

hichembenaich@gmail.com

Proposée par Benaich Hichem

SERIE DE PHYSIQUE N° 10

Radioactivité

RAPPEL DU COURS

I/ Le noyau atomique:

1°) Equivalence masse-énergie:

Soit la transformation $X + Y \longrightarrow Z + T$

$$\text{1}^{\text{er}} \text{ cas : } \underbrace{(m_X + m_Y)}_{m_i} > \underbrace{(m_Z + m_T)}_{m_f}$$

$m \searrow \Rightarrow$ masse $\longrightarrow$ énergie **libérée**

$$\text{2}^{\text{ème}} \text{ cas : } \underbrace{(m_X + m_Y)}_{m_i} < \underbrace{(m_Z + m_T)}_{m_f}$$

$m \nearrow \Rightarrow$ énergie **consommée** $\longrightarrow$ masse

Dans les deux cas, l'énergie mise en jeu est W tel que :

$$|W| = |\Delta m| \cdot c^2 = |m_i - m_f| \cdot c^2 = |m_f - m_i| \cdot c^2$$

↑
défaut de masse

2°) Energie de liaison:

C'est l'énergie qu'il faut fournir à un noyau au repos pour séparer ses différents nucléons. Elle est donnée par :

$$E_l = [Z m_p + (A - Z) m_n - m_X] \cdot c^2$$

3°) Energie de liaison par nucléon:

$$E = \frac{E_l}{A} = \frac{[Z m_p + (A - Z) m_n - m_X] \cdot c^2}{A}$$

De deux noyaux, celui qui a l'énergie de liaison par nucléon la plus grande est le plus stable.

II/ Réactions nucléaires spontanées:

1°) Lois de conservation :

Lors de toute désintégration nucléaire, il y'a :

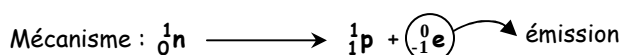
- * Conservation du nombre total de charges Z .
- * Conservation du nombre total de masses A .
- * Conservation de l'énergie.

2°) Equations des réactions nucléaires spontanées :

a) La radioactivité α :



b) La radioactivité β^- :



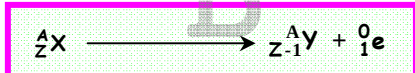
hichembenaich@gmail.com

Proposée par Benaïch Hichem

SÉRIE DE PHYSIQUE N° 10

Radioactivité

c) La radioactivité β^+ :



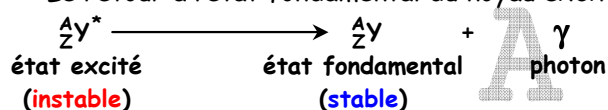
Mécanisme : ${}^1_1 p \longrightarrow {}^1_0 n + {}^0_1 e \rightarrow$ émission

d) La désexcitation γ :

La désexcitation γ accompagne souvent les radioactivités α et β .

Le noyau fils Y peut être formé dans un état excité (instable) et se relaxer en émettant un photon γ .

Le retour à l'état fondamental du noyau excité Y^* se traduit par l'équation bilan :



3°) Loi de décroissance d'une substance radioactive :

a) Loi de décroissance radioactive :

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

★ N_0 : nombre de noyaux présents à l'instant $t = 0$.

★ N : nombre de noyaux présents à un instant $t > 0$ (non désintégrés).

★ λ : constante radioactive (exprimée en $(\text{unité de temps})^{-1}$).

b) Période radioactive ou demi-vie :

C'est la durée T nécessaire pour que le nombre de noyaux initialement présents dans l'échantillon radioactif diminue de moitié :

$$\text{Donc pour } t = T : N = \frac{N_0}{2} \Rightarrow \frac{N_0}{2} = N_0 \cdot e^{-\lambda T} \Rightarrow \frac{1}{2} = e^{-\lambda T} \Rightarrow -\ln 2 = -\lambda \cdot T \text{ soit}$$

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

c) Activité d'une source radioactive :

C'est le nombre de désintégrations produites par une source radioactive pendant une seconde, elle est notée A et est exprimée en Becquerel (Bq).

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

★ $A_0 = \lambda \cdot N_0$: activité à l'instant $t = 0$.

★ $A = \lambda \cdot N$: activité à un instant $t > 0$.

III/ Réactions nucléaires provoquées :

1°) La fission :

C'est une réaction au cours de laquelle un noyau lourd est bombardé par un neutron ${}^1_0 n$

pour donner deux noyaux mi-lourds ${}^{A_1}_{Z_1} X_1$ et ${}^{A_2}_{Z_2} X_2$ avec libération de k neutrons selon

l'équation suivante :



2°) La fusion :

C'est une réaction nucléaire au cours de laquelle des noyaux très légers fusionnent pour donner un noyau un peu plus lourd et éventuellement émission d'une autre particule.

hichembenaich@gmail.com

Proposée par Benaich Hichem

SERIE DE PHYSIQUE N° 10

Radioactivité

EXERCICE 1 (Bac 2006 ancien régime)

En 1934, Irène et Frédéric Joliot-Curie ont découvert la radioactivité artificielle en bombardant des noyaux d'aluminium par des particules α (${}^4_2\text{He}$). Il se forme alors du phosphore radioactif ${}^{30}_{15}\text{P}$ selon l'équation : ${}^4_2\text{He} + {}^{27}_{13}\text{Al} \longrightarrow {}^{30}_{15}\text{P} + {}^b_a\text{x}$.

1°) a) Identifier la particule x émise, tout en précisant les lois de conservation utilisées.

b) S'agit-il d'une réaction nucléaire spontanée ou provoquée ?

