Équations — Sect 9.1, #1 à 7 — Sect 9.2, #8 à 12 — Sect 9.3, #13 à 14 — Sect 9.4, #15 à 26 — Sect 9.5, #27 à 32
Sect 9.6, #33 à 35 — Sect 9.7, #36

CH 9 LA PHYSIQUE ATOMIQUE

CONSTANTES UTILES

Particule/ Élément	Isotope / symbole	Masse atomique (u)	Demi-vie (si appl.)
Proton	p	1,007 276 5	
Neutron	n	1,008 664 9	
Électron	e⁻	0,000 548 6	
Particule α	α	4,001 506 2	
Hydrogène	$^{1}_{1}H$	1,007 825 0	-
Hydrogène (tritium)	$^{3}_{1}H$	3,016 049 3	12,32 a
Hélium	$^{4}_{2}He$	4,002 603 3	
Lithium	$^{6}_{3}Li$	6,015 122 8	
Béryllium	$^{7}_{4}Be$	7,016 929 8	53,3 j
Bore	$^{10}_{5}B$	10,012 937 0	
Carbone	$^{12}_{6}C$	12 (exact)	-
Carbone	$^{14}_{6}C$	14,003 242 0	5730 a
Aluminium	$^{27}_{13}Al$	26,981 538 6	
Phosphore	$^{32}_{15}P$	31,973 907 3	14,26 j
Potassium	$^{40}_{19}K$	39,963 998 5	$1{,}25\times10^{9}$ a
Calcium	$^{40}_{20}Ca$	39,962 383 7	
Chrome	$^{40}_{24}Cr$	51,940 507 5	
Fer	$^{56}_{26}Fe$	55,934 939 3	
Nickel	$^{61}_{28}Ni$	60,931 056 0	
Cuivre	$^{61}_{29}Cu$	60,933 457 8	3,33 h
Zinc	$^{64}_{30}Zn$	63,929 144 8	
Zirconium	$^{98}_{40}Zr$	97,912 735 0	30,7 s
Technétium	$^{99m}_{43}Tc$	98,906 254 7	6,01 h
Tellure	$^{134}_{52}Te$	133,911 369 0	41,8 min
Néodyme	$^{143}_{60}Nd$	142,909 814 3	
Samarium	$^{147}_{62}Sm$	146,914 897 9	$1{,}06\times10^{11}$ a
Or	$^{197}_{79}Au$	196,966 568 7	
Protactinium	$^{233}_{91}Pa$	233,040 257 3	27,0 j
Uranium 233	$^{233}_{92}U$	233,039 635 2	$1{,}59\times10^{5}$ a
Uranium 238	$^{238}_{92}U$	238,050 784 7	$4{,}46\times10^{9}$ a
Neptunium	$^{237}_{93}Np$	237,048 173 4	$2{,}14\times10^{6}$ a
Plutonium	$^{241}_{94}Pu$	241,056 851 5	14,3 a

$\boxed{c = 2{,}998\times10^{8}\ \frac{\text{m}}{\text{s}}}$ $\boxed{h = 6{,}626\times10^{-34}\ \text{J}\cdot\text{s}}$

$\boxed{hc \approx 1\,240\ \text{eV}\cdot\text{nm}}$ $\boxed{\hbar = h/2\pi}$

$\boxed{e = 1{,}602\times10^{-19}\ \text{C}}$ $\boxed{m_e = 9{,}109\times10^{-31}\ \text{kg}}$

$\boxed{\varepsilon_0 = 8{,}854\times10^{-12}\ \frac{\text{C}^2}{\text{N}\cdot\text{m}^2}}$ $\boxed{R_\infty = 1{,}097\times10^{7}\ \text{m}^{-1}}$

$\boxed{1\ \text{eV} = 1{,}602\times10^{-19}\ \text{J}}$ $\boxed{\frac{N_{^{14}C}}{N_C} = 1{,}30\times10^{-12}}$

$\boxed{1\ \text{a} = 365\ 24\ \text{j}}$ $\boxed{M_{at-C} = 12{,}011\ \text{u}}$

$\boxed{1\ \text{u} = 1{,}660\ 538\ 9\times10^{-27}\ \text{kg} = \frac{931{,}5\ \text{MeV}}{c^2}}$

ÉQUATIONS LIÉES AU CHAPITRE :

$\boxed{A = N + Z}$ $\boxed{N = N_0 e^{-\lambda t}}$

$\boxed{E_l = \Delta m c^2}$ $\boxed{Q = -\Delta m c^2 = (M_{Réactifs} - M_{produits})c^2}$

$\boxed{^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}X' + {}^{4}_{2}\text{He}}$ $\boxed{^{A}_{Z}X \rightarrow {}_{Z+1}^{\ \ A}X' + \text{é}^-}$

$\boxed{^{A}_{Z}X \rightarrow {}_{Z-1}^{\ \ A}X' + \text{é}^+}$ $\boxed{N = \frac{m_{éch}}{m_{at}}}$

$\boxed{\frac{hc}{\lambda} = E_h - E_b}$ $\boxed{r = \frac{4n^2\hbar^2\pi\varepsilon_0}{m_e e^2}}$

$\boxed{v = \sqrt{\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 m r}}}$ $\boxed{E_n = -\frac{13{,}60\ \text{eV}}{n^2}}$

$\boxed{\frac{1}{\lambda} = R_\infty \cdot \left(\frac{1}{n_b^2} - \frac{1}{n_h^2}\right)}$ $\boxed{r = 1{,}20\ \text{fm}\cdot A^{1/3}}$

$\boxed{E_{l/n} = \frac{E_l}{A}}$ $\boxed{E_l = [Zm_H + Nm_n - M]c^2}$

$\boxed{R = \lambda N = R_0 e^{-\lambda t}}$ $\boxed{t_{½} = \frac{\ln 2}{\lambda}}$

$\boxed{R_0 = \lambda N_0}$ $\boxed{Q = (M_X - M_{X'} - 2m_{He})c^2}$

$\boxed{Q = (M_X - M_{X'})c^2}$ $\boxed{Q = (M_X - M_{X'} - 2m_e)c^2}$

$\boxed{Q = hf_\gamma}$

9.1 LES RAIES SPECTRALES ET LE MODÈLE DE BOHR

9.1 Question : Nombre de niveaux solution ►

Pour l'électron dans l'atome d'hydrogène, combien de transitions possibles existe-t-il où l'électron descend sur le second niveau?

9.2 Exercice : Niveau 4 solution ►

Pour un électron au niveau n = 4 dans l'atome d'hydrogène, que vaut :

a) le rayon de l'orbite?
b) la vitesse de l'électron?
c) l'énergie mécanique de l'électron?

9.3 Exercice : Rapport des rayons solution ►

Quel est le rapport des rayons des orbites des deux premiers niveaux d'énergie de l'électron dans l'atome d'hydrogène (r_2/r_1)?

9.4 Exercice : Séries solution ►

En utilisant la formule de Rydberg, déterminez la plus grande longueur d'onde des séries suivantes :

a) la série de Lyman;
b) la série de Balmer;
c) la série de Humphreys (les transitions vers le niveau 6).

9.5 Exercice : Vitesse d'électron solution ►

À quelle vitesse se déplace l'électron sur son orbite au 2e niveau excité dans l'atome d'hydrogène?

9.6 Exercice : Pfund solution ►

La série de Pfund comprend les transitions de l'électron de l'atome d'hydrogène vers le niveau 5. Déterminez les fréquences maximale et minimale des photons émis dans la série de Pfund.

9.1- ∞ — **9.2**- a) $r = 8{,}47\times10^{-10}$ m — b) $v = 5{,}47\times10^{5}$ m/s — c) $E_4 = -0{,}850$ eV — **9.3**- $r_2/r_1 = 4$
9.4- a) λ_{max} = 122 nm — b) λ_{max} = 656 nm — c) $\lambda_{max} = 1{,}24\times10^{-5}$ m — **9.5**- $v = 7{,}29\times10^{5}$ m/s — **9.6**- $f_{min} = 4{,}02\times10^{13}$ Hz, $f_{max} = 1{,}32\times10^{14}$ Hz

Équations Sect 9.1, #1 à 7 Sect 9.2, #8 à 12 Sect 9.3, #13 à 14 Sect 9.4, #15 à 26 Sect 9.5, #27 à 32
Sect 9.6, #33 à 35 Sect 9.7, #36

9.7 Exercice : Combinaisons solution ▶

Dans l'atome d'hydrogène, un électron au niveau 4 peut retomber au niveau 1 selon plusieurs chemins. Quelles sont, en ordre croissant, toutes longueurs d'onde pouvant être émises lors des différentes transitions possibles ramenant l'électron à son niveau fondamental depuis le niveau 4?

9.2 LES PROPRIÉTÉS DU NOYAU

9.8 Question : Élément mystère solution ▶

À l'aide d'un tableau périodique (disponible ici), déterminez quel élément peut présenter les propriétés suivantes :

a) A = 8 et N = 4;
b) A = 195 et N = 117;
c) A = 1.

