

## Devoir N° 5 « Interactions fondamentales - Réactions nucléaires »

### Exercice N°1 « Cohésion de l'atome d'hydrogène »

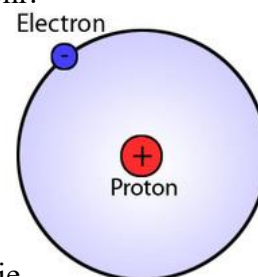
(6 points)

On se propose d'étudier les interactions au sein de l'atome d'hydrogène, dont un modèle planétaire a été proposé par Ernest Rutherford puis Niels Bohr en 1913 a introduit un nouveau concept, à savoir la quantification des niveaux d'énergie dans l'atome.

Données :

- Masse du proton :  $m_p = 1,67.10^{-27}$  kg
- Masse de l'électron :  $m_e = 9,11.10^{-31}$  kg
- Charge élémentaire :  $e = 1,60.10^{-19}$  C
- Constante de gravitation universelle :  $G = 6,67.10^{-11}$  N.m<sup>2</sup>.kg<sup>-2</sup>
- Distance proton-électron :  $d = 5,3.10^{-11}$  m
- Constante de Coulomb :  $k = 9,0.10^9$  N.m<sup>2</sup>.C<sup>-2</sup>

Sur le schéma ci-contre est représenté l'atome d'hydrogène selon le modèle de Bohr.



- 1°) Exprimer, puis calculer la force gravitationnelle  $F_g$  qui s'exerce entre le proton et l'électron.
- 2°) Exprimer, puis calculer la force électrostatique  $F_e$  qui s'exerce entre le proton et l'électron.
- 3°) En comparant la valeur de ces deux forces, préciser quelle interaction est responsable de la cohésion de l'atome d'hydrogène.
- 4°) Représenter sur le schéma cette force d'interaction, en précisant l'échelle choisie.
- 5°) Sachant qu'un noyau d'hélium est constitué de deux protons ; l'interaction citée à la question 2°) assure-t-elle toujours la cohésion de ce noyau ? Justifier et argumenter brièvement.

### Exercice N°2 « Le radon des sous-sols »

(7 points)

#### A. La radioactivité du radon

Les roches de l'écorce terrestre renferment de l'uranium 238 radioactif. Après plusieurs désintégrations successives, il se forme du radon 222 ( $^{222}_{86}\text{Rn}$ ). Ce radon s'échappe, à l'état gazeux, des roches. Il s'infiltre dans les fissures des fondations des bâtiments et s'accumule dans les locaux non ventilés. La désintégration du radon 222 donne du polonium 218 ( $^{218}_{84}\text{Po}$ ).

- 1°) Ecrire l'équation de désintégration du radon 222. Indiquer le nom de la particule formée et le type de radioactivité. Préciser les lois de conservations utilisées.
- 2°) En comparant les compositions du radon 222 et du polonium 218, trouver la bonne réponse parmi les propositions suivantes. Justifier.

La cause de la radioactivité du radon 222 est :

- a) un excès de protons par rapport aux neutrons
- b) un excès de neutrons par rapport aux protons
- c) un excès de protons et de neutrons

- 3°) Le polonium 218 a un isotope naturel (découvert par Pierre et Marie Curie) qui possède 8 nucléons de moins. Donner la représentation symbolique de cet isotope.

#### B. Radon et santé

Le radon est la deuxième cause de cancer du poumon après le tabac. La concentration en radon doit être surveillée en particulier dans les régions granitiques comme la Bretagne, où elle est élevée. Le seuil de précaution est de 400 Bq par m<sup>3</sup> d'air et le seuil d'alerte de 1 000 Bq par m<sup>3</sup>.

Un technicien a réalisé 10 mesures du nombre de désintégrations par seconde ( $A_n$ ) d'un même échantillon de 10 L d'air d'une cave bretonne.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$A_n$ (Bq)	5	8	9	10	12	8	14	8	12	4

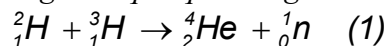
- 1°) Les mesures sont différentes. Proposer une explication.
- 2°) Déterminer l'activité moyenne  $A$  de cet échantillon.
- 3°) Déterminer l'activité moyenne par mètre cube d'air. Interpréter et conclure.