2°) Le phosphore ${}^{30}_{15}\text{P}$ se désintègre à son tour en silicium Si avec émission d'une particule β^+ (${}^0_{+1}\text{e}$) selon

$$\text{l'équation : } {}^{30}_{15}\text{P} \longrightarrow {}^{30}_{14}\text{Si} + {}^0_{+1}\text{e}.$$

En se référant aux nombres de neutrons et de protons des noyaux de phosphore et de silicium, montrer que cette particule β^+ résulte de la transformation dans le noyau d'un proton en un neutron.

Ecrire l'équation correspondante.

3°) Sachant que le défaut de masse du noyau ${}^{30}_{15}\text{P}$ est $\Delta m = 0,2617 \text{ u}$ et que l'énergie de liaison du noyau

${}^{30}_{14}\text{Si}$ est $E_\ell = 248,91 \text{ MeV}$:

a) Calculer E_ℓ en MeV, l'énergie de liaison du noyau ${}^{30}_{15}\text{P}$.

b) Peut-on s'appuyer, dans ce cas particulier, sur les énergies de liaison pour comparer les stabilités des noyaux ${}^{30}_{15}\text{P}$ et ${}^{30}_{14}\text{Si}$? pourquoi ?

c) Comparer les stabilités de ces deux noyaux entre elles.

On donne :

$$1\text{u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} ; 1\text{MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J} \text{ et la célérité de la lumière : } c = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}.$$

particule	proton	neutron	électron	Positon (β^+)
symbole	${}^1_1\text{p}$	${}^1_0\text{n}$	${}^0_{-1}\text{e}$	${}^0_{+1}\text{e}$

Rép. Num. : 1°) a) Loi de cons. du nbre de masse : $b=1$; loi de cons. du nbre de charge : $a=0$; ${}^b_ax = {}^1_0\text{x} \equiv {}^1_0\text{n}$: neutron ;

b) Réac. provoquée ; 2°) ${}^{30}_{15}\text{P} \longrightarrow {}^{30}_{14}\text{Si} + {}^0_{+1}\text{e}$; même nbre de masse A : ${}^1_1\text{p} \longrightarrow {}^1_0\text{n} + {}^0_{+1}\text{e}$;

3°) a) $E_\ell = \Delta m \cdot c^2 = 244,36 \text{ MeV}$; b) Oui, car $A_{\text{Si}} = A_{\text{P}} = 30$;

c) $E_\ell(\text{Si}) = 248,91 \text{ MeV} > E_\ell(\text{P}) = 244,36 \text{ MeV} \Rightarrow {}^{30}_{14}\text{Si}$ est plus stable que ${}^{30}_{15}\text{P}$.

EXERCICE 2 (Contrôle 2005 ancien régime)

On rappelle que l'énergie de liaison E_ℓ d'un noyau ${}^A_Z\text{X}$ est donnée par la relation : $E_\ell = \Delta m \cdot c^2$ où le défaut de masse $\Delta m = [Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n] - m({}^A_Z\text{X})$.

1°) Calculer en MeV/c^2 le défaut de masse associé à un noyau de ${}^{56}_{26}\text{Fe}$.

En déduire sa masse $m({}^A_Z\text{X})$ en u.

On donne : masse d'un proton $m_p = 1,00728 \text{ u}$

masse d'un neutron $m_n = 1,00867 \text{ u}$

unité de masse atomique $1\text{u} = 931,5 \text{ MeV}/c^2$

énergie de liaison d'un noyau de ${}^{56}_{26}\text{Fe}$: $E_\ell({}^{56}_{26}\text{Fe}) = 492 \text{ MeV}$.

2°) Compléter le tableau de la figure ci-dessous - à remplir par le candidat et à remettre avec la copie.

	${}^{56}_{26}\text{Fe}$	${}^{60}_{29}\text{Cu}$	${}^{210}_{84}\text{Po}$
E_ℓ : énergie de liaison en MeV	492		1648,5
$\frac{E_\ell}{A}$: énergie de liaison par nucléon en MeV/nucléon		8,75	

hichem.benaich@gmail.com

Proposée par Benaich Hichem

SERIE DE PHYSIQUE N° 10

Radioactivité

3°) Comparer la stabilité des trois noyaux indiqués dans ce tableau .

Rép. Num. : 1°) $\Delta m = \frac{E_f(^{56}_{26}\text{Fe})}{c^2} = 492 \text{ MeV} \cdot c^{-2}$; $m(^{56}_{26}\text{Fe}) = 55,92119 \text{ u}$; 2°) $\frac{E_f}{A} (^{210}_{84}\text{Po}) = 7,85 \text{ MeV/nucléon}$;

$$E_f(^{60}_{29}\text{Cu}) = 525 \text{ MeV} ; \frac{E_f}{A} (^{56}_{26}\text{Fe}) = 8,78 \text{ MeV/nucléon} ; \Delta E = W = \Delta m \cdot c^2 = 2,6 \text{ MeV}$$

EXERCICE 3 (Bac 2000 ancien régime)

Le noyau du Polonium $^{210}_{84}\text{Po}$ se désintègre en un noyau de Plomb ^A_ZPb avec émission d'une particule α de symbole ^4_2He .

1°) Ecrire l'équation de la réaction de désintégration , en précisant les valeurs de A et de Z et les lois de conservation utilisées .

2°) On donne le tableau suivant :

Nucléide	$^{210}_{84}\text{Po}$	^A_ZPb	^4_2He
Masse d'un noyau en (u)	209,9368	205,9295	4,0015

$$1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV} \cdot c^{-2} ; c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

- Déterminer la variation de masse Δm qui accompagne la réaction de désintégration .
- Préciser , en le justifiant , si cette réaction libère ou consomme de l'énergie .
Calculer cette énergie en Mev .