9.9 Question : Iso solution ▶

Parmi la liste de nucléides suivante, identifiez :

a) trois isotones;
b) trois isobares;
c) le nucléide le plus lourd.

${}^{11}_{5}\mathrm{B}$, ${}^{13}_{5}\mathrm{B}$, ${}^{13}_{6}\mathrm{C}$, ${}^{13}_{7}\mathrm{N}$, ${}^{14}_{7}\mathrm{N}$, ${}^{15}_{7}\mathrm{N}$, ${}^{13}_{8}\mathrm{O}$, ${}^{14}_{8}\mathrm{O}$

9.10 Exercice : La carte des nucléides solution ▶

En utilisant la carte des nucléides, déterminez :

a) Combien d'isotopes de l'aluminium (${}_{13}\mathrm{Al}$) ont été observés et documentés;
b) Combien d'isotones du ${}^{16}_{9}\mathrm{F}$ ont été observés et documentés.

9.11 Exercice : Rayon du baryum solution ▶

Quel est le rayon du noyau de Baryum ${}^{137}_{56}\mathrm{Ba}$?

9.12 Exercice : Nucléide recherché solution ▶

Le rayon du noyau d'un certain atome est $r = 4{,}80\times10^{-15}$ m. Identifiez trois nucléides dont il pourrait s'agir (un tableau périodique est disponible ici).

9.3 L'ÉNERGIE DE LIAISON

9.13 Exercice : Énergie de liaison solution ▶

Déterminez l'énergie de liaison des atomes suivants :

a) Hélium ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$;

b) Aluminium ${}^{27}_{13}\mathrm{Al}$;

c) Hydrogène ${}^{3}_{1}\mathrm{H}$ (tritium).

9.14 Exercice : Énergie de liaison par nucléon solution ▶

Déterminez l'énergie de liaison par nucléon des atomes suivants :

a) Calcium ${}^{40}_{20}\mathrm{Ca}$;

b) Fer ${}^{56}_{26}\mathrm{Fe}$;

c) Zinc ${}^{64}_{30}\mathrm{Zn}$.

d) Lequel des trois nucléides analysés a la plus forte énergie de liaison par nucléon?

9.4 LA RADIOACTIVITÉ

9.15 Exercice : Nombre d'atomes solution ▶

Combien d'atomes d'or (${}^{197}_{79}\mathrm{Au}$) trouve-t-on dans un échantillon de 1,50 g d'or pur? Faites le calcul distinctement à l'aide des deux équations du nombre d'atomes :
$N = \frac{m_{éch}}{M_{at}}$ et $N = \frac{m_{éch} N_A}{M_{mol}}$.

9.16 Exercice : Demi-vie solution ▶

Quelle est la demi-vie pour des nucléides radioactifs dont la constante de désintégration est :

a) $\lambda = 3{,}30 \times 10^{-2}\ \frac{\text{dés}}{\text{at·s}}$

b) $\lambda = 2{,}38 \times 10^{-5}\ \frac{\text{dés}}{\text{at·s}}$

c) $\lambda = 1{,}57 \times 10^{-18}\ \frac{\text{dés}}{\text{at·s}}$

9.17 Exercice : Uranium 238 solution ▶

Quel serait le taux de désintégration d'un échantillon de 10^{30} atomes d'uranium ${}^{238}_{92}\mathrm{U}$?

9.18 Exercice : Béryllium solution ▶

Quel est l'activité d'un gramme de béryllium ${}^{7}_{4}\mathrm{Be}$?

9.19 Exercice : Technétium solution ▶

Le technétium « métastable » ${}^{99m}\mathrm{Tc}$ ${}^{99m}\mathrm{Tc}$ est utilisé en médecine pour des diagnostics du cœur et de l'appareil circulatoire. Il se transforme en technétium ${}^{99}\mathrm{Tc}$ stable en émettant un photon γ. Pour un échantillon de 2 g :

a) Quelle est l'activité initiale?
b) Quelle est l'activité après 4,00 jours?

9.20 Exercice : Thorium solution ▶

Le thorium 232 a une demi-vie de $1{,}4\times10^{10}$ a. Pour un échantillon contenant 1 024 atomes :

a) Théoriquement, combien de demi-vies faudra-t-il laisser passer pour que l'échantillon soit réduit à un seul atome?
b) Combien de temps durera ce délai?

9.21 Exercice : Phosphore solution ▶

Le phosphore ${}^{32}_{15}\mathrm{P}$ est utilisé en biologie comme traceur. Un échantillon de phosphore composé exclusivement de cet isotope a une masse de 3,25 µg.

a) Quelle est la constante de désintégration du ${}^{32}_{15}\mathrm{P}$?
b) Combien y a-t-il initialement d'atomes de ${}^{32}_{15}\mathrm{P}$ dans l'échantillon?
c) Quelle est l'activité initiale de l'échantillon?
d) Quelle est l'activité de l'échantillon après 36,0 h?
e) Combien restera-t-il d'atomes de cet isotope après 10,0 j?

9.22 Exercice : Combien d'atomes solution ▶

Combien d'atomes de carbone 14 y a-t-il :

a) dans une quantité de 10^{20} atomes de carbone extraits d'une plante?
b) dans un échantillon de carbone de 2,50 g directement prélevé sur un être vivant?
c) dans votre corps, dont 11,3 kg sont constitués de carbone?

9.7- $\lambda_{4\text{-}1}$ = 97,2 nm, $\lambda_{3\text{-}1}$ = 103 nm, $\lambda_{2\text{-}1}$ = 122 nm, $\lambda_{4\text{-}2}$ = 486 nm, $\lambda_{3\text{-}2}$ = 656 nm, $\lambda_{4\text{-}3}$ = 1875 nm — **9.8**- a) Be — b) Pt — c) H
9.9- a) ${}^{11}_{5}\mathrm{B}$-${}^{13}_{7}\mathrm{N}$-${}^{14}_{8}\mathrm{O}$ — b) ${}^{13}_{5}\mathrm{B}$-${}^{13}_{6}\mathrm{C}$-${}^{13}_{7}\mathrm{N}$-${}^{13}_{8}\mathrm{O}$ — c) ${}^{15}_{7}\mathrm{N}$ — **9.10**- a) 22 — b) 11 — **9.11**- r = 6,19 fm — **9.12**- Cu ou Zn
9.13- a) E_l = 28,3 MeV — b) E_l = 225 MeV — c) E_l = 8,48 MeV — **9.14**- a) $E_{l/n}$ = 8,56 MeV — b) $E_{l/n}$ = 8,79 MeV — c) $E_{l/n}$ = 8,74 MeV — d) ${}^{56}_{26}\mathrm{Fe}$
9.15- $N = 4{,}59\times10^{21}$ at — **9.16**- a) $t_{1/2}$ = 21,0 s — b) $t_{1/2}$ = 8,09 h — c) $t_{1/2} = 1{,}40\times10^{10}$ a — **9.17**- $R = 4{,}92\times10^{12}$ Bq — **9.18**- $R = 1{,}29\times10^{16}$ Bq
9.19- a) $R = 3{,}90\times10^{17}$ Bq — b) $R = 6{,}06\times10^{12}$ Bq — **9.20**- a) $n = 10t_{½}$ — b) $t = 1{,}4\times10^{11}$ a
9.21- a) $\lambda = 5{,}63\times10^{-7}$ dés./at.s — b) $N_0 = 6{,}12\times10^{16}$ at — c) $R_0 = 3{,}44\times10^{10}$ Bq — d) $R = 3{,}20\times10^{10}$ Bq — e) $N = 3{,}76\times10^{16}$ at
9.22- a) $N = 1{,}30\times10^{8}$ at — b) $N = 1{,}63\times10^{11}$ at — c) $N = 7{,}36\times10^{14}$ at

Équations | Sect 9.1, #1 à 7 | Sect 9.2, #8 à 12 | Sect 9.3, #13 à 14 | Sect 9.4, #15 à 26 | Sect 9.5, #27 à 32 | Sect 9.6, #33 à 35 | Sect 9.7, #36

9.23 Exercice : Chat radioactif solution ▶

Quel est le taux de désintégration (dû au carbone 14) de Molécule le chat si sa masse est de 3,75 kg et que sa masse est constituée à 18,5 % de carbone?

9.24 Exercice : Le Saint-Suaire solution ▶

Le suaire de Turin est un morceau de tissus qui, selon certains, aurait servi à draper le corps de Jésus Christ lors de sa mise en tombeau. La datation au carbone 14 a permis de déterminer officiellement l'âge de la relique. On prélève un échantillon de 0,124 g de l'étoffe, sachant qu'elle est entièrement faite de fibres naturelles (organiques). L'analyse de cet échantillon révèle une activité de 28,5 mBq.

a) Combien d'atomes de carbone trouve-t-on dans un échantillon de 0,124 g de carbone?
b) Combien d'atomes de carbone 14 trouve-t-on dans l'échantillon de 0,124 g d'un être vivant?
c) Combien d'atomes de carbone 14 trouve-t-on dans l'échantillon lors de l'analyse?
d) Quel est l'âge de ce tissu?

