02 \times 10^{23}$; $t = 6$ ans

Loi de décroissance radioactive : $N(t) = N_0\,\mathrm{e}^{-\lambda t}$ avec $\lambda = \dfrac{\ln 2}{t_{1/2}}$.

$$N(t) = N_0\,\mathrm{e}^{-\ln 2 \times \frac{t}{t_{1/2}}} = 6{,}02 \times 10^{23} \times \mathrm{e}^{-\ln 2 \times \frac{6}{12}}$$

$N(6\text{ ans}) = 4{,}3 \times 10^{23}$ noyaux

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
Répondre « la moitié de la durée, donc un quart des noyaux en moins ». La décroissance est exponentielle, pas linéaire : il reste $N_0/\sqrt{2}$, soit 71 %, et non 75 %.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la demi-vie (12 ans). Le rapport $t/t_{1/2}$ est sans unité : inutile de convertir les années en secondes.

3.5 À quel domaine des ondes électromagnétiques la radiation émise par les lasers appartient-elle ?

Données utiles $\lambda = 351$ nm

Le domaine visible s'étend, dans le vide, de 400 nm (violet) à 800 nm (rouge) environ. Ici $\lambda = 351\ \text{nm} < 400\ \text{nm}$.

La radiation appartient au domaine des **ultraviolets**.

3.6 Exprimer puis calculer la différence d'énergie ΔE de la transition à l'origine du rayonnement laser, en fonction de h, c et λ .

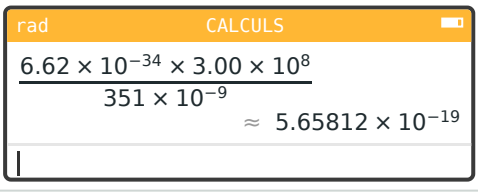
Données utiles $h = 6{,}62 \times 10^{-34}$ J·s ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $\lambda = 351$ nm

Le photon émis emporte l'énergie perdue lors de la transition : $\Delta E = h\,\nu$, avec $\nu = \dfrac{c}{\lambda}$.

$$\Delta E = \frac{h\,c}{\lambda} = \frac{6{,}62 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{351 \times 10^{-9}}$$

$\Delta E = 5{,}66 \times 10^{-19}$ J

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
Laisser λ en nanomètres : il faut 351×10^{-9} m pour obtenir des joules.

COMPRENDRE
Le fonctionnement du laser (émission stimulée) n'est plus au programme de spécialité ; la relation $\Delta E = hc/\lambda$ entre transition et photon l'est toujours.

3.7 Écrire l'équation de la réaction de fusion mise en œuvre dans la micro-bille.

D'après le texte, un noyau de deutérium et un noyau de tritium s'unissent en un noyau d'hélium, avec libération d'un neutron.

$${}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{3}_{1}\mathrm{H} \longrightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{1}_{0}\mathrm{n}$$

MÉTHODE
Vérifier les deux conservations : nucléons $2 + 3 = 4 + 1$; charge $1 + 1 = 2 + 0$.

3.8 Quelle masse M de tritium faut-il placer dans la micro-bille pour que les 0,40 mg de deutérium soient totalement consommés ?

Données utiles $m = 0{,}40$ mg ; $m(^2_1\mathrm{H}) = 2{,}01355$ u ; $m(^3_1\mathrm{H}) = 3{,}01355$ u

La fusion consomme un noyau de tritium pour un noyau de deutérium : il faut autant de noyaux de chaque sorte.

$$N(^3_1\mathrm{H}) = N(^2_1\mathrm{H}) \quad \text{soit} \quad \frac{M}{m(^3_1\mathrm{H})} = \frac{m}{m(^2_1\mathrm{H})}$$

$$M = m \times \frac{m(^3_1\mathrm{H})}{m(^2_1\mathrm{H})} = 0{,}40 \times \frac{3{,}01355}{2{,}01355}$$

$$\boxed{M = 0{,}60 \text{ mg}}$$

PIÈGE
Répondre $M = 0{,}40$ mg : ce sont les nombres de noyaux qui sont égaux, pas les masses, car un noyau de tritium est plus lourd.

MÉTHODE
Dans un rapport de masses, les unités se simplifient : on garde les masses des noyaux en u et le résultat sort dans l'unité de m.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{0.40 \times 3.01355}{2.01355} \approx 0.5986541$$

3.9 Exprimer l'énergie libérée par cette fusion en fonction des masses des noyaux et particules mis en jeu. La calculer en joule et en MeV.