Rép. Num. : 1°) $^{210}_{84}\text{Po} \longrightarrow ^{206}_{82}\text{Pb} + ^4_2\text{He}$;

2°) a) $\Delta m = -0,0058 \text{ u}$; b) $\Delta m < 0 \Rightarrow$ énergie libérée ; $|W| = |\Delta m| \cdot c^2 = 5,4027 \text{ MeV}$.

EXERCICE 4 (Bac 2003 ancien régime)

On donne $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ $1 \text{ MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$

L'isotope $^{226}_{88}\text{Ra}$ du radium est radioactif . Il se désintègre spontanément en un noyau ^A_ZX avec émission d'une particule α .

1°) a) Ecrire l'équation de cette réaction de désintégration en précisant les valeurs de A et Z .

b) Identifier le noyau X formé en se référant au tableau suivant :

élément	Rn	Ac	Th	Pa
Z	86	89	90	91

2°) L'énergie libérée par la désintégration d'un noyau de radium $^{226}_{88}\text{Ra}$ est égale à 4,9369 MeV .

Sachant que cette énergie libérée se répartit sous forme d'énergie cinétique et d'un rayonnement γ et que les mesures expérimentales ont donné respectivement pour α et X les valeurs suivantes des énergies cinétiques : $E_{C_\alpha} = 4,2999 \text{ MeV}$, $E_{C_X} = 0,0780 \text{ MeV}$.

En déduire la valeur de la fréquence de ce rayonnement γ .

Rép. Num. : 1°) a) $^{226}_{88}\text{Ra} \longrightarrow ^A_Z\text{X} + ^4_2\text{He}$; b) $^A_Z\text{X} \equiv ^{222}_{86}\text{Rn}$; 2°) $\nu = \frac{|W| - (E_C(\alpha) + E_C(X))}{h} = 1,35 \cdot 10^{20} \text{ Hz}$.

hichembenaich@gmail.com

Proposée par Benaïch Hichem

Radioactivité

EXERCICE 5 (Bac blanc 1999/2000 ancien régime)

Le noyau de polonium $^{210}_{84}\text{Po}$ se désintègre spontanément pour donner du plomb avec émission d'une particule α .

1°) Ecrire l'équation de la réaction de désintégration et identifier le noyau fils Y.

On donne le tableau suivant :

Nombre de charges Z	80	81	82	83	84
Symbole du nucléide	Hg	Tl	Pb	Bi	Po

2°) a) Définir l'énergie de liaison d'un noyau ^A_ZX .

b) Exprimer puis calculer en MeV l'énergie de liaison du noyau Po et du noyau fils Y.

c) Préciser, en le justifiant, lequel de ces deux noyaux est le plus stable.

On donne :

Symbole	Po	Y	neutron	proton
Masse [en unité de masse atomique (u)]	209,9368	205,9368	1,0087	1,0073

Unité de masse atomique : $1u = 931,5 \text{ MeV} \cdot c^{-2}$.

3°) a) Etablir l'expression de l'énergie libérée W au cours de cette transformation en fonction des énergies de liaison des noyaux Po, Y et de la particule α .

b) Montrer que $W = -4,29 \text{ MeV}$.

On donne l'énergie de liaison de la particule α : $E_l(\alpha) = 27,3 \text{ MeV}$.

c) Vérifier que la masse de la particule α est $m_\alpha = 4,0027 u$.

4°) On désigne par N_0 le nombre de noyaux Po présents à la date $t = 0$ et par A_0 son activité à la même date, N le nombre de noyaux de Po présents à la date t et A son activité à cette date.

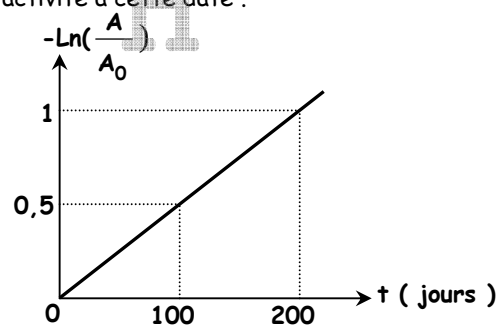
a) Définir l'activité A d'un radioélément et rappeler son expression en fonction du temps.

b) Une étude expérimentale a permis de tracer

la courbe $-\ln\left(\frac{A}{A_0}\right) = f(t)$ représentée

ci-contre.

Déterminer, à partir de cette courbe, les valeurs de la constante radioactive λ et de la période radioactive T de Po.



Rép. Num. : 1°) $^{210}_{84}\text{Po} \longrightarrow ^{206}_{82}\text{Pb} + ^4_2\text{He}$; 2°) a) $E_l(\text{Po}) = 1651,18 \text{ MeV}$; $E_l(\text{Pb}) = 1628,17 \text{ MeV}$;

b) $E(\text{Po}) = 7,86 \text{ MeV} \cdot \text{nucléon}^{-1} < E(\text{Pb}) = 7,90 \text{ MeV} \cdot \text{nucléon}^{-1} \Rightarrow \text{Pb plus stable que Po}$;

3°) b) $W = E_l(\text{Po}) - E_l(\alpha) - E_l(\text{Pb}) = -4,29 \text{ MeV}$; c) $m_\alpha = 2m_p + 2m_n - \frac{E_l(\alpha)}{c^2} = 4,0027 u$; 4°) b) $\lambda = 5 \cdot 10^{-3} \text{ j}^{-1}$; $T = 138 \text{ j}$.

EXERCICE 6 (Contrôle 96 ancien régime)

L'Astate $^{217}_{85}\text{At}$ est radioactif émetteur α (^4_2He) ; il conduit au Bismuth (Bi).

1°) Ecrire l'équation bilan de la désintégration radioactive correspondante.

2°) Soit N_0 le nombre de noyaux d'Astate contenus dans l'échantillon initial à l'instant $t = 0$ et N ce nombre à une date ultérieure t.

Montrer que $\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$, λ étant la constante radioactive de $^{217}_{85}\text{At}$.