9.25 Exercice : Forte activité solution ▶

Quel est l'âge d'un échantillon de 4,70 g carbone dont le taux de désintégration est de 0,350 Bq, sachant qu'il a été prélevé sur une momie?

9.26 Exercice : Les dinosaures solution ▶

Quel serait aujourd'hui le taux d'activité d'un échantillon d'un gramme d'ossements de dinosaures si ceux-ci ont vécu il y a 65 millions d'années? Quelle est la conséquence de ce résultat sur l'utilisation de la méthode?

9.5 LES MODES DE DÉSINTÉGRATION

9.27 Question : Nucléide initial solution ▶

Identifiez le nucléide de départ pour lequel les désintégrations suivantes donnent un produit connu :

a) Après l'émission d'un neutron, un nucléide se transforme en ${}^{23}_{7}\mathrm{N}$;
b) En émettant une particule alpha, un noyau se transforme en ${}^{102}_{50}\mathrm{Sn}$;
c) Un noyau subissant une désintégration β^+ devient ${}^{30}_{14}\mathrm{Si}$.

9.28 Question : Type de désintégration solution ▶

Quel type de désintégration entraîne la transformation suivante?

a) ${}^{87}_{35}\mathrm{Br} \rightarrow {}^{87}_{36}\mathrm{Kr}$

b) ${}^{213}_{85}\mathrm{At} \rightarrow {}^{209}_{83}\mathrm{Bi}$

c) ${}^{95}_{45}\mathrm{Rh} \rightarrow {}^{95}_{44}\mathrm{Ru}$

d) ${}^{3}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{2}_{1}\mathrm{H}$

9.29 Exercice : Molybdène solution ▶

Le seul nucléide stable possédant 114 nucléons est l'étain ${}^{114}_{50}\mathrm{Sn}$. Tous les isobares de l'étain ${}^{114}_{50}\mathrm{Sn}$ sont sujets à la désintégration β, dont une variété du molybdène, le ${}^{114}_{42}\mathrm{Mo}$. Combien de désintégrations β^- surviendront dans un noyau de ${}^{114}_{42}\mathrm{Mo}$ avant que le noyau ne devienne stable?

9.30 Exercice : Chaîne du neptunium solution ▶

La chaîne radioactive du neptunium transforme le plutonium ${}^{241}_{94}\mathrm{Pu}$ en thallium ${}^{205}_{81}\mathrm{Ti}$ (stable) en 12 étapes. Les désintégrations successives sont toutes de type β^- ou α.

a) Combien de désintégrations α et β^- ont lieu au cours de cette suite de désintégrations.
b) Quelle est l'énergie dégagée par l'une des étapes de cette chaîne de réaction, qui produit du protactinium ${}^{233}_{91}\mathrm{Pa}$ à partir du neptunium ${}^{237}_{93}\mathrm{Np}$?

9.31 Exercice : Proton neutralisé solution ▶

Un atome d'hydrogène peut se transformer en neutron si le proton du noyau capture l'électron, selon la réaction suivante : $p + e^- \rightarrow n + \nu$. (Le neutrino ν ne participe pas au calcul de l'énergie de réaction; plutôt, ses masse et vitesse sont la manifestation de l'énergie dégagée.)

a) Quelle est l'énergie dégagée par cette réaction?
b) Quelle est la longueur d'onde d'un photon ayant assez d'énergie pour provoquer cette réaction?

9.32 Exercice : Défaut de masse du Soleil solution ▶

Déterminez l'énergie dégagée par les réactions suivantes :

a) ${}^{40}_{19}\mathrm{K} \rightarrow {}^{40}_{20}\mathrm{Ca}$

b) ${}^{147}_{62}\mathrm{Sm} \rightarrow {}^{143}_{60}\mathrm{Nd}$

c) ${}^{61}_{29}\mathrm{Cu} \rightarrow {}^{61}_{28}\mathrm{Ni}$ (l'atome résultant n'est pas excité)

9.6 LA FISSION

9.33 Question : Noyau manquant solution ▶

Identifiez le nucléide manquant dans les réactions suivantes :

a) ${}^{1}_{0}\mathrm{n} + {}^{235}_{92}\mathrm{U} \rightarrow {}^{92}_{36}\mathrm{Kr} + \_\_\_\_ + 3{}^{1}_{0}\mathrm{n}$

b) ${}^{1}_{0}\mathrm{n} + {}^{235}_{92}\mathrm{U} \rightarrow {}^{94}_{38}\mathrm{Sr} + {}^{140}_{54}\mathrm{Xe} + \_\_\_\_ + \gamma$

c) ${}^{1}_{0}\mathrm{n} + \_\_\_\_ \rightarrow {}^{135}_{52}\mathrm{Te} + {}^{102}_{42}\mathrm{Mo} + 3{}^{1}_{0}\mathrm{n}$

9.34 Exercice : Bombe à fission solution ▶

Soit une bombe à fission équivalente à 15,0 kilotonnes. Puisqu'une tonne de TNT libère en réalité 4,18 GJ, quelle masse est-elle transformée en énergie durant l'explosion de la bombe à fission?

9.35 Exercice : Centrale nucléaire solution ▶

L'une des réactions possibles lors de la fission de l'uranium 233 est la suivante : ${}^{1}_{0}\mathrm{n} + {}^{233}_{92}\mathrm{U} \rightarrow {}^{134}_{52}\mathrm{Te} + {}^{98}_{40}\mathrm{Zr} + 2{}^{1}_{0}\mathrm{n}$.

a) Quelle énergie est libérée par la fission d'un noyau, selon cette réaction (donnez votre réponse en joules)?
b) Quelle masse d'uranium 233 doit réagir, chaque seconde, pour produire de l'énergie au taux de 100 kW, si le rendement du réacteur où se produit cette réaction est de 30 %?

9.7 LA FUSION

9.36 Question : La combustion du Soleil solution ▶

La fusion nucléaire qui alimente la combustion du Soleil implique initialement 6 protons indépendants et produit, au terme d'une chaîne de réactions, une particule alpha, deux protons seuls, et deux positrons, en plus d'une quantité d'énergie représentée par 2 neutrinos, 2 photons gamma et de l'énergie cinétique. Les positrons ont la même masse que des électrons.

a) Quel est le défaut de masse des produits par rapport aux réactifs?

9.23- R = 173 Bq — **9.24**- a) $N_C = 6{,}22\times10^{21}$ at — b) $N_{0\text{-}14C} = 8{,}08\times10^{9}$ at — c) $N_{14C} = 7{,}43\times10^{9}$ at — d) t = 688 a — **9.25**- t = 10 000 a — **9.26**- R = 0
9.27- a) ${}^{24}_{7}\mathrm{N}$ — b) ${}^{106}_{52}\mathrm{Te}$ — c) ${}^{30}_{15}\mathrm{P}$ — **9.28**- a) β^- — b) ${}^{4}_{2}\alpha$ — c) β^+ — d) ${}^{1}_{0}\mathrm{n}$ — **9.29**- 8β^- — **9.30**- a) 9α + 5β^- — b) Q = 4,94 MeV
9.31- a) Q = –782 keV — b) λ = 1,58 pm — **9.32**- a) Q = 1,50 MeV — b) Q = 2,31 MeV — c) Q = 1,22 MeV — **9.33**- a) ${}^{141}_{56}\mathrm{Ba}$ — b) $2{}^{1}_{0}\mathrm{n}$ — c) ${}^{239}_{94}\mathrm{Pu}$
9.34- Δm = 0,697 g — **9.35**- a) $Q = 3{,}09\times10^{-11}$ J — b) m = 4,18 µg — **9.36**- a) Δm = –0,026 5 u — b) Q = 24,7 MeV

b) Quelle est l'énergie dégagée par cette chaîne de réactions, si elle est liée au défaut de masse

CH 9 LA PHYSIQUE ATOMIQUE ET NUCLÉAIRE

9.1 LES RAIES SPECTRALES ET LE MODÈLE DE BOHR

9.1 Solution : Nombre de niveaux retour à la question ▲

Une infinité de niveaux

L'électron peut chuter vers le niveau 2 depuis n'importe quel niveau supérieur à 2. Puisqu'il y a mathématiquement une infinité de niveaux, il y en a une infinité même au-delà du niveau 2, d'où peut chuter l'électron. Il y a donc une infinité de transitions possibles où l'électron chute au niveau 2.

