Physique particulaire

Maxime Muller

May 13, 2025

Contents

Chapter 1

Radioactivité

1.1 la radioactivité

1.1.1 Définitions

Definition 1.1.1 (Radioactivité)**.** La radioactivité fut découverte en 1896 par Henri Becquerel lors de ses travaux sur la phosphorescence. La radioactivité est la transformaytion spontannée de noyaux atomiques instables en d'autres atomes en émettant simultanément des particules de matière et de l'énergie.

Le noyaux de l'atome est le siège de plusieurs interactions qui assure la cohésion des particules qui le constitue. Sous l'action de ses interactions, certains noyaux sont stables et d'autres ne le sont pas. Il existe près de 2000 noyaux d'atomes dont seulement 279 sont stables.

Le diagramme (Z,N) référence l'ensemble des noyaux connus (voir doc 5 p.253)

- Pour Z $\leq$ 20, les noyaux stable se situent sur la bissectrice $Z = N$
- Pour Z>20, l'ensemble des noyaux stables se situent au dessus de la droite $Z = N$, donc d'avantage de neutrons que de protons.
- Pour Z>83, il n'existe pas de noyaux stables.

1.1.2 Lois de conservation

Theorem 1.1.1 (Conservation)**.** Au cours d'une réaction nucléaire, il y a conservation :

- Du nombre de charge
- Du nombre de masse

Activité 2p.149

1. Les isotopes stable du plomb sont : $^{208}_{82}Pb,^{207}_{82}Pb,^{206}_{82}Pb$. L'élément manquant est : $^{209}_{82}Pb$.
2. Voici les écritures des particules émises par la radioactivité $\alpha =^4_2 He, \beta^+ =^0_1 e, \beta^- =^0_{-1} e$
3. On a : $^{211}_{84}\mathrm{Po} = {}^{207}_{82}\mathrm{Pb} + {}^4_2\mathrm{He},\ {}^{207}_{83}\mathrm{Bi} = {}^{207}_{82}\mathrm{Pb} + {}^0_1\mathrm{e},$ et ${}^{207}_{81}\mathrm{Tl} = {}^{207}_{82}\mathrm{Pb} + {}^{\ 0}_{-1}\mathrm{e}$
4. La chaine de désintégrations se produisant à partir du plomb 210 est la suivante. Le plomb 210 émet une particule β^- et devient du bismuth 210. Celui-ci émet aussi une particule β^- et devient un Polonium 210. Celui-ci émet une particule α et devient un plomb 206 : $^{210}_{82}\mathrm{Pb} \rightarrow {}^{206}_{82}\mathrm{Pb} + {}^4_2\mathrm{He} + 2\,{}^{\ 0}_{-1}\mathrm{e}$

1.1.3 Différents types de radioactivité

Definition 1.1.2 (Désintégration α). Les noyaux lourds subissent un désintégration α. Ils se désintègre en émétant un noyaux d'hélium :

$$^{\mathrm{A}}_{\mathrm{Z}}\mathrm{X} \rightarrow {}^{\mathrm{A}-2}_{\mathrm{Z}-2}\mathrm{Y} + {}^{4}_{2}\alpha$$

Definition 1.1.3 (Désintégration β^-). Elle concerne les noyaux instables situés dans la zone rouge du document 5 p. 153. Ils contiennent trop de neutrons.

$$^{\mathrm{A}}_{\mathrm{Z}}\mathrm{X} \rightarrow {}_{\mathrm{Z}+1}{}^{\mathrm{A}}\mathrm{Y} + {}_{-1}{}^{0}\mathrm{e}$$

Dans le noyau, un neutron c'est transformé en un proton et un électron.

Definition 1.1.4 (Désintégration β^+). Elle concerne les noyaux instables situés dans la zone bleu du document 5 p. 153. Ils contiennent trop de protons.

$$^{\mathrm{A}}_{\mathrm{Z}}\mathrm{X} \rightarrow {}_{\mathrm{Z}-1}{}^{\mathrm{A}}\mathrm{Y} + {}^{0}_{1}\mathrm{e}$$

Dans le noyau, un proton c'est transformé en un neutron et un positron.