3°) Calculer la valeur de λ sachant que la période radioactive de $^{217}_{85}\text{At}$ est $0,032 \text{ s}$.

hichem.benaich@gmail.com

Proposée par Benaich Hichem

SERIE DE PHYSIQUE N° 10

Radioactivité

4°) Calculer le nombre de particules α émises au bout d'une durée égale à 0,16 s à partir d'un échantillon d'Astate de masse initiale $m_0 = 1 \text{ mg}$.

La masse d'un noyau ${}^{217}_{85}\text{At}$ est égale à $3,60353 \cdot 10^{-22} \text{ g}$.

Rép. Num. : 1°) ${}^{217}_{85}\text{At} \longrightarrow {}^4_2\text{He} + {}^{213}_{83}\text{Bi}$; 3°) $\lambda = \frac{\text{Log}2}{T} = 21,66 \text{ s}^{-1}$; 4°) $N_0 = \frac{m_0}{m_{\text{noy}}(\text{At})} = 2,775 \cdot 10^{18} \text{ noyaux}$;
pour $t = 0,16 \text{ s}$, $N = N_0(1 - e^{-\lambda t}) = 2,688 \cdot 10^{18} \text{ noyaux}$.

EXERCICE 7 (Bac 2004 ancien régime)

Le césium ${}^{139}_{55}\text{Cs}$ se désintègre spontanément pour donner du Baryum Ba avec émission d'un électron.

1°) Ecrire l'équation de cette réaction nucléaire et préciser les lois utilisées.

2°) L'évolution radioactive d'un échantillon de Césium, contenant $N_0 = 5 \cdot 10^{21}$ noyaux à la date $t = 0$, est donnée par la relation $N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$ où N est le nombre de noyaux de Césium non désintégrés à une date $t > 0$ et $\lambda = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ la constante radioactive caractéristique du ${}^{139}_{55}\text{Cs}$.

a) Définir la période T d'un radioélément.

b) Calculer la valeur de T .

c) Déterminer le nombre de noyaux non désintégrés à la date $t = 3T$.

Rép. Num. : 1°) a) ${}^{139}_{55}\text{Cs} \longrightarrow {}^{139}_{56}\text{Ba} + {}^0_{-1}\text{e}$; b) $T = \frac{\text{Log}2}{\lambda} = 433,2 \text{ s}$; c) $N(t=3T) = 0,625 \cdot 10^{21} \text{ noyaux}$.

EXERCICE 8 (Bac 98 ancien régime)

Le carbone ${}^{14}_6\text{C}$ et le carbone ${}^{12}_6\text{C}$ sont des nucléides présents dans l'atmosphère et dans tout organisme vivant dans des proportions sensiblement constantes (c'est à dire que le rapport du nombre de noyaux ${}^{14}_6\text{C}$ sur le nombre de noyaux ${}^{12}_6\text{C}$ est constant). Une fois que l'organisme cesse de vivre, le nombre de noyaux ${}^{12}_6\text{C}$ reste inchangé, par contre celui de noyaux ${}^{14}_6\text{C}$ décroît avec le temps par désintégration radioactive de type β^- de période $T = 5570 \text{ ans}$ avec formation d'un noyau fils ${}^A_Z\text{X}$.

1°) Ecrire l'équation de cette réaction de désintégration.

Préciser le symbole du noyau fils ${}^A_Z\text{X}$ en utilisant la liste suivante :

${}^{12}_5\text{B}$; ${}^{13}_6\text{C}$; ${}^{12}_7\text{N}$; ${}^{13}_7\text{N}$; ${}^{14}_7\text{N}$; ${}^{15}_7\text{N}$.

2°) Définir l'activité $A(t)$ d'un radioélément en précisant son unité dans le système international et établir son expression en fonction du temps.

3°) Une épave d'une barque a été retrouvée récemment au large des côtes tunisiennes. Dans le but d'estimer l'âge de cette barque, on en prélève un morceau de bois bien conservé. La mesure du nombre de désintégrations de noyaux ${}^{14}_6\text{C}$ donne 1307 désintégrations par minute.

La même mesure effectuée sur un morceau de bois récent, de même nature et de même masse que celui utilisé précédemment, donne la valeur de 1720 désintégrations par minute.

Déterminer l'âge de la barque.

Rép. Num. : 1°) ${}^{14}_6\text{C} \longrightarrow {}^{14}_7\text{N} + {}^0_{-1}\text{e}$; 2°) $A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$; avec $A_0 = \lambda \cdot N_0$; 3°) $t = -\frac{T}{\text{Ln}2} \cdot \text{Ln} \frac{A}{A_0} = 2270 \text{ ans}$.

hichem.benaich@gmail.com

Proposée par Benaich Hichem

SERIE DE PHYSIQUE N° 10

Radioactivité

EXERCICE 9 (Bac 2007 ancien régime)

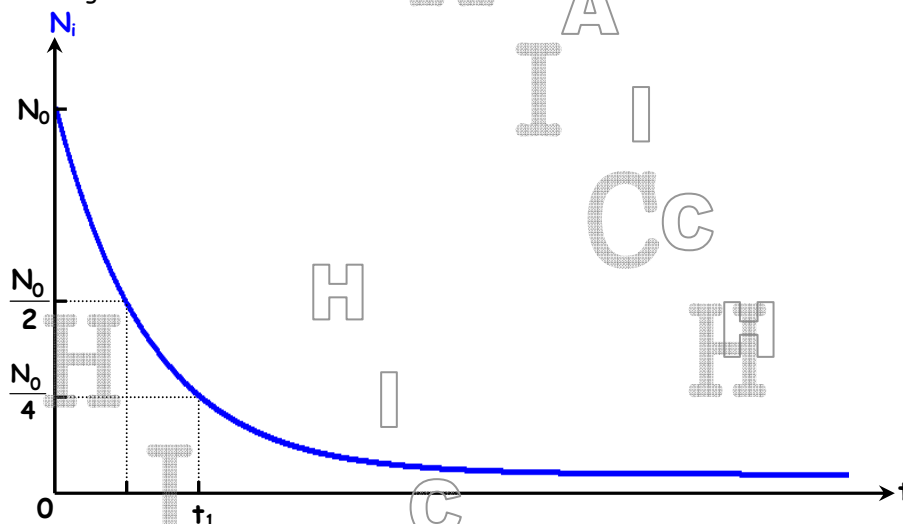
Le radon ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ est radioactif. Il émet une particule α (noyau d'hélium ${}^4_2\text{He}$) et se transforme en polonium ${}^A_Z\text{Po}$;