### **Exercice N°3 « Contrôler la fusion nucléaire »**

**(7 points)**

*Le 28 juin 2005, le site de Cadarache (dans les bouches du Rhône) a été retenu pour l'implantation du projet international de fusion nucléaire ITER.*

*La fusion de deux noyaux légers en un noyau plus lourd est un processus qui libère de l'énergie. C'est le cas lors de la formation d'un noyau « d'hélium 4 » à partir de la réaction entre le deutérium et le tritium. On récupère une quantité d'énergie de quelques mégaelectronvolts (MeV), suivant la réaction :*



*Des problèmes se posent si l'on cherche ainsi à récupérer cette énergie :*

- pour initier la réaction, les noyaux doivent avoir la possibilité de s'approcher l'un de l'autre à moins de  $10^{-14}$  m. Cela leur impose de vaincre la répulsion électrostatique. Pour ce faire, on porte la matière à une température de plus de 100 millions de degrés ;
- à la fin de la vie du réacteur de fusion, les matériaux constituant la structure du réacteur seront radioactifs. Toutefois, le choix d'éléments de structure conduisant à des produits radioactifs à temps de décroissance rapide permet de minimiser les quantités de déchets radioactifs. Cent ans après l'arrêt définitif du réacteur, la majorité voire la totalité des matériaux peut être considérée comme des déchets de très faible activité.

*D'après le livre « Le monde subatomique », de Luc Valentin et le site Internet du CEA.*

Données :

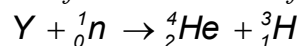
Noyau	${}^2_1\text{H}$	${}^3_1\text{H}$	${}^4_2\text{He}$	neutron	proton
Masse en kg	$3,344497 \cdot 10^{-27}$	$5,008271 \cdot 10^{-27}$	$6,646483 \cdot 10^{-27}$	$1,674927 \cdot 10^{-27}$	$1,672622 \cdot 10^{-27}$

*Célérité de la lumière dans le vide :  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$*

*Définition de l'électronvolt (eV) :  $1\text{eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$  donc  $1 \text{ MeV} = 1,60 \cdot 10^{-13} \text{ J}$*

*Extrait de la classification périodique : H (Z=1), He (Z=2), Li (Z=3), Be (Z=4), B (Z=5).*

*Les « combustibles » utilisés dans le réacteur de fusion ne nécessitent pas de transport de matière radioactive. En effet, le deutérium n'est pas radioactif. Le tritium est fabriqué sur site, à partir d'un élément Y non radioactif suivant la réaction :*



- 1°) Donner la composition et le symbole du noyau Y en justifiant.
- 2°) On considère la réaction de fusion traduite par l'équation (1) dans le texte. Donner l'expression littérale de l'énergie libérée par cette réaction en fonction des données de l'énoncé.

Calculer cette énergie en Joules puis en MeV.

3°) Ressources en deutérium

*On trouve le deutérium en abondance dans l'eau de mer. La ressource dans les océans est estimée à  $4,6 \times 10^{13}$  tonnes. La réaction (1) libère une énergie de 17,6 MeV.*

*On assimile la masse d'un atome de deutérium à la masse de son noyau.*

- a) Déterminer le nombre  $N$  de noyaux présents dans la masse  $m = 1,0$  kg de deutérium.
- b) En déduire l'énergie  $E$  libérée par une masse  $m = 1,0$  kg de deutérium.
- c) *La consommation annuelle énergétique mondiale actuelle est d'environ  $4 \times 10^{20} \text{ J}$ . On fait l'hypothèse simplificatrice selon laquelle le rendement d'une centrale à fusion est équivalent à celui d'une centrale nucléaire. Ceci revient à considérer que seule 33% de l'énergie libérée par la réaction de fusion est réellement convertie en électricité.*

Estimer en années, la durée  $\Delta t$  nécessaire pour épuiser la réserve de deutérium disponible dans les océans répondant à la consommation annuelle actuelle.