Definition 1.1.5 (Désexcitation γ). Les noyaux issus de réactions de désintégration sont en général obtenu dans un état excité. Le retour a l'état fondamental s'accompagne de l'émission d'un rayonnement γ de très courte longueur d'onde et très pénétrante.

1.1.4 Bilan

1.2 Loi de décroissance radioactive

Definition 1.2.1 (Activité d'un échantillon radioactif). L'activité d'un échantillon est égale au nombre de désintégration qui se produisent par unité de temps dans cet échantillon :

$$A(t) = -\frac{dN(t)}{dt}$$

Avec $A(t)$ l'activité en becquerel (1Bq = 1 désintégrations par seconde), et $N(t)$ le nombre de noyaux radioactifs à l'instant t.

Definition 1.2.2 (Constante radioactive). L'activité d'un échantillon est proportionel au nombres de noyaux qu'il contient et dépend également du type de noyau.

$$A(t) = \lambda N(t) \text{ avec } \lambda \text{ la constante radioactive en s}^{-1}$$

1.2.1 Décroissance exponentielle

On aboutit à l'équation différentielle suivante :

$$\frac{d}{dt}\left[N(t)\right] + \lambda N(t) = 0$$

La solution générale est : $N(t) = \mu e^{-\lambda t}$. En notant la condition initale $N(t = 0) = N_0$, on obtient :

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

1.2.2 Temps de demi vie radioactive

Definition 1.2.3 (Temps de demi vie radioactive). C'est la durée nécessaire pour que la moitié des noyaux radioactifs initialement présents se soient désintégrés (doc 12 et 13 p. 156)

On a donc :

$$\begin{aligned} \frac{N_0}{2} &= N_0 e^{-\lambda t_{\frac{1}{2}}} \\ -\ln 2 &= -\lambda t_{\frac{1}{2}} \\ t_{\frac{1}{2}} &= \frac{\ln 2}{\lambda} \end{aligned}$$

1.3 Méthodes de datation

1.3.1 Activité 4p. 151

1. On a : ${}^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow {}^{14}_{6}\mathrm{C} + {}^{1}_{1}\mathrm{H}$ et ${}^{14}_{6}\mathrm{C} \rightarrow {}^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}$
2. (a) Dans un être vivant, il y a 13,56 désintégrations par minute. L'activité A_0 est donc de $0,226$ Bq.
   (b) $N(t) = \frac{A(t)}{\lambda} = \frac{A(t)t_{\frac{1}{2}}}{\ln 2}$. D'ou $N(t=0) = 5,9 \cdot 10^{10}$.
   (c) $M(\mathrm{C}) = 12,0\mathrm{g} \cdot \mathrm{mol}^{-1}$. D'où pour $m = 1,0$g, on a : $N = 8,33 \cdot 10^{-1}\mathrm{mol} = 5,0 \cdot 10^{22}$ entités. Ainsi, la proportion d'atomes de ${}^{14}\mathrm{C}$ est de : $\eta = 1,176 \cdot 10^{-12}$
3. Avec la formule $A(t) = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$, on trouve : $t = \frac{\ln A_0 - \ln A(t)}{\lambda}$. On calcul donc les temps de vie t_1, t_2, t_3 :
   - $t_1 = \frac{\ln A_0 - \ln A_1}{\lambda} = 489$ans, 1520
   - $t_2 = \frac{\ln A_0 - \ln A_2}{\lambda} = 7987$ans, 2010-7987 = -5977
   - $t_3 = \frac{\ln A_0 - \ln A_3}{\lambda} = 1927$ans, 2010-1927 = 83
   - $t_4 = \frac{\ln A_0 - \ln A_4}{\lambda} = 46970$ans 2010-46970 = -44960.

1.4 Radioprotection

L'ensemble des particules ainsi que les photons constituent les rayonnements ionisants (voir doc 17p. 157). La dose efficace de l'exposition au rayonnement ionisant se mesure en Sievert (Sv). Il convient donc de se protéger contre ces rayonnements.