1°) a) Préciser les lois de conservation à utiliser pour écrire correctement l'équation de cette désintégration.

b) En déduire l'équation de la désintégration précédente en précisant les valeurs de A et Z.

2°) Le nombre d'un échantillon de radon ${}^{222}_{86}\text{Rn}$, à un instant $t_0 = 0$ choisi comme origine du temps, est $N_0 = 287.10^{20}$.

La variation du nombre d'atomes N_i de cet échantillon de radon ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ au cours du temps t est donnée par la relation : $N_i = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$ avec λ une constante positive. Cette variation est représentée par la courbe de la figure ci-dessous.



a) Définir la période radioactive T d'un radioélément.

b) Montrer que la durée t_1 , signalée sur la figure ci-dessus, est $t_1 = 2T$.

c) Calculer la valeur de T, si à l'instant $t_2 = 11.10^3$ min, le nombre d'atomes N_i de radon ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ devient $N_2 = 71.8.10^{20}$.

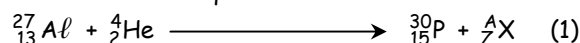
Rép. Num. : 1°) a) Cons. du nbre de masse, cons. du nbre de charge ; b) ${}^{222}_{86}\text{Rn} \longrightarrow {}^{218}_{84}\text{Po} + {}^4_2\text{He}$;

2°) a) T: durée nécessaire pour que $N = \frac{N_0}{2}$; b) $\frac{N_0}{4} = N_0 \cdot e^{-\lambda t_1}$ (avec $\lambda = \frac{\ln 2}{T}$) $\Rightarrow t_1 = 2T$;

$$\text{c) } T = \frac{\ln 2}{\ln \frac{N_0}{N_2}} \quad t_2 = 5502 \text{ min.}$$

EXERCICE 10 (Bac 99 ancien régime)

En 1934, Frédéric et Irène Joliot Curie bombardent des noyaux d'aluminium ${}^{27}_{13}\text{Al}$ par des noyaux d'hélium. Il se produit la réaction nucléaire d'équation :



1°) Préciser la nature de la particule ${}^A_Z\text{X}$.

hichembenach@gmail.com

Proposée par Benaich Hichem

SERIE DE PHYSIQUE N° 10

Radioactivité

2°) Calculer en Mev l'énergie consommée par la réaction (1) .

On donne :

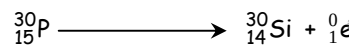
Symbole	${}^4_2\text{He}$	${}^{27}_{13}\text{Al}$	${}^{30}_{15}\text{P}$	${}^A_Z\text{X}$
Masse [en unité de masse atomique (u)]	4,0015	26,9744	29,9701	1,0086

La célérité de la lumière : $c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$.

L'unité de masse atomique : $1 \text{ u} = 1,66.10^{-27} \text{ kg}$.

Un mégaelectron-volt : $1 \text{ Mev} = 1.6.10^{-13} \text{ J}$.

3°) Le phosphore ${}^{30}_{15}\text{P}$ est radioactif β^+ . Il se désintègre selon la réaction nucléaire d'équation :



a) Calculer la période radioactive T du ${}^{30}_{15}\text{P}$.

La constante radioactive du ${}^{30}_{15}\text{P}$ est $\lambda = 46.10^{-4} \text{ s}^{-1}$.

b) En $t = 0$, on part d'une masse $m_0 = 1 \text{ g}$ de phosphore ${}^{30}_{15}\text{P}$.

Combien en reste-t-il 20 mn plus tard ?

Rép. Num. : 1°) ${}^A_Z\text{X} : {}^1_0\text{n}$; 2°) $\Delta E = W = \Delta m \cdot c^2 = 2,6 \text{ Mev}$; 3°) a) $T = \frac{\ln 2}{\lambda} = 150 \text{ s}$; b) $m = m_0 \cdot e^{-\lambda t} = 4.10^{-3} \text{ g}$.

EXERCICE 11 (Bac 94 ancien régime modifié)

Le radium ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ se désintègre en émettant une particule α et en produisant un noyau ${}^A_Z\text{X}$ dans son état fondamental.

1°) a) Ecrire l'équation donnant le bilan de la désintégration.

b) Identifier le noyau ${}^A_Z\text{X}$. Expliciter les règles appliquées.

On donne :

Nom	Polonium	Astate	Radon	Thorium
Symbole	Po	At	Rn	Th
Numéro atomique	84	85	86	90

2°) Le noyau ${}^A_Z\text{X}$ est également radioactif.

On désire déterminer la période radioactive de ce nucléide. A une date $t = 0$, on dispose d'un échantillon contenant N_0 noyaux du nucléide; à la date t , ce nombre devient N . On obtient le tableau de mesures suivant :

t (heures)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
Ln N	6,90	6,75	6,60	6,45	6,30	6,15	6,00	5,85	5,70	5,55	5,40

a) Tracer, sur une feuille de papier millimétré, la courbe représentative de Ln N en fonction du temps. On prendra pour échelle :

- 10 mm pour 10 heures en abscisses. - 50 mm pour 1 unité en ordonnées.

b) Dédire de la courbe obtenue l'expression de la loi de décroissance radioactive.

c) Déterminer la période radioactive T en jours du nucléide ${}^A_Z\text{X}$.

