Centres étrangers 2005
Exercice n°1 L'HYDROGÈNE UN COMBUSTIBLE D'AVENIR ? (7 points)

PREMIÈRE PARTIE : LA FUSION NUCLÉAIRE CONTRÔLÉE

Depuis plusieurs années des recherches sont menées en Europe sur les réactions de fusion nucléaire contrôlées. Elles concernent principalement les isotopes de l'hydrogène : le deutérium et le tritium.

Le mélange réagissant doit être porté à très haute température, d'où l'expression énergie thermonucléaire désignant l'énergie libérée dans ce type de réactions.

À long terme, l'énergie thermonucléaire pourra remplacer l'énergie des centrales à fission actuelles.

Données

Particules	Neutron	Proton	Électron
Symbole	${}^{1}_{0}n$	${}^{1}_{1}p$ ou ${}^{1}_{1}H$	${}^{0}_{-1}e$
Masse en kg	$1{,}674\,929 \times 10^{-27}$	$1{,}672\,623 \times 10^{-27}$	$9{,}109\,390 \times 10^{-31}$
Masse en u	1,008 66	1,007 28	0,000 55

Noyaux	Hydrogène 1	Deutérium	Tritium	Hélium 3	Hélium 4
Symbole	${}^{1}_{1}H$	${}^{2}_{1}H$ ou ${}^{2}_{1}D$	${}^{3}_{1}H$	${}^{3}_{2}He$	${}^{4}_{2}He$
Masse en u	1,007 28	2,013 55	3,015 50	3,014 93	4,001 50

Unité de masse atomique	$u = 1{,}660\,54 \times 10^{-27}$ kg
Énergie de masse de l'unité de masse atomique	E = 931,5 MeV
Électronvolt	$1\ eV = 1{,}60 \times 10^{-19}$ J
Mégaélectronvolt	$1\ MeV = 1 \times 10^{6}$ eV
Vitesse de la lumière dans le vide	$c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m.s^{-1}

1. Éléments et noyaux :

On représente le noyau d'un atome X par le symbole ${}^{A}_{Z}X$

1.1. Que représentent les deux symboles A et Z ?

1.2. Par quoi diffèrent les isotopes d'un même élément chimique?

1.3. Donner la composition du noyau de deutérium.

1.4. Nommer un isotope du deutérium et donner la composition de son noyau.

2. Réactions nucléaires :

Actuellement les recherches sont menées sur un mélange deutérium – tritium ; plusieurs réactions nucléaires sont possibles.

Par exemple, avec 2 noyaux de deutérium, on peut avoir la réaction (1) : ${}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{2}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{A_1}_{Z_1}\mathrm{X}$ + neutron

ou la réaction (2) : ${}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{2}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{A_2}_{Z_2}\mathrm{X}$ + proton

Pour chacune de ces réactions (1) et (2), donner le nom et le symbole des noyaux formés : ${}^{A_1}_{Z_1}\mathrm{X}$ et ${}^{A_2}_{Z_2}\mathrm{X}$.

3. Conditions :

Pour qu'une réaction de fusion puisse se produire entre deux noyaux, il faut qu'ils soient très proches. Il faut donc vaincre leur répulsion coulombienne.

3.1. Expliquer l'expression «la répulsion coulombienne».

3.2. Quel est le signe de la charge électrique des noyaux de deutérium et de tritium?

4. Courbe d'Aston :

Au cours des chocs, les noyaux sont dissociés en nucléons séparés puis de nouveaux noyaux sont formés. Il faut donc fournir de l'énergie au noyau pour le dissocier. Cette énergie comptée positivement est au moins égale à l'énergie de liaison des noyaux. Plus le noyau contient de nucléons, plus l'énergie de liaison est importante.

4.1. Rappeler la définition de l'énergie de liaison E_L.

4.2. Calculer en mégaélectronvolt (MeV) l'énergie de liaison du noyau de tritium.

4.3. Pour comparer la stabilité des noyaux entre eux, on utilise l'énergie de liaison par nucléon. La courbe d'Aston donnée en **annexe 1** représente l'opposée de l'énergie de liaison par nucléon $(-\frac{E_L}{A})$ en fonction du nombre de nucléons A. Indiquer sur la courbe, par des hachures, la zone où l'on trouve les noyaux les plus stables.