retour à la question ▲

9.2 Solution : Niveau 4 retour à la question ▲

a) $r = 8{,}47\times10^{-10}$ m

Le rayon d'une orbite de l'électron est donné par :

$$r = \frac{4n^2\hbar^2\pi\varepsilon_0}{m_e e^2} \tag{1}$$

Pour le niveau $n = 4$:

$$r = \frac{4\times(4)^2\times\left(\frac{6{,}626\times10^{-34}\ \mathrm{J\cdot s}}{2\pi}\right)^2\times\pi\times\left(8{,}854\times10^{-12}\ \frac{\mathrm{C}^2}{\mathrm{N\cdot m^2}}\right)}{(9{,}109\times10^{-31}\ \mathrm{kg})\times(1{,}602\times10^{-19}\ \mathrm{C})^2} = \mathbf{8{,}47\times10^{-10}\ m}$$

b) $v = 5{,}47\times10^5$ m/s

La vitesse de l'électron sur son orbite de rayon r est donnée par :

$$v = \sqrt{\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 m r}}$$

où le rayon r est celui trouvé en a) :

$$v = \sqrt{\frac{(1{,}602\times10^{-19}\ \mathrm{C})^2}{4\times\pi\times\left(8{,}854\times10^{-12}\ \frac{\mathrm{C}^2}{\mathrm{N\cdot m^2}}\right)\times(9{,}109\times10^{-31}\ \mathrm{kg})\times(8{,}47\times10^{-10}\ \mathrm{m})}} = \mathbf{5{,}47\times10^5\ \frac{m}{s}}$$

c) $E_4 = -0{,}850$ eV

L'énergie mécanique de l'électron est donnée par la courte équation

$$E_n = \frac{-13{,}6\ \mathrm{eV}}{n^2}$$

Pour le niveau $n = 4$:

$$E_n = \frac{-13{,}6\ \mathrm{eV}}{4^2} = \mathbf{-0{,}850\ eV}$$

retour à la question ▲

retour à la question ▲

9.3 Solution : Rapport des rayons retour à la question ▲

$r_2/r_1 = 4$

L'équation donnant le rayon de l'orbite d'un électron est :

$$r = \frac{4n^2\hbar^2\pi\varepsilon_0}{m^e e^2}$$

Le rapport des rayons de deux orbites distinctes est donc

$$\frac{r_2}{r_1} = \frac{\left(\frac{4n_2^2\hbar^2\pi\varepsilon_0}{m^e e^2}\right)}{\left(\frac{4n_1^2\hbar^2\pi\varepsilon_0}{m^e e^2}\right)} = \frac{n_2^2}{n_1^2} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2$$

Pour le rapport r_2/r_1, on a donc :

$$\frac{r_2}{r_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 = \left(\frac{2}{1}\right)^2 = \mathbf{4}$$

Le rayon de la seconde orbite est précisément quatre fois plus grand que le rayon de la première orbite.

retour à la question ▲

9.4 Solution : Séries retour à la question ▲

La formule de Rydberg est :

$$\frac{1}{\lambda} = R_\infty \cdot \left(\frac{1}{n_b^2} - \frac{1}{n_h^2}\right)$$

$$\lambda = \frac{1}{R_\infty \cdot \left(\frac{1}{n_b^2} - \frac{1}{n_h^2}\right)} \qquad (1)$$

La plus grande longueur d'onde, associée à la plus faible fréquence, et donc à la plus faible énergie, survient lorsque la transition est la plus petite, lorsque l'électron provient du niveau tout juste supérieur au niveau final de la transition.

a) λ_{max} = 122 nm

Pour la série de Lyman, qui rassemble les transitions vers le niveau fondamental (n_b = 1), la chute la plus faible d'un électron est celle où l'électron provient du niveau n_h = 2. Selon l'équation (1), la longueur d'onde correspondante est :

$$\lambda = \frac{1}{R_\infty \cdot \left(\frac{1}{n_b^2} - \frac{1}{n_h^2}\right)} = \frac{1}{(1{,}097\times10^7\ \mathrm{m}^{-1})\times\left(\frac{1}{1^2}-\frac{1}{2^2}\right)} = \mathbf{122\ nm}$$

b) λ_{max} = 656 nm

Pour la série de Balmer, qui rassemble les transitions vers le niveau 2 (n_b = 2), la chute la plus faible d'un électron est celle où l'électron provient du niveau n_h = 3. Selon l'équation (1), la longueur d'onde correspondante est :

$$\lambda = \frac{1}{R_\infty \cdot \left(\frac{1}{n_b^2} - \frac{1}{n_h^2}\right)} = \frac{1}{(1{,}097\times10^7\ \mathrm{m}^{-1})\times\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{3^2}\right)} = \mathbf{656\ nm}$$

c) λ_{max} = 1,24×10^{-5} m

Pour la série de Humphreys, qui rassemble les transitions vers le niveau 6 (n_b = 6), la chute la plus faible d'un électron est celle où l'électron provient du niveau n_h = 7. Selon l'équation (1), la longueur d'onde correspondante est :

$$\lambda = \frac{1}{R_\infty \cdot \left(\frac{1}{n_b^2} - \frac{1}{n_h^2}\right)} = \frac{1}{(1{,}097\times10^7\ \mathrm{m}^{-1})\times\left(\frac{1}{6^2}-\frac{1}{7^2}\right)} = 12\,369\ \mathrm{nm} = \mathbf{1{,}24\times10^{-5}\ m}$$

retour à la question ▲

retour à la question ▲

9.5 Solution : Vitesse d'électron retour à la question ▲

v = 7,29×10^5 m/s

Attention au piège : le deuxième niveau excité pour l'électron de l'atome d'hydrogène est le niveau n = 3. La vitesse de l'électron, de façon générale, est donnée par :

$$v = \sqrt{\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 m r}} \qquad \text{avec} \qquad r = \frac{4n^2\hbar^2\pi\varepsilon_0}{m_e e^2}$$

L'union des deux équations entraîne :

$$v = \sqrt{\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 m\cdot\left(\frac{4n^2\hbar^2\pi\varepsilon_0}{m_e e^2}\right)}} = \sqrt{\frac{e^4}{16n^2\pi^2\left(\frac{h}{2\pi}\right)^2\varepsilon_0^2}} = \sqrt{\frac{e^4}{16n^2\frac{h^2}{4}\varepsilon_0^2}} = \sqrt{\frac{e^4}{4n^2h^2\varepsilon_0^2}} = \frac{e^2}{2nh\varepsilon_0}$$

$$v = \frac{(1{,}602\times10^{-19}\ \mathrm{C})^2}{2\times3\times(6{,}626\times10^{-34}\ \mathrm{J\cdot s})\times\left(8{,}854\times10^{-12}\ \frac{\mathrm{C^2}}{\mathrm{N\cdot m^2}}\right)} = \mathbf{7,29\times10^5\ \frac{m}{s}}$$

retour à la question ▲

9.6 Solution :Pfund retour à la question ▲

f_{min} = 4,02×10^{13} Hz, f_{max} = 1,32×10^{14} Hz

La plus grande et la plus faible fréquence, associées à la plus grande et la plus faible énergie de transition, surviennent lorsque la transition est la plus grande et la plus petite, c'est-à-dire lorsque l'électron provient du niveau le plus éloigné ou le plus près au-dessus du niveau final de la transition. Le formule de Rydberg implique la longueur d'onde du rayonnement émis, et on peut l'adapter pour indiquer plutôt la fréquence :

$$\frac{1}{\lambda} = R_\infty\cdot\left(\frac{1}{n_b^2}-\frac{1}{n_h^2}\right) \quad \Rightarrow \quad \frac{f}{c} = R_\infty\cdot\left(\frac{1}{n_b^2}-\frac{1}{n_h^2}\right)$$

$$f = cR_\infty\cdot\left(\frac{1}{n_b^2}-\frac{1}{n_h^2}\right)$$

Pour la série de Pfund, le niveau n_b est égal à 5. Le niveau tout juste supérieur, n_h = 6, produira le rayonnement le moins énergétique, donc la fréquence la plus faible f_{min}, et le niveau le plus élevé, soit $n_h = \infty$, produira le rayonnement le plus énergétique, donc la fréquence la plus élevée f_{max}.