3°) En supposant que l'énergie libérée par la désintégration se retrouve en totalité sous forme d'énergie cinétique, calculer la vitesse de la particule α sachant que l'énergie libérée vaut 4,5 Mev.

On suppose que le rapport de l'énergie cinétique du noyau formé et de l'énergie cinétique de la particule α émise est égal à l'inverse du rapport de leurs masses.

4°) En réalité, le phénomène de désintégration est accompagné de l'émission d'une radiation lumineuse de longueur d'onde $\lambda = 2,5.10^{-11} \text{ m}$.

hichembenaich@gmail.com

Proposée par Benaïch Hichem

SERIE DE PHYSIQUE N° 10

Radioactivité

- a) Interpréter ce phénomène .
 b) Calculer la valeur exacte de l'énergie cinétique de la particule α dans ce cas .

On donne : - masse du noyau d'hélium = 4,0015 u ; $c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$
 - masse du noyau de radon = 221,9771 u ; $h = 6,63.10^{-34} \text{ J.s}$
 - $1 \text{ u} = 1,67.10^{-27} \text{ kg}$. $1 \text{ eV} = 1,6.10^{-19} \text{ J}$.

Rép. Num. : 1°) a) ${}^{226}_{88}\text{Ra} \longrightarrow {}^A_Z\text{X} + {}^4_2\text{He}$; b) ${}^A_Z\text{X} : {}^{222}_{86}\text{Rn}$; 2°) b) $\text{Log } N = -7,5.10^{-3}t + 6,9$; c) $T = 92,4 \text{ h} = 3,85 \text{ j}$;

$$3^\circ) \text{ a) } \frac{E_C(X)}{E_C(\alpha)} = 0,018 \Rightarrow E_C(X) \ll E_C(\alpha) ; 4^\circ) E_C(\alpha) = \frac{|W|}{1 + \frac{m(\alpha)}{m(X)}} = \frac{1}{2} m V_\alpha^2 \text{ soit } V_\alpha = 1,47.10^7 \text{ m.s}^{-1} ;$$

$$5^\circ) \text{ a) Désexcitation } \gamma ; \text{ b) } E_C'(\alpha) = \frac{|W| - \frac{h.c}{\lambda}}{1 + \frac{m(\alpha)}{m(X)}} = 6,99.10^{-13} \text{ J} .$$

EXERCICE 12 (Bac 89 ancien régime modifié)

Le noyau de polonium ${}^{210}_{84}\text{Po}$ se désintègre spontanément pour donner du plomb avec émission d'une particule α .

1°) Ecrire l'équation de la réaction de désintégration .

2°) Avant sa désintégration , le noyau de polonium est supposé au repos dans le repère lié au laboratoire .

En admettant :

- que le rapport de l'énergie cinétique du noyau formé et de l'énergie cinétique de la particule α émise est égal à l'inverse du rapport de leurs masses ,
- que toute l'énergie W libérée au cours de la réaction de désintégration est communiquée aux noyaux de plomb et d'hélium sous forme d'énergie cinétique ,

a) Exprimer W en fonction de l'énergie cinétique E_C de la particule α et des masses m_α et m_{Pb} des noyaux d'hélium et de plomb .

Calculer la valeur de W sachant que la particule α est émise avec une vitesse de norme $||\vec{V}_\alpha|| = 1,4.10^7 \text{ m.s}^{-1}$.

b) Déterminer la masse du noyau de polonium .

On donne : masse de la particule α : $m_\alpha = 6,64.10^{-27} \text{ kg}$,
 masse du noyau de plomb : $m_{\text{Pb}} = 341,8.10^{-27} \text{ kg}$,
 célérité de la lumière dans le vide : $c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$.

Rép. Num. : 1°) ${}^{210}_{84}\text{Po} \longrightarrow {}^{206}_{82}\text{Pb} + {}^4_2\text{He}$;

$$2^\circ) \text{ a) } W = E_{C\alpha} \left(1 + \frac{m_\alpha}{m_{\text{Pb}}}\right) = 6,63.10^{-13} \text{ J} ; \text{ b) } m_{\text{Po}} = m_{\text{Pb}} + m_\alpha - \frac{W}{c^2} = 348,447.10^{-27} \text{ kg} .$$

EXERCICE 13 (Bac 90 ancien régime modifié)

Une réaction de fusion nucléaire réalisée en laboratoire consiste en l'union de deux noyaux de deutérium ${}^2_1\text{H}$.

1°) Ecrire l'équation de la réaction sachant qu'il se forme l'isotope ${}^3_2\text{He}$ de l'hélium et une particule X que l'on identifiera .

2°) Déterminer en Mev l'énergie W fournie par cette réaction .

hichembenach@gmail.com

Proposée par Benaich Hichem

SERIE DE PHYSIQUE N° 10

Radioactivité

3°) En supposant que $\frac{E_c(^3\text{He})}{E_c(X)} = \frac{m(X)}{m(^3\text{He})}$, déterminer l'énergie cinétique $E_c(X)$ de la particule X formée.

On donne :
 masse du noyau de deutérium ^2_1H = 2,01355 u.m.a.
 masse du noyau d'hélium ^3_2He = 3,01492 u.m.a.
 masse de la particule X = 1,00866 u.m.a.
 unité de masse atomique u.m.a. = $1,661 \cdot 10^{-27}$ kg
 célérité de la lumière dans le vide $c = 3 \cdot 10^8$ m.s⁻¹
 1 électron-volt = $1,6 \cdot 10^{-19}$ joule.

