Pondichéry 2010 — Exercice 1 : Le polonium 210 — (6 points)

A propos du polonium 210, on peut trouver dans l'encyclopédie WIKIPEDIA le texte suivant :
« C'est le premier élément découvert par Pierre et Marie Curie en 1889 dans leurs recherches sur la radioactivité [...]. Ce n'est que plus tard qu'ils découvrirent le radium. Le mot polonium a été choisi en hommage aux origines polonaises de Marie Sklodowska-Curie.

[...] C'est un émetteur de rayonnement alpha. Le ^{210}Po a une demi-vie de 138 jours.

[...] Il se désintègre en émettant des particules alpha dont l'énergie est de 5,3 millions d'électrons volts.

[,..] L'exposition aux rayonnements ionisants augmente le risque de cancer, d'anomalies génétiques, et pourrait avoir de nombreuses conséquences sanitaires autres que les cancers.

Le polonium 210 présente une forte activité [...].

Un seul gramme de polonium 210 présente une activité de 166 000 milliards de becquerels et par conséquent émet 166 000 milliards de particules alpha par seconde. »

Données :

Quelques éléments : $_{81}$Tl ; $_{82}$Pb ; $_{83}$Bi ; $_{85}$At ; $_{86}$Rn

Masses de quelques noyaux ou particules: $m(^{9}_{4}Be) = 9{,}00998$ u ; $m(^{4}_{2}He) = 4{,}00151$ u ; $m(^{12}_{6}C) = 11{,}99671$ u ; $m(^{1}_{0}n) = 1{,}00866$ u.

Masse molaire atomique : $M(^{210}Po) = 210$ g.mol^{-1}

Quelques constantes et unités :
Célérité de la lumière dans le vide : $c = 2{,}99792 \times 10^{8}$ m.s^{-1}
Nombre d'Avogadro : $N_A = 6{,}022 \times 10^{23}$ mol^{-1}
Unité de masse atomique : 1 u $= 1{,}6605 \times 10^{-27}$ kg

1 Indiquer la composition d'un noyau de polonium 210 ($^{210}_{84}$Po).

2 Écrire l'équation de désintégration d'un noyau $^{210}_{84}$Po en précisant les lois de conservation utilisées (on supposera que le noyau fils formé est à l'état fondamental).

3 L'élément polonium possède entre autres isotopes le noyau de $^{210}_{84}$Po.
Définir la notion des noyaux isotopiques.

4 Définir le temps de demi-vie, $t_{1/2}$, d'un noyau radioactif.

5

5.1 Énoncer la loi de décroissance radioactive, en précisant la signification de chacun des termes.

5.2 Sachant que l'activité *A(t)* d'une source radioactive vérifie $A(t) = -\frac{dN(t)}{dt}$, montrer que l'activité *A(t)* d'une source radioactive est proportionnelle au nombre *N(t)* de noyaux radioactifs présents dans cette source.

5.3 Écrire la relation entre la constante radioactive et le temps de demi-vie puis calculer la valeur de la constante radioactive en s^{-1} du $^{210}_{84}$Po.

6

6.1 Calculer le nombre N de noyaux présents dans une masse m = 1,00 g de polonium 210.

6.2 Justifier, par un calcul, la phrase « un seul gramme de polonium 210 présente une activité de 166 000 milliards de becquerels ».

7 Le polonium 210 est l'un des produits issus des désintégrations successives de l'uranium 238 lesquelles conduisent à l'isotope stable $^{206}_{82}Pb$ du plomb.

Ces désintégrations sont de type α et β^-.

On peut assimiler l'ensemble à une réaction unique :

$$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{206}_{82}Pb + x\ {}^{4}_{2}He + y\ {}^{0}_{-1}e$$ où x et y sont des entiers.

Déterminer le nombre x de désintégrations α et le nombre y de désintégrations β^-.

Pour effectuer ce calcul, la connaissance de l'ordre des désintégrations n'est pas nécessaire.

8 Émetteur α, le polonium a de nombreuses utilisations.

Il a été employé comme source de rayonnement α par Irène et Frédéric Joliot-Curie dans les expériences qui ont conduit à la découverte de la radioactivité artificielle en 1934.

Associé au béryllium, il constitue une source de neutrons produits par la réaction nucléaire :

$$^{9}_{4}Be + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{12}_{6}C + {}^{1}_{0}n$$

8.1 Exprimer l'énergie de cette réaction, E, à partir des données.

8.2 Calculer sa valeur en joules.

8.3 Commenter le signe de la valeur obtenue pour E.