Pour la fréquence minimale d'abord :

$$f_{min} = cR_\infty\cdot\left(\frac{1}{n_b^2}-\frac{1}{n_h^2}\right) = \left(2{,}998\times10^8\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)\times\left(1{,}097\times10^7\ \mathrm{m^{-1}}\right)\times\left(\frac{1}{5^2}-\frac{1}{6^2}\right) = \mathbf{4,02\times10^{13}\ Hz}$$

Pour la fréquence maximale :

$$f_{max} = cR_\infty\cdot\left(\frac{1}{n_b^2}-\frac{1}{n_h^2}\right) = \left(2{,}998\times10^8\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)\times\left(1{,}097\times10^7\ \mathrm{m^{-1}}\right)\times\left(\frac{1}{5^2}-\frac{1}{\infty^2}\right) = \mathbf{1,32\times10^{14}\ Hz}$$

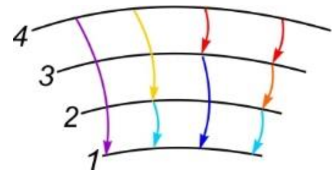
retour à la question ▲

retour à la question ▲

9.7 Solution : Combinaisons

retour à la question ▲

$\lambda_{4\text{-}1}$ = 97,2 nm, $\lambda_{3\text{-}1}$ = 103 nm, $\lambda_{2\text{-}1}$ = 122 nm, $\lambda_{4\text{-}2}$ = 486 nm, $\lambda_{3\text{-}2}$ = 656 nm, $\lambda_{4\text{-}3}$ = 1875 nm



Il existe plusieurs manières pour un électron de passer du niveau 4 au niveau fondamental (1). Il peut le faire en une seule transition (4⟶1), ou en deux transitions de deux manières différentes (4⟶3⟶1 ou 4⟶2⟶1) ou même en trois transitions (4⟶3⟶2⟶1). L'ensemble des transitions observées dans tous ces scénarios sont au nombre de 6 : 4⟶3, 4⟶2, 4⟶1, 3⟶2, 3⟶1 et 2⟶1.

Donc à partir du niveau 4, un électron peut retourner directement au niveau 1. La longueur d'onde émise alors serait donnée par la formule de Rydberg :

$$\frac{1}{\lambda} = R_\infty \cdot \left(\frac{1}{n_b^2} - \frac{1}{n_h^2}\right) \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{1}{R_\infty \cdot \left(\frac{1}{n_b^2} - \frac{1}{n_h^2}\right)} \qquad (1)$$

$$\lambda_{4-1} = \frac{1}{(1{,}097\times10^7\ \mathrm{m^{-1}})\times\left(\frac{1}{1^2}-\frac{1}{4^2}\right)} = \mathbf{97{,}2\ nm}$$

L'électron peut aussi faire deux transitions pour rejoindre le niveau 1, soit une transition du niveau 4 au niveau 2, et ensuite une autre transition jusqu'au niveau 1. Les deux longueurs d'onde produites par ces transitions seraient, selon la même équation (1) :

$$\lambda_{4-2} = \frac{1}{(1{,}097\times10^7\ \mathrm{m^{-1}})\times\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{4^2}\right)} = \mathbf{486\ nm}$$

$$\lambda_{2-1} = \frac{1}{(1{,}097\times10^7\ \mathrm{m^{-1}})\times\left(\frac{1}{1^2}-\frac{1}{2^2}\right)} = \mathbf{122\ nm}$$

L'électron pourrait également faire deux transitions en passant plutôt par le niveau 3. Les deux longueurs d'onde produites par ces transitions seraient alors :

$$\lambda_{4-3} = \frac{1}{(1{,}097\times10^7\ \mathrm{m^{-1}})\times\left(\frac{1}{3^2}-\frac{1}{4^2}\right)} = \mathbf{1\,875\ nm}$$

$$\lambda_{3-1} = \frac{1}{(1{,}097\times10^7\ \mathrm{m^{-1}})\times\left(\frac{1}{1^2}-\frac{1}{3^2}\right)} = \mathbf{103\ nm}$$

Finalement, l'électron pourrait faire trois transitions, d'un seul niveau à la fois. La transition du niveau 4 au niveau 3 a déjà été analysée et produit un photon de 1875 nm. La transition du niveau 3 au niveau 2 entraînerait :

$$\lambda_{3-2} = \frac{1}{(1{,}097\times10^7\ \mathrm{m^{-1}})\times\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{3^2}\right)} = \mathbf{656\ nm}$$

La dernière transition, du niveau 2 vers le niveau 1, a déjà été analysée également et produit un photon de 122 nm.

Les différentes transitions possibles du niveau 4 au niveau 1 produisent 6 longueurs d'onde différentes.

retour à la question ▲

retour à la question ▲

Équations Sect 9.1, #1 à 7 Sect 9.2, #8 à 12 Sect 9.3, #13 à 14 Sect 9.4, #15 à 26 Sect 9.5, #27 à 32
Sect 9.6, #33 à 35 Sect 9.7, #36

9.2 LES PROPRIÉTÉS DU NOYAU

9.8 Solution : Élément mystère retour à la question ▲

a) Le béryllium (Be)

Le nombre de masse *A* et le nombre de neutrons *N* permet de connaître le nombre de protons *Z* :

$$A = N + Z$$

$$Z = A - N \tag{1}$$

$$Z = 8 - 4 \quad = \quad 4$$

L'élément possédant 4 protons est le béryllium.

b) Le platine (Pt)

Selon l'équation (1) trouvée en a) :

$$Z = A - N \quad = \quad 195 - 117 \quad = \quad 78$$

L'élément possédant 78 protons est le platine.

c) L'hydrogène (H)

Si le nombre de masse d'un certain atome est *A* = 1, c'est qu'il y a un seul nucléon, donc aucun neutron et un seul proton. L'élément à un seul proton est l'hydrogène.

retour à la question ▲

9.9 Solution : Iso retour à la question ▲

On peut décortiquer le nombre de neutrons, de protons et de nucléons de chacun des nucléides énumérés. Le nombre de nucléons et le nombre de protons sont indiqués dans le symbole des nucléides. Le nombre de neutrons est la différence de ces deux quantités :

$$A = N + Z \quad \rightarrow \quad N = A - Z$$

Nucléide	Nucléons	Protons	Neutrons
$^{11}_{5}\mathrm{Be}$	11	5	6
$^{13}_{5}\mathrm{Be}$	13	5	8
$^{13}_{6}\mathrm{C}$	13	6	7
$^{13}_{7}\mathrm{N}$	13	7	6
$^{14}_{7}\mathrm{N}$	14	7	7
$^{15}_{7}\mathrm{N}$	15	7	8
$^{13}_{8}\mathrm{O}$	13	8	5
$^{14}_{8}\mathrm{O}$	14	8	6

a) $^{11}_{5}\mathrm{B}$, $^{13}_{7}\mathrm{N}$ et $^{14}_{8}\mathrm{O}$

Les isotones on le même nombre de neutrons. Si on en cherche trois, ceux qui ont 6 neutrons répondent au critère et sont des isotones : $^{11}_{5}\mathrm{B}$, $^{13}_{7}\mathrm{N}$ et $^{14}_{8}\mathrm{O}$.

b) $^{13}_{5}\mathrm{B}$, $^{13}_{6}\mathrm{C}$, $^{13}_{7}\mathrm{N}$ et $^{13}_{8}\mathrm{O}$

Les isobares ont le même nombre de nucléons. On en cherche trois, et seuls les nucléides à 13 nucléons sont au moins trois à partager cette quantité. Il y en a quatre, mais toute combinaison de trois parmi ces quatre nucléides constitue une réponse.

c) $^{15}_{7}\mathrm{N}$

Le nucléide le plus lourd est celui ayant le plus de nucléons, c'est-à-dire le nucléide $^{15}_{7}\mathrm{N}$ dans la liste fournie. Le défaut de masse (l'énergie de liaison) fait en sorte que la masse atomique n'est pas exactement 15 u, mais cette imprécision ne pourra pas intervertir l'ordre croissant des masses atomiques des nucléides de cette liste, et comme aucun autre n'a 15 nucléons, aucun autre ne peut avoir une masse aux environs de 15 u.

retour à la question ▲

retour à la question ▲

retour à la question ▲

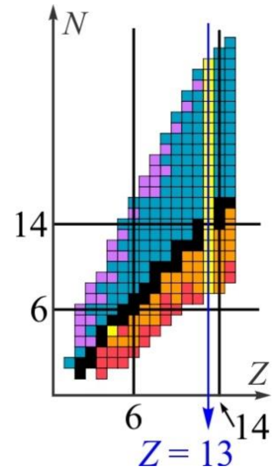
9.10 Solution : La carte des nucléides retour à la question ▲

a) 22 isotopes

Les isotopes sont tous les nucléides ayant le même nombre de protons. L'aluminium est l'élément possédant 13 protons.

Si on observe sur la carte des nucléides la colonne correspondant à $Z = 13$ et que l'on compte le nombre de carrés (correspondant à des nucléides observés/documentés), les carrés jaunes sous la ligne bleue sur la figure ci-contre, on en compte 22.

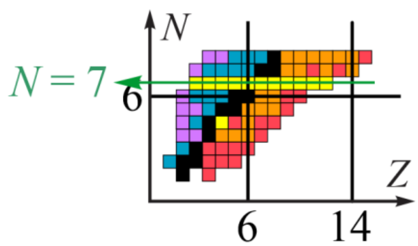
Il existe donc 22 isotopes de l'aluminium.



b) 11 isotones

Les isotones sont tous les nucléides ayant le même nombre de neutrons. Le fluor ${}^{16}_{9}\mathrm{F}$ possède 6 neutrons ($N = A - Z \;=\; 16 - 9 \;=\; 7$).