Rép. Num. : 1°) $^2_1\text{H} + ^2_1\text{H} \longrightarrow ^3_2\text{He} + ^1_0\text{n}$; 2°) $W = [m(^3_2\text{He}) + m(^1_0\text{n}) - 2m(^2_1\text{H})] \cdot c^2 = -3,28 \text{ MeV}$;

$$3^\circ) E_c(n) = \frac{|W|}{1 + \frac{m(n)}{m(^3_2\text{He})}} = 2,46 \text{ MeV}.$$

EXERCICE 15 (Bac 2008 nouveau régime)

ETUDE D'UN DOCUMENT SCIENTIFIQUE

L'accident de Tchernobyl

L'accident de la centrale thermonucléaire de Tchernobyl en Ukraine, survenu le 26 Avril 1986 suite à l'explosion d'un réacteur, a rendu la réaction de fission qui s'y produit hors contrôle. Un énorme incendie détruit le site et une haute radiation contamine rapidement la zone dans un rayon d'une trentaine de kilomètres. La formation, entre autres, d'iode $^{131}_{53}\text{I}$ qui est émetteur β^- , augmente la radioactivité dans le milieu environnant. Ceci entraîne pour les citoyens, en plus de l'exposition aux radiations, l'absorption d'air pollué, la consommation d'aliments contaminés...

La présence de l'iode 131 dans le lait est un bon indicateur de pollution radioactive. En temps normal, cet aliment n'en contient pas. Après l'accident, on a pu mesurer, à l'aide d'un compteur Geiger-Muller, dans un échantillon de lait, une activité radioactive importante.

Questions :

- 1°) De quel type de réaction nucléaire s'agit-il dans le réacteur qui a explosé dans la centrale thermonucléaire de Tchernobyl ?
- 2°) Relever du texte, une phrase qui montre que ce réacteur produit des noyaux radioactifs.
- 3°) Enumérer trois dangers subis par les citoyens suite à l'accident de Tchernobyl.

Rép. Num. : 1°) Fission ; 2°) " La formation, entre autres, ... environnant " ;
 3°) Exposition des radiations, absorption d'air pollué, consommation d'aliments contaminés.

EXERCICE 15 (Contrôle 2008 ancien régime)

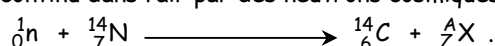
On donne :

Particule	neutron	Proton	Electron (β^-)	Positon (β^+)
Symbole	^1_0n	^1_1p	$^0_{-1}\text{e}$	$^0_{+1}\text{e}$

On peut dater des objets très anciens en déterminant leur teneur en carbone 14 par la mesure de l'activité A à la date t comptée par rapport à une date t = 0 où l'activité initiale est A₀.

Les activités A et A₀ sont liées par la relation : $A = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$.

Le carbone 14 est produit de manière continue dans l'atmosphère suite à un bombardement de l'azote N continu dans l'air par des neutrons cosmiques selon l'équation nucléaire suivante :



hichembenaich@gmail.com

Proposée par Benaich Hichem

SERIE DE PHYSIQUE N° 10

Radioactivité

- 1°) a) S'agit-il d'une réaction spontanée ou provoquée, Justifier la réponse .
 b) En utilisant les lois de conservation convenables, identifier la particule X qui accompagne l'apparition du noyau de carbone .
- 2°) Le nucléide $^{14}_6\text{C}$ est radioactif β^- de période $T = 5570$ ans .
 a) Ecrire l'équation de la réaction nucléaire traduisant cette désintégration .
 b) Expliquer l'émission de la particule β^- en écrivant l'équation de la transformation qui a lieu au niveau des nucléons .
 c) Montrer que la valeur de la constante radioactive λ associée à la réaction décrite en 2°) a), est $\lambda = 12,44 \cdot 10^{-5} \text{ an}^{-1}$.
- 3°) Pour un être vivant, la proportion en carbone 14 ($^{14}_6\text{C}$) est relativement constante dans son organisme . Après sa mort, le carbone 14 ne peut se renouveler dans son organisme et sa quantité diminue lentement . Pour une poutre en cyprès (carbone résineux) se trouvant dans la tombe d'un pharaon, l'activité spécifique A n'est plus que de 8 désintégrations par minute, alors qu'elle serait de $A_0 = 15,3$ désintégrations par minute pour un échantillon " récent " de même masse . Calculer l'âge de cette poutre exprimé en ans .

Rép. Num. : 1°) a) Réaction provoquée (bombardement par un neutron); b) $^A_Z\text{X} : ^1_1\text{p}$ (proton);

$$2^\circ) \text{ a) } ^{14}_6\text{C} \longrightarrow ^{14}_7\text{N} + ^0_{-1}\text{e}; \text{ b) } ^1_0\text{n} \longrightarrow ^0_{-1}\text{e} + ^1_1\text{p}; \text{ c) } \lambda = \frac{\ln 2}{T} = 12,44 \cdot 10^{-5} \text{ an}^{-1};$$

$$3^\circ) t = -\frac{T}{\ln 2} \cdot \ln \frac{A}{A_0} = 5,2 \cdot 10^3 \text{ ans}.$$

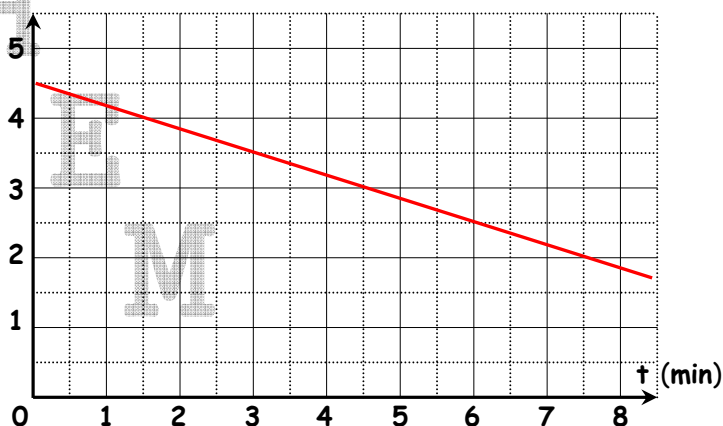
EXERCICE 16 (Contrôle 2009 nouveau régime)

1°) L'argent 108 ($^{108}_{47}\text{Ag}$) se désintègre spontanément en un noyau de cadmium $^{108}_{48}\text{Cd}$. La transformation nucléaire s'accompagne de l'émission d'une particule X .

