

La physique nucléaire

La loi de désintégration radioactive

Un phénomène aléatoire

- La désintégration radioactive est un phénomène aléatoire: chaque désintégration est un événement indépendant et l'on ne peut pas prévoir à quel moment un noyau instable donné va subir une désintégration.

La demi-vie

- On appelle demi-vie le temps $T_{1/2}$ au bout duquel le nombre de noyaux de départ a chuté de 50%.

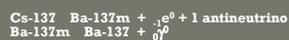
$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$\ln\left[\frac{1}{2}N_0\right] = \ln N_0 - \lambda T_{1/2}$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

LA DEMI-VIE DU BARYUM 137

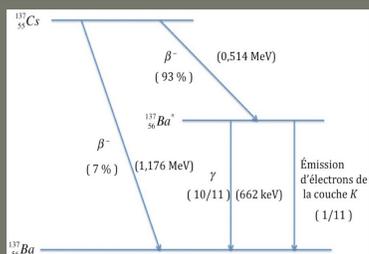
La réaction mise en jeu



Le césium 137 utilisé ici a une demi-vie d'environ trente ans. Il se transforme en baryum 137. Cette transformation se fait suivant deux voies différentes :

- 7 % des noyaux : émission d'une particule bêta d'énergie maximum 1,18 MeV.
- 93 % des noyaux : émission d'une particule bêta d'énergie maximum 0,51 MeV. Dix fois sur onze, cette particule bêta est accompagnée de l'émission d'un rayonnement gamma de 662 keV d'énergie. Une fois sur onze, l'émission du gamma est remplacée par celle d'un électron (dit « *electron de conversion* ») de 625 keV, issu du cortège électronique de l'atome.

Diagramme

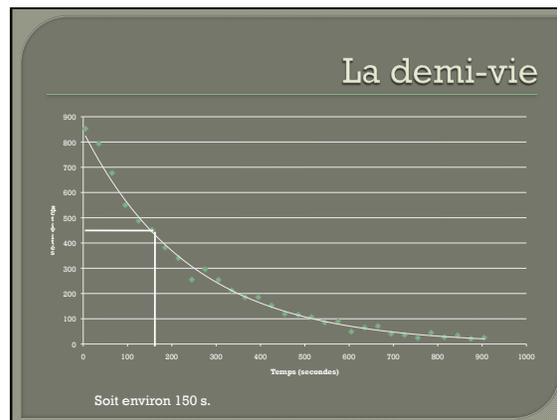
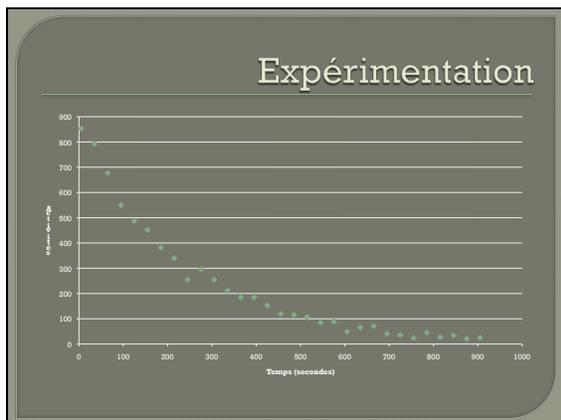


Taux de désintégration

- Puisque le nombre d'atomes n'est pas directement mesurable, on mesure le taux de désintégration

$$R = \left| \frac{dN}{dt} \right| = N_0 \lambda e^{-\lambda t} = R_0 e^{-\lambda t}$$

- Où, R , est appelé « *activité de l'échantillon* »
- L'activité de l'échantillon décroît exponentiellement avec le temps.



Exercice 19

- La demi-vie du ^{222}Ra est de 3,82 jours. Si le taux initial est de 320 Bq dans un échantillon, combien reste-t-il de noyaux de radon au bout de 1 jour ?

Exercice 19 (suite)

- Calcul de la constante de désintégration λ

$$\lambda = \frac{0,693}{T_{1/2}} = \frac{0,693}{3,82 \text{ jours} \times 86\,400 \text{ s / jour}} = 2,10 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$$
- Calcul de N_0 :

$$R_0 = \lambda \times N_0 = 2,10 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1} \times N_0 = 320 \text{ Bq}$$
 Soit $N_0 = \frac{320 \text{ d/s}}{2,10 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}} = 1,524 \times 10^8$ atomes
- Calcul du nombre d'atomes au bout de 1 jour:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} = 1,524 \times 10^8 \text{ atomes} \times e^{-2,10 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1} \times 86\,400 \text{ s}}$$
 Soit: $1,27 \times 10^8$ atomes

Valeur typique de demi-vie, $T_{1/2}$

Isotope	Demi-vie	Processus
Polonium $^{214}_{84}\text{P}$	$1,64 \times 10^{-4}$ s	α, γ
Krypton $^{86}_{36}\text{Kr}$	3,16 minutes	β, γ
Strontium $^{90}_{38}\text{Sr}$	28,5 années	β^-
Radium $^{226}_{88}\text{Ra}$	1600 années	α, γ
Carbone $^{14}_6\text{C}$	5730 années	β^-
Uranium $^{238}_{92}\text{U}$	$4,5 \times 10^9$ années	α, γ