Si on observe sur la carte des nucléides la ligne correspondant à $N = 7$ et que l'on compte le nombre de carrés (correspondant à des nucléides observés/documentés), les carrés jaunes sous la ligne verte, on en compte 11. Il existe donc 11 isotones du fluor 16.



retour à la question ▲

9.11 Solution : Rayon du baryum retour à la question ▲

r = 6,19 fm

Le rayon d'un noyau est donné par :

$$r = 1{,}20\ \text{fm} \times A^{1/3}$$

Le baryum ${}^{137}_{56}\mathrm{Ba}$ possède A = 137 nucléons, donc :

$$r = 1{,}20\ \text{fm} \times (137)^{1/3} \quad = \quad \mathbf{6{,}19\ fm}$$

retour à la question ▲

9.12 Solution : Nucléide recherché retour à la question ▲

Le cuivre ou le zinc

Le rayon d'un noyau est donné par :

$$r = 1{,}20\ \text{fm} \times A^{1/3},$$

avec « fm » qui signifie femtomètres, ou 10^{-15} m. Le rayon indiqué du noyau est donc de 4,80 fm. Le nombre de nucléons A est donc :

$$A = (r/1{,}20\ \text{fm})^3 \quad = \quad \left(\frac{4{,}80\ \text{fm}}{1{,}20\ \text{fm}}\right)^3 \quad = \quad \mathbf{64}$$

On cherche à identifier un nucléide possédant 64 nucléons, c'est-à-dire un nucléide dont la masse atomique est d'environ 64 u. Selon le tableau périodique, on constate qu'il peut s'agir entre autres du cuivre ou du zinc. D'autres éléments peuvent avoir des isotopes avec une masse d'environ 64 u, mais les principaux candidats sont le cuivre et le zinc.

retour à la question ▲

9.3 L'ÉNERGIE DE LIAISON

9.13 Solution : Énergie de liaison retour à la question ▲

retour à la question ▲

a) E_l = 28,3 MeV

L'énergie de liaison est donnée par :

$$E_l = (Zm_H + Nm_n - M)c^2 \qquad (1)$$

Pour l'hélium ${}_{2}^{4}\mathrm{He}$, on a Z = 2, N = 2 et $M_{^4He} = 4{,}002\ 603\ 2\ \mathrm{u}$. On a donc :

$$E_l = (2 \times 1{,}007\ 825\ 0\ \mathrm{u} + 2 \times 1{,}008\ 664\ 9\ \mathrm{u} - 4{,}002\ 603\ 3\ \mathrm{u}) \times c^2$$

$$E_l = (0{,}030\ 376\ 6\ \mathrm{u})c^2 \quad = \quad (0{,}030\ 376\ 6\ \mathrm{u}) \times \frac{931{,}5\ \mathrm{MeV}}{u} \quad = \quad \mathbf{28{,}3\ MeV}$$

b) E_l = 225 MeV

À partir de l'équation (1), pour l'aluminium ${}_{13}^{27}\mathrm{Al}$, avec Z = 13, N = 14 et $M_{^{27}\mathrm{Al}} = 26{,}931\ 538\ 6\ \mathrm{u}$, on a :

$$E_l = (13 \times 1{,}007\ 825\ 0\ \mathrm{u} + 14 \times 1{,}008\ 664\ 9\ \mathrm{u} - 26{,}981\ 538\ 6\ \mathrm{u}) \times c^2$$

$$E_l = (0{,}241\ 495\ 0\ \mathrm{u})c^2 \quad = \quad (0{,}241\ 495\ 0\ \mathrm{u}) \times \frac{931{,}5\ \mathrm{MeV}}{u} \quad = \quad \mathbf{225\ MeV}$$

c) E_l = 8,48 MeV

À partir de l'équation (1), pour l'hydrogène ${}_{1}^{3}\mathrm{H}$, avec Z = 1, N = 2 et $M_{^3\mathrm{H}} = 3{,}016\ 049\ 3\ \mathrm{u}$, on a :

$$E_l = (1 \times 1{,}007\ 825\ 0\ \mathrm{u} + 2 \times 1{,}008\ 664\ 9\ \mathrm{u} - 3{,}016\ 049\ 8\ \mathrm{u}) \times c^2$$

$$E_l = (0{,}009\ 105\ 5\ \mathrm{u})c^2 \quad = \quad (0{,}009\ 105\ 5\ \mathrm{u}) \times \frac{931{,}5\ \mathrm{MeV}}{u} \quad = \quad \mathbf{8{,}48\ MeV}$$

retour à la question ▲

retour à la question ▲

9.14 Solution : Énergie de liaison par nucléon retour à la question ▲

a) $E_{l/n}$ = 8,56 MeV

L'énergie de liaison par nucléon est donnée par :

$$E_{l/n} = \frac{E_l}{A} = \frac{(Zm_H + Nm_n - M)c^2}{N+Z} \quad (1)$$

Pour le calcium $^{40}_{20}\text{Ca}$, on a Z = 20, N = 20 et $M_{^{40}\text{Ca}}$ = 39,962 383 7 u. On a donc :

$$E_{l/n} = \frac{(20\times 1{,}007\,825\,0\ \text{u} + 20\times 1{,}008\,664\,9\ \text{u} - 39{,}962\,383\,7\ \text{u})\times c^2}{20+20}$$

$$E_{l/n} = (0{,}009\,185\,4\ \text{u})c^2 = \left(0{,}009\,185\,4\ \text{u}\times\frac{931{,}5\ \text{MeV}}{c^2}\right)\times c^2 = \mathbf{8{,}56\ MeV}$$

b) $E_{l/n}$ = 8,79 MeV

À partir de l'équation (1), pour le fer $^{56}_{26}\text{Fe}$, on a Z = 26, N = 30 et $M_{^{56}\text{Fe}} = 55{,}934\,939\,3\ \text{u}$. On a donc :

$$E_{l/n} = \frac{(26\times 1{,}007\,825\,0\ \text{u} + 30\times 1{,}008\,664\,9\ \text{u} - 55{,}934\,939\,3\ \text{u})\times c^2}{26+30}$$

$$E_{l/n} = (0{,}009\,436\,7\ \text{u})c^2 = \left(0{,}009\,436\,7\ \text{u}\times\frac{931{,}5\ \text{MeV}}{c^2}\right)\times c^2 = \mathbf{8{,}79\ MeV}$$

c) $E_{l/n}$ = 8,74 MeV

À partir de l'équation (1), pour le zinc $^{64}_{30}\text{Zn}$, on a Z = 30, N = 34 et $M_{^{64}\text{Zn}} = 63{,}929\,144\,8\ \text{u}$. On a donc :

$$E_{l/n} = \frac{(30\times 1{,}007\,825\,0\ \text{u} + 34\times 1{,}008\,664\,9\ \text{u} - 63{,}929\,144\,8\ \text{u})\times c^2}{30+34}$$

$$E_{l/n} = (0{,}009\,378\,3\ \text{u})c^2 = \left(0{,}009\,378\,3\ \text{u}\times\frac{931{,}5\ \text{MeV}}{c^2}\right)\times c^2 = \mathbf{8{,}74\ MeV}$$

d) Le fer $^{56}_{26}\text{Fe}$

Parmi les trois énergies de liaison par nucléon trouvées, la plus élevée est celle du fer $^{56}_{26}\text{Fe}$, car 8,79 MeV > 8,74 MeV > 8,56 MeV.

retour à la question ▲

9.4 LA RADIOACTIVITÉ

9.15 Solution : Nombre d'atomes retour à la question ▲

N = 4,59×10^21 at

Selon la première équation, le nombre d'atomes d'un échantillon contenant un seul type de nucléide est donné par :

$$N = \frac{m_{éch}}{M_{at}} = \frac{1{,}50\ \text{g}}{M_{^{197}Au}} = \frac{0{,}001\,50\ \text{kg}}{196{,}966\,568\,7\ \frac{\text{u}}{\text{at}}}\times\left(\frac{1\ \text{u}}{1{,}660\,538\,9\times 10^{-27}\ \text{kg}}\right) = \mathbf{4{,}59\times 10^{21}\ at}$$