- a) Ecrire l'équation de la réaction nucléaire et préciser les lois utilisées ainsi que la nature de la particule X .
 b) La réaction nucléaire considérée est-elle provoquée ou spontanée ?
 c) Expliquer l'origine de la particule X .

2°) Dans le but de déterminer la période radioactive T de l'argent 108, on étudie expérimentalement l'évolution de l'activité A d'un échantillon d'argent 108 au cours du temps. Les résultats obtenus ont permis de tracer le graphe $\ln A = f(t)$ de la figure ci-contre. Sachant que l'activité A s'écrit sous la forme : $A = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$ où A_0 est l'activité à l'instant $t = 0$ et λ est la constante radioactive de l'argent 108 :

- a) En déterminant l'expression théorique de $\ln A$ en fonction du temps, expliquer l'allure de la courbe ci-contre .



hichembenach@gmail.com

Proposée par Benaïch Hichem

SERIE DE PHYSIQUE N° 10

Radioactivité

- b) Définir la période d'une substance radioactive et déterminer son expression en fonction de la constante λ .
- c) Déterminer à partir du graphe $\text{Ln}A = f(t)$, la constante radioactive λ et en déduire la valeur de la période radioactive T de l'argent 108.
- 3°) Déterminer à partir de l'activité initiale A_0 de l'argent 108 et en déduire le nombre N_0 de noyaux initialement présents dans l'échantillon d'argent 108.

On donne :

proton : ${}^1_1\text{p}$ neutron : ${}^1_0\text{n}$ électron : ${}^0_{-1}\text{e}$

Rép. Num. : 1°) a) ${}^{108}_{47}\text{Ag} \longrightarrow {}^{108}_{48}\text{Cd} + {}^0_{-1}\text{e}$; b) Réaction spont. ; c) ${}^1_0\text{n} \longrightarrow {}^0_{-1}\text{e} + {}^1_1\text{p}$;

2°) a) $\text{Ln}A = -\lambda t + \text{Ln}A_0$: droite affine de pente $-\lambda < 0$; b) $T = \frac{\text{Ln}2}{\lambda} = 150\text{s}$;

c) $\lambda = 0,33\text{min}^{-1} = 5,5 \cdot 10^{-3}\text{s}^{-1} \Rightarrow T \approx 2\text{min} = 120\text{s}$;

3°) $\text{Ln}A_0 = 4,5 \Rightarrow A_0 = 90\text{Bq}$; $N_0 = \frac{A_0}{\lambda} \approx 272,2\text{noyaux}$.

EXERCICE 17 (Contrôle 2010 nouveau régime)

ETUDE D'UN DOCUMENT SCIENTIFIQUE

Découverte de la radioactivité artificielle

C'est vers 1932 que le couple de physiciens Joliot-Curie commence à utiliser, pour des recherches, une source de particules alpha ${}^4_2\text{He}$ émises spontanément par le polonium, un élément naturellement radioactif. Les Joliot-Curie, avec cette source de particules alpha, bombardent les éléments et analysent les réactions nucléaires produites. Ils remarquent que les éléments légers, en particulier l'aluminium Al , éjectent un neutron ${}^1_0\text{n}$. Mais ils observent un autre phénomène inattendu « la matière irradiée conserve une radioactivité relativement durable après l'enlèvement de la source de la particule α . Cette radioactivité se manifeste par l'émission de positons ${}^0_1\text{e}$ ». Les Joliot-Curie sont persuadés qu'ils ont trouvé le moyen de provoquer une radioactivité artificielle par la création d'un élément instable. Ils proposent une réaction probable : le noyau d'aluminium contenant 13 protons et 14 neutrons, aurait capturé une particule α et émis un neutron. L'aluminium se serait alors transformé en un isotope du phosphore P qui se serait à son tour désintégré spontanément en silicium Si en émettant un positon.

Extrait de « Les grandes découvertes scientifiques »

- 1°) Relever du texte une phrase qui montre que la radioactivité découverte par le couple de physiciens Joliot-Curie est une radioactivité artificielle.
- 2°) En s'appuyant sur le texte, préciser le nom des particules émises par cette radioactivité artificielle. En déduire s'il s'agit d'une radioactivité α , β^+ ou β^- .
- 3°) Décrire le principe d'obtention du spectre d'émission.
- 4°) Ecrire, en le justifiant, l'équation de désintégration spontanée de l'isotope du phosphore P en silicium Si .

Rép. Num. : 1°) « La matière irradiée... la source de particule α » ou « Les Joliot-Curie sont persuadés... d'un élément instable » ou « L'aluminium se serait... en émettant un positon » ;

2°) Les particules émises sont des positons ${}^0_1\text{e} \Rightarrow$ radioactivité β^+ ;

3°) ${}^{27}_{13}\text{Al} + {}^4_2\text{He} \longrightarrow {}^{30}_{15}\text{P} + {}^1_0\text{n} \Rightarrow {}^{30}_{15}\text{P} \longrightarrow {}^{30}_{14}\text{Si} + {}^0_1\text{e}$.