Données utiles masses en u : $^2_1\mathrm{H}$ 2,01355 ; $^3_1\mathrm{H}$ 3,01355 ; $^4_2\mathrm{He}$ 4,00150 ; neutron 1,00866 ; $1 \text{ u} = 1{,}66054 \times 10^{-27}$ kg ; $c = 3{,}00 \times 10^8$ m · s^{-1} ; $1 \text{ eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}$ J

La masse des produits est inférieure à celle des réactifs ; la masse perdue est convertie en énergie :

$$E_{\text{lib}} = \left[m(^2_1\mathrm{H}) + m(^3_1\mathrm{H}) - m(^4_2\mathrm{He}) - m(^1_0\mathrm{n}) \right] c^2$$

Perte de masse : $2{,}01355 + 3{,}01355 - 4{,}00150 - 1{,}00866 = 0{,}01694$ u

$$E_{\text{lib}} = 0{,}01694 \times 1{,}66054 \times 10^{-27} \times (3{,}00 \times 10^8)^2 = 2{,}53 \times 10^{-12} \text{ J}$$

Comme $1 \text{ MeV} = 1{,}60 \times 10^{-13}$ J : $\quad E_{\text{lib}} = \dfrac{2{,}53 \times 10^{-12}}{1{,}60 \times 10^{-13}}$

$$\boxed{E_{\text{lib}} = 2{,}53 \times 10^{-12} \text{ J} = 15{,}8 \text{ MeV}}$$

PIÈGE
Arrondir les masses avant la soustraction : la perte de masse n'apparaît qu'à la troisième décimale. Convertir en kilogrammes avant de multiplier par c^2.

COMPRENDRE
Avec la convention « produits moins réactifs », on obtient $-2{,}53 \times 10^{-12}$ J : le signe moins indique que le système cède cette énergie. L'énergie libérée, reçue par l'extérieur, est positive.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$2.01355 + 3.01355 - 4.00150 - 1.00866 \approx 0.01694$$

$$0.01694 \times 1.66054 \times 10^{-27} \times (3.00 \times 10^8)^2 \approx 2.531659 \times 10^{-12}$$

$$\frac{2.53 \times 10^{-12}}{1.60 \times 10^{-13}} \approx 15.8125$$

3.10 Calculer, en joule, l'énergie libérée par la fusion impliquant 0,40 mg de deutérium.

Données utiles $m = 0{,}40$ mg ; $m(^2_1\mathrm{H}) = 2{,}01355$ u ; $1\ \mathrm{u} = 1{,}66054 \times 10^{-27}$ kg ; $E_{\mathrm{lib}} = 2{,}53 \times 10^{-12}$ J (3.9)

Nombre de noyaux de deutérium dans $m = 0{,}40\ \mathrm{mg} = 0{,}40 \times 10^{-6}$ kg :

$$N = \frac{m}{m(^2_1\mathrm{H})} = \frac{0{,}40 \times 10^{-6}}{2{,}01355 \times 1{,}66054 \times 10^{-27}} = 1{,}2 \times 10^{20}$$

Chaque noyau de deutérium consommé correspond à une fusion, qui libère E_{lib} :

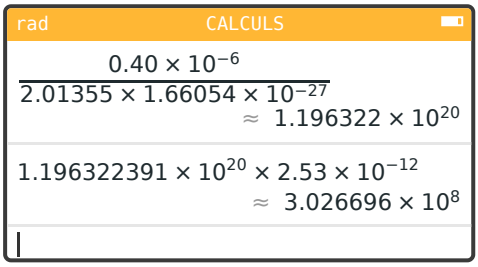
$$E = N \times E_{\mathrm{lib}} = 1{,}2 \times 10^{20} \times 2{,}53 \times 10^{-12}$$

$$\boxed{E = 3{,}0 \times 10^{8}\ \mathrm{J}}$$

PIÈGE
Convertir 0,40 mg en $0{,}40 \times 10^{-3}$ kg : un milligramme vaut 10^{-6} kg.

COMPRENDRE
Garder la valeur non arrondie de N dans la calculatrice pour le produit ; le résultat s'écrit avec deux chiffres significatifs, comme la masse 0,40 mg.

À LA CALCULATRICE



3.11 En tenant compte de l'énergie nécessaire au déclenchement de la fusion, justifier l'intérêt du procédé décrit dans le texte.

Données utiles énergie apportée par les lasers : 1,8 MJ ; $E = 3{,}0 \times 10^{8}$ J (3.10)

Les lasers fournissent $1{,}8\ \mathrm{MJ} = 1{,}8 \times 10^{6}$ J pour déclencher la fusion, qui libère $3{,}0 \times 10^{8}$ J, soit 300 MJ.

$$\frac{E}{E_{\mathrm{laser}}} = \frac{3{,}0 \times 10^{8}}{1{,}8 \times 10^{6}} \approx 1{,}7 \times 10^{2}$$

La fusion libère environ **170 fois plus** d'énergie que celle apportée par les lasers : le procédé est une source d'énergie très intéressante.

COMPRENDRE
Ce bilan suppose que tout le deutérium fusionne et ne compte que l'énergie des faisceaux, pas l'énergie électrique consommée pour les produire.

À LA CALCULATRICE