Selon la seconde équation, le nombre est :

$$N = \frac{m_{éch}\cdot N_A}{M_{mol}} = \frac{1{,}50\ \text{g}\times\left(6{,}022\,14\times 10^{23}\ \frac{\text{at}}{\text{mol}}\right)}{M_{^{197}Au}} = \frac{1{,}50\ \text{g}\times\left(6{,}022\times 10^{23}\ \frac{\text{at}}{\text{mol}}\right)}{196{,}966\,568\,7\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = \mathbf{4{,}59\times 10^{21}\ at}$$

retour à la question ▲

9.16 Solution : Demi-vie

retour à la question ▲

a) $t_{1/2}$ = 21,0 s

La demi-vie, à partir de la constante de désintégration, est donnée par :

$$t_{½} = \frac{\ln 2}{\lambda} \tag{1}$$

Pour un nucléide dont la constante de désintégration vaut $\lambda = 3{,}30 \times 10^{-2}\,\frac{\text{dés.}}{\text{at·s}}$:

$$t_{½} = \frac{\ln 2}{3{,}30\times10^{-2}\,\frac{\text{dés.}}{\text{at·s}}} \quad = \quad \mathbf{21{,}0\ s}$$

b) $t_{1/2}$ = 8,09 h

Pour un nucléide dont la constante de désintégration vaut $\lambda = 2{,}38 \times 10^{-5}\,\frac{\text{dés.}}{\text{at·s}}$:

$$t_{½} = \frac{\ln 2}{2{,}38\times10^{-5}\,\frac{\text{dés.}}{\text{at·s}}} \quad = \quad \mathbf{8{,}09\ h}$$

c) $t_{1/2}$ = $1{,}40\times10^{10}$ a

Pour un nucléide dont la constante de désintégration vaut $\lambda = 1{,}57 \times 10^{-18}\,\frac{\text{dés.}}{\text{at·s}}$:

$$t_{½} = \frac{\ln 2}{1{,}57\times10^{-18}\,\frac{\text{dés.}}{\text{at·s}}} \quad = \quad \mathbf{1{,}40 \times 10^{10}\ a}$$

retour à la question ▲

9.17 Solution : Uranium 238

retour à la question ▲

R = $4{,}92\times10^{12}$ dés./s

À un instant donné, le taux de désintégration R est lié à la constante de désintégration et au nombre de noyaux par :

$$R = \lambda N$$

La constante de désintégration doit être exprimée à partir de la demi-vie de l'uranium 238, soit $t_{1/2}$ = $4{,}46\times10^{9}$ a. Le taux de désintégration est donc :

$$R = \frac{\ln 2}{t_{½}} \cdot N \quad = \quad \frac{\ln 2}{(4{,}46\times10^{9}\ \text{a})\times\left(\frac{365{,}24\ \text{j}}{1\ \text{a}}\times\frac{24\ \text{h}}{1\ \text{j}}\times\frac{3\,600\ \text{s}}{1\ \text{h}}\right)} \times 10^{30} \quad = \quad \mathbf{4{,}92 \times 10^{12}\ Bq}$$

retour à la question ▲

9.18 Solution : Béryllium

retour à la question ▲

R = 1,29×10^16 Bq

L'activité d'un échantillon de béryllium est donnée par :

$$R = \lambda N$$

On doit donc d'abord exprimer la constante de désintégration à partir de la demi-vie du béryllium ${}^{7}_{4}\text{Be}$, et le nombre d'atomes de l'échantillon :

$$t_{½} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad \rightarrow \quad \lambda = \frac{\ln 2}{t_{½}} \tag{1}$$

$$N = \frac{m}{M} \tag{2}$$

L'union des équations (1) et (2) entraîne :

$$R = \lambda N = \left(\frac{\ln 2}{t_{½}}\right) \times \left(\frac{m}{M}\right) = \frac{m \cdot \ln 2}{M \cdot t_{½}} = \frac{1{,}00\ \text{g} \times \ln 2}{7{,}016\ 929\ \text{u} \times 53{,}3\ \text{j}}$$

En appliquant les conversions appropriées :

$$R = \frac{0{,}001\ 00\ \text{kg} \times \ln 2}{7{,}016\ 929\ \frac{\text{u}}{\text{at}} \times \left(\frac{1{,}660\ 538\ 9 \times 10^{-27}\ \text{kg}}{1\ \text{u}}\right) \times 53{,}3\ \text{j} \times \left(\frac{24\ \text{h}}{1\ \text{j}} \times \frac{3\ 600\ \text{s}}{1\ \text{h}}\right)} = \mathbf{1{,}29 \times 10^{16}\ Bq}$$

retour à la question ▲

9.19 Solution : Technétium

retour à la question ▲

a) R_0 = 3,90×10^17 Bq

L'activité initiale est liée à la constante de désintégration et au nombre initial de noyaux, lui-même lié à la masse de l'échantillon :

$$R_0 = \lambda N_0 \qquad \text{avec} \qquad \lambda = \frac{\ln 2}{t_{½}} \qquad \text{et} \qquad N_0 = \frac{m_0}{M}$$

$$R_0 = \lambda N_0 = \left(\frac{\ln 2}{t_{½}}\right) \times \left(\frac{m_0}{M}\right) = \frac{m_0 \cdot \ln 2}{M \cdot t_{½}} = \frac{2{,}00\ \text{g} \times \ln 2}{98{,}906\ 254\ 7\ \text{u} \times 6{,}01\ \text{h}}$$

En appliquant les conversions appropriées :

$$R_0 = \frac{0{,}002\ 00\ \text{kg} \times \ln 2}{98{,}906\ 254\ 7\ \frac{\text{u}}{\text{at}} \times \left(\frac{1{,}660\ 538\ 9 \times 10^{-27}\ \text{kg}}{1\ \text{u}}\right) \times 6{,}01\ \text{h} \times \left(\frac{3\ 600\ \text{s}}{1\ \text{h}}\right)} = \mathbf{3{,}90 \times 10^{17}\ Bq}$$

b) R = 6,06×10^12 Bq

L'activité décroit selon l'équation :

$$R = R_0 e^{-\lambda t}, \qquad \text{avec} \qquad \lambda = \frac{\ln 2}{t_{½}}$$

$$R = R_0 e^{-\frac{\ln 2}{t_{½}} \times t} = (3{,}90 \times 10^{17}\ \text{Bq}) \times e^{\left[-\frac{\ln 2}{6{,}01\ \text{h}} \times 4{,}00\ \text{j} \times \left(\frac{24\ \text{h}}{1\ \text{j}}\right)\right]} = \mathbf{6{,}06 \times 10^{12}\ Bq}$$

retour à la question ▲

9.20 Solution : Thorium retour à la question ▲

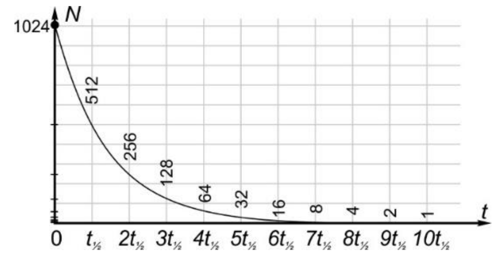
a) $n = 10t_{½}$

Après chaque durée d'une demi-vie, la quantité d'atomes intacts diminue d'un facteur 2. L'objectif est donc de calculer combien de fois 1 024 doit être divisé par 2 pour obtenir 1, ou en d'autres mots, la puissance de 2 qui donne 1 024.

On peut procéder par calculs successif jusqu'à obtenir 1 024, ou utiliser une loi des logarithmes selon laquelle :

$$2^n = 1\,024 \Rightarrow \qquad n = \log 1\,024 \div \log 2 \quad = \quad \mathbf{10}$$

On doit donc laisser écouler 10 demi-vies pour ne trouver, théoriquement, qu'un atome restant (voir figure ci-contre).



b) $t = 1{,}4\times10^{11}$ a

10 demi-vies d'une durée de $1{,}4\times10^{10}$ ans représentent une durée totale de :

$$t = 10 \times (1{,}4\times10^{10}\text{ a}) \quad = \quad \mathbf{1{,}4\times10^{11}\ a}$$

retour à la question ▲

9.21 Solution : Phosphore retour à la question ▲

a) $\lambda = 5{,}63\times10^{-7}$ dés/at.s

La constante de désintégration se trouve à partir de la demi-vie :

$$t_{½} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad \Rightarrow \qquad \lambda = \frac{\ln 2}{t_{½}} \quad = \quad \frac{\ln 2}{14{,}26\text{ j}\times\left(\frac{24\text{ h}}{1\text{ j}}\times\frac{3\,600\text{ s}}{1\text{ h}}\right)} \quad = \quad \mathbf{5{,}63\times10^{-7}\ \frac{dés.}{at\cdot s}}$$

b) $N_0 = 6{,}12\times10^{16}$ at

Le nombre d'atomes d'un échantillon dont la masse est connue est :

$$N = \frac{m}{M} \quad = \quad \frac{3{,}25\times10^{-9}\text{ kg}}{31{,}973\,\frac{\text{u}}{\text{at}}\times\left(1{,}661\times10^{-27}\,\frac{\text{kg}}{\text{u}}\right)} \quad = \quad \mathbf{6{,}12\times10^{16}\ at}$$

Cette quantité est celle du début de l'expérience (décrite lors des questions suivantes), on peut donc la désigner par N_0.