4.4. Parmi les réactions de fusion possibles dans les « tokamaks », la réaction entre le deutérium et le tritium libère le plus d'énergie. La réaction (3) s'écrit: ${}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{3}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{1}_{0}\mathrm{n}$.

L'énergie de liaison par nucléon du noyau de tritium est d'environ 2,8 MeV.

4.4.1. Repérer sur la courbe la place du noyau de tritium.

4.4.2. Comparer à partir de la courbe d'Aston l'énergie de liaison par nucléon de ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$ aux énergies de liaison de ${}^{2}_{1}\mathrm{H}$ et ${}^{3}_{1}\mathrm{H}$. Dégager l'intérêt énergétique de la réaction (3).

5. Bilan énergétique :

Montrer que l'énergie libérée par la réaction (3) vaut 17,6 MeV.

DEUXIÈME PARTIE : L'ÉLECTROLYSE DE L'EAU

La production de dihydrogène en vue d'une utilisation énergétique semble avoir de l'avenir, que ce soit avec les piles à combustibles ou les moteurs à combustion interne.
Le dihydrogène peut être produit par électrolyse. L'objet de cet exercice est d'en étudier la production.

Dans l'industrie on utilise de l'eau pure afin d'éviter que des impuretés perturbent le fonctionnement de l'électrolyse. La cellule d'électrolyse (ou électrolyseur) est constituée de deux électrodes (cathode et anode) et d'un électrolyte ; un générateur de tension continue maintient une tension de l'ordre de 2 V permettant d'avoir une intensité du courant électrique de plusieurs kiloampères.
L'équation de la réaction qui a lieu est : $2\ H_2O_{(l)} = 2\ H_{2(g)} + O_{2(g)}$

1. Étude de l'électrolyse :

1.1. La réaction qui a lieu dans l'électrolyseur est-elle une réaction spontanée ? Justifier votre réponse.

1.2. Les couples d'oxydoréduction qui participent à l'électrolyse sont ° $O_{2(g)}$ / $H_2O_{(l)}$ et $H^+_{(aq)}$/ $H_{2(g)}$.
Écrire la demi-équation électronique correspondant à la formation du dihydrogène.

1.3. À quelle électrode se dégage le dihydrogène : cathode ou anode ? Justifier votre réponse.

1.4. À quel pôle du générateur cette électrode est-elle branchée?

2. Intensité du courant dans l'électrolyseur :

À l'instant $t_0 = 0$, on démarre l'électrolyse. On cherche à connaître l'intensité I du courant qui circule dans l'électrolyseur et qui permet d'avoir une production horaire de dihydrogène de 5 m^3.

À un instant t, la valeur absolue de la charge électrique Q transportée dans l'électrolyseur est donnée par la relation $Q = I\,\Delta t$ avec $\Delta t = (t - t_0)$.

2.1. On considère la demi-équation électronique correspondant à la formation du dihydrogène. On appelle *x* l'avancement à l'instant *t* de la formation du dihydrogène. Donner la relation entre la quantité de matière de dihydrogène formée $n(H_2)$ et l'avancement *x*.

2.2. Donner la relation entre la quantité d'électrons mise en jeu n_e et l'avancement *x* à l'instant t.

2.3. Donner l'expression de la valeur absolue de la charge électrique Q à l'instant t, en fonction de l'avancement *x*.

2.4. En utilisant les relations précédentes, montrer que l'intensité I du courant qui a circulé dans l'électrolyseur pour produire la quantité de matière de dihydrogène $n(H_2)$ est: $I = \dfrac{2F.n(H_2)}{\Delta t}$
Avec F, le faraday, représentant la charge électrique transportée par une mole d'électrons.

2.5. On rappelle que la quantité de matière d'un gaz est proportionnelle au volume occupé par le gaz:

$$n(H_2) = \frac{V(H_2)}{V_{molaire}}$$

Calculer la valeur de l'intensité I du courant qui circule dans l'électrolyseur quand le débit horaire de dihydrogène est de 5 m^3.

Données : Dans les conditions de l'électrolyse : $V_{molaire} = 25\ L.mol^{-1}$; $F = 9{,}65 \times 10^4\ C.mol^{-1}$.

ANNEXE 1 à rendre avec la copie