La datation radioactive

- Les organismes vivants échangent du CO_2 avec l'environnement de sorte que le rapport des isotopes $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ dans les organismes vivants est le même que celui de notre atmosphère ($1,3 \times 10^{-12}$). Lorsqu'il meurt, l'organisme cesse d'échanger avec l'environnement et la quantité relative de ^{14}C diminue par désintégration (demi-vie de 5730 a). En déterminant la quantité de carbone contenue dans un échantillon et en mesurant son activité, on peut déterminer à quel moment l'organisme en question est mort.

La datation radioactive

La datation radioactive se fait avec le rapport d'abondance:

$$^{14}\text{C}/^{12}\text{C} = 1,3 \times 10^{-12}$$

La demi-vie du ^{14}C est de 5730 années

Méthode proposée

1. Déterminer le nombre d'atomes de ^{12}C dans l'échantillon;
2. Calculer le nombre d'atomes de ^{14}C (à partir du rapport d'abondance);
3. Calculer le taux de désintégration initial: $R_0 = \lambda N_0$;
4. Connaître le nombre de désintégrations actuelles (R est connu);
5. Calculer le temps t , avec: $R/R_0 = e^{-\lambda t}$

Exemple 1

On trouve un morceau de charbon de bois duquel on prélève un échantillon de 30 grammes. L'activité radioactive attribuable à la présence de ^{14}C dans l'échantillon est mesurée : 400 désintégrations /minute. Depuis combien de temps l'arbre dont origine ce charbon est-il mort ?

Calcul du nombre d'atomes de ^{12}C $1,51 \times 10^{24}$ atomes

Calcul du nombre de ^{14}C $1,96 \times 10^{12}$ atomes

Calcul de R_0 451 dés/min

Calcul de t (en années) 989 années

Exemple 2: Ötzi (Osbourne ??): l'homme des glaces



En septembre 1991, un touriste découvre Ötzi dans les Alpes Italiennes. Une activité 0,121 Bq pour 1 gramme de carbone a été mesuré.

En utilisant la loi de la désintégration radioactive, on peut estimer son âge:



Réponse: $t = 6\ 000$ années!!!

Exemple 2: De quoi est-il mort?!



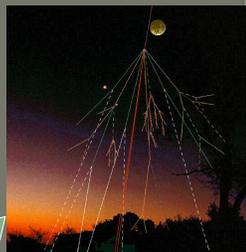
Il a également été montré que ce chasseur n'était pas mort de faim (son tube digestif comportant des restes de farines et de cerf), ni d'un accident ou d'une chute. En juillet 2001, des scientifiques autrichiens ont trouvé une blessure dans l'épaule gauche d'Ötzi, infligée par une pointe de flèche. L'étude de la blessure montre qu'elle a dû atteindre l'artère irriguant le bras, et que Ötzi a dû se vider de son sang très rapidement. L'état de ses ongles (présence de stries témoigne d'un arrêt, puis d'une reprise de croissance) laisse également à penser qu'il a été malade quelques jours ou semaines avant de mourir.

La radioactivité naturelle

Radon gaz $^{222}_{86}\text{Rn}$

Le radon est un gaz radioactif inodore, incolore d'origine naturelle. Il provient de la désintégration de l'uranium et du radium présents dans la croûte terrestre. Il est présent dans tous les sols et les roches, ainsi que dans la plupart des matériaux de construction.

- La radioactivité résulte également du bombardement du globe terrestre par des particules de haute énergie en provenance de l'espace : les **rayons cosmiques**.



La radioactivité naturelle

• Le corps humain

- Le corps humain contient environ 20 milligrammes de potassium 40, un élément radioactif *bêta* naturel.
- Ainsi, un corps humain produit environ **340 millions de désintégrations bêta** par jour, naturellement !

Rayonnements ionisants

l'exposition humaine d'origine naturelle

Radioactivité de différents milieux naturels

Eau de pluie	0,3 à 1 Bq/l
Eau de rivière	0,07 Bq/l (^{226}Ra et descendants) 0,07 Bq/l (^{40}K) 11 Bq/l (^3H)
Eau de mer	14 Bq/l (^{40}K essentiellement)
Eau minérale	1 à 2 Bq/l (^{226}Ra , ^{222}Rn)
Lait	60 Bq/l
Sol sédimentaire	400 Bq/kg
Sol granitique	8000 Bq/kg
Corps humain	12000 Bq (6000 dus au ^{40}K)

Travail personnel

- Faire les exemples 12.4, 12.5 et 12.6
- Répondre aux questions: 4, 15, 16, 17, 19 et 20
- Faire les exercices 19, 25, 27 et 39.
- Aucun problème