c) $R_0 = 3{,}44\times10^{10}$ Bq

L'activité initiale R_0 de l'échantillon est liée à N_0 et λ par :

$$R_0 = \lambda N_0 \quad = \quad \left(5{,}63\times10^{-7}\,\frac{\text{dés.}}{\text{at·s}}\right)\times(6{,}12\times10^{16}\text{ at}) \quad = \quad \mathbf{3{,}44\times10^{10}\ \frac{dés.}{s}}$$

d) $R = 3{,}20\times10^{10}$ Bq

L'activité décroît avec le temps à partir de l'activité initiale R_0, selon l'équation :

$$R = R_0e^{-\lambda t} \quad = \quad \left(3{,}44\times10^{10}\,\frac{\text{dés.}}{\text{s}}\right)\times e^{\left[-\left(5{,}63\times10^{-7}\,\frac{\text{dés.}}{\text{at·s}}\right)\times36\text{ h}\times\left(\frac{3\,600\text{ s}}{\text{h}}\right)\right]} \quad = \quad \mathbf{3{,}20\times10^{10}\ \frac{dés.}{s}}$$

e) $N_0 = 3{,}76\times10^{16}$ at

Le nombre de noyaux intacts après un temps t est donnée donné par :

$$N = N_0e^{-\lambda t}$$

On a trouvé en b) le nombre d'atomes N_0, donc :

$$N = N_0e^{-\lambda t} \quad = \quad (6{,}12\times10^{16}\text{ at})\times e^{\left[-\left(5{,}63\times10^{-7}\,\frac{\text{dés.}}{\text{at·s}}\right)\times10{,}0\text{ j}\times\left(\frac{3\,600\text{ s}}{\text{h}}\times\frac{24\text{ h}}{\text{j}}\right)\right]} \quad = \quad \mathbf{3{,}76\times10^{16}\ at}$$

retour à la question ▲

retour à la question ▲

9.22 Solution : Combien d'atomes retour à la question ▲

a) $N = 1{,}30 \times 10^{8}$ at

La proportion d'atomes de carbone 14 dans un échantillon de carbone est de $N_{14C}/N_c = 1{,}30 \times 10^{-12}$. Dans 10^{20} atomes de carbone, on aura donc :

$$N_{^{14}C} = N \times \frac{N_{^{14}C}}{N_C} = 10^{20}\ \text{at} \times (1{,}30 \times 10^{-12}) = \mathbf{1{,}30 \times 10^{8}\ at}$$

b) $N = 1{,}63 \times 10^{11}$ at

À partir de la masse de carbone d'un échantillon, le nombre d'atomes de carbone 14 est :

$$N_{^{14}C} = \frac{m}{M} \times \frac{N_{^{14}C}}{N_C} = \frac{2{,}50 \times 10^{-3}\ \text{kg}}{12{,}011\ \frac{\text{u}}{\text{at}} \times \left(1{,}661 \times 10^{-27}\ \frac{\text{kg}}{\text{u}}\right)} \times (1{,}30 \times 10^{-12}) = \mathbf{1{,}63 \times 10^{11}\ at}$$

c) $N = 7{,}36 \times 10^{14}$ at

Comme en b), à partir de la masse de carbone d'un échantillon, le nombre d'atomes de carbone 14 est :

$$N_{^{14}C} = \frac{m}{M} \times \frac{N_{^{14}C}}{N_C} = \frac{11{,}3\ \text{kg}}{12{,}011\ \frac{\text{u}}{\text{at}} \times \left(1{,}661 \times 10^{-27}\ \frac{\text{kg}}{\text{u}}\right)} \times (1{,}30 \times 10^{-12}) = \mathbf{7{,}36 \times 10^{14}\ at}$$

retour à la question ▲

9.23 Solution : Chat radioactif retour à la question ▲

$R = 173$ Bq

La masse de carbone du chat, dans sa masse totale, est 18,5 % de sa masse, donc :

$$m_C = 0{,}185 \times 3{,}75\ \text{kg} = 0{,}694\ \text{kg}$$

Le chat étant vivant, la proportion d'atomes de carbones 14 dans tous ses atomes de carbone est la même que dans l'atmosphère. La quantité d'atomes de carbone 14 est donc donnée par :

$$N_{0,^{14}C} = \frac{m}{M} \times \frac{N_{^{14}C}}{N_C} = \frac{0{,}694\ \text{kg}}{12{,}011\ \frac{\text{u}}{\text{at}} \times \left(1{,}661 \times 10^{-27}\ \frac{\text{kg}}{\text{u}}\right)} \times (1{,}30 \times 10^{-12}) = \mathbf{4{,}52 \times 10^{13}\ at}$$

L'activité radioactive de cette quantité d'atomes de carbone 14 est donnée par :

$$R_0 = \lambda N_0,$$

où la constante de désintégration est liée à la demi-vie par :

$$t_{½} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad \rightarrow \quad \lambda = \frac{\ln 2}{t_{½}} = \frac{\ln 2}{5\,730\ \text{a} \times \left(\frac{365{,}24\ \text{j}}{1\ \text{a}} \times \frac{24\ \text{h}}{1\ \text{j}} \times \frac{3\,600\ \text{s}}{1\ \text{h}}\right)} = \mathbf{3{,}83 \times 10^{-12}\ \frac{dés.}{at \cdot s}}$$

Donc :

$$R_0 = \lambda N_0 = \left(3{,}83 \times 10^{-12}\ \frac{\text{dés.}}{\text{at}\cdot\text{s}}\right) \times (4{,}52 \times 10^{13}\ \text{at}) = \mathbf{173\ Bq}$$

retour à la question ▲

9.24 Solution : Le Saint-Suaire retour à la question ▲

a) N_C = 6,22×10²¹ at

On détermine le nombre total d'atomes de carbone dans l'échantillon à partir de la masse atomique moyenne (pondérée) du carbone naturel :

$$N_C = \frac{m}{M} = \frac{0{,}124\times10^{-3}\ \text{kg}}{12{,}011\ \frac{\text{u}}{\text{at}}\times\left(1{,}661\times10^{-27}\ \frac{\text{kg}}{\text{u}}\right)} = \mathbf{6{,}22\times10^{21}\ at}$$

b) $N_{0\text{-}14C}$ = 8,08×10⁹ at

Dans la quantité trouvée en a), les atomes de carbone 14 représente la faible fraction donnée par :

$$N_{14_C} = \frac{m}{M}\times\frac{N_{14C}}{N_C} = \frac{0{,}124\times10^{-3}\ \text{kg}}{12{,}011\ \frac{\text{u}}{\text{at}}\times\left(1{,}661\times10^{-27}\ \frac{\text{kg}}{\text{u}}\right)}\times(1{,}30\times10^{-12}) = \mathbf{8{,}08\times10^{9}\ at}$$

C'est la quantité initiale d'atomes de carbone 14, N_0, au début de la période de désintégration.

c) N_{14C} = 7,43×10⁹ at

Le nombre d'atomes de carbone 14 dans l'échantillon au moment où les mesures sont faites (c'est-à-dire aujourd'hui) est plus faible que le nombre initial N_0 (durant la vie et au moment de la mort des plantes ayant servi à confectionner le tissu). On ne peut donc le calculer à partir de la masse de l'échantillon.

Par contre, le nombre d'atomes radioactifs dans un échantillon est directement lié à l'activité radioactive de cet échantillon. On peut alors connaître le nombre d'atomes radioactifs à partir du taux de désintégration de 28,5 mBq, par :

$$R = \lambda N, \qquad \text{avec} \qquad \lambda = \frac{\ln 2}{t_{½}}, \qquad \text{car } t_{½} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Donc :

$$N = \frac{R}{\lambda} = \frac{R}{\left(\ln 2/t_{½}\right)} = \frac{R t_{½}}{\ln 2} = \frac{(28{,}5\times10^{-3}\ \text{Bq})\times 5\,730\ \text{a}\times\left(\frac{365{,}24\ \text{j}}{\text{a}}\times\frac{24\ \text{h}}{\text{j}}\times\frac{3\,600\ \text{s}}{\text{h}}\right)}{\ln 2} = \mathbf{7{,}43\times10^{9}\ at}$$

d) t = 688 a

Puisque l'on connaît les quantités d'atomes $N_{0\text{-}14C}$ et N_{14C}, on peut utiliser ces deux quantités directement dans l'équation :

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \qquad \rightarrow \qquad t = \frac{-1}{\lambda}\ln\left(\frac{N}{N_0}\right)$$

où la constante de désintégration est liée à la demi-vie du carbone 14 par :

$$t_{½} = \frac{\ln 2}{\lambda} \qquad \rightarrow \qquad \lambda = \frac{\ln 2}{t_{½}} = \frac{\ln 2}{5\,730\ \text{a}\times\left(\frac{365{,}24\ \text{j}}{\text{a}}\times\frac{24\ \text{h}}{\text{j}}\times\frac{3\,600\ \text{s}}{\text{h}}\right)} = 3{,}83\times10^{-12}\ \frac{\text{dés.}}{\text{at·s}}$$

Donc :

$$t = \frac{-1}{\lambda}\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = \frac{-1}{3{,}83\times10^{-12}\ \frac{\text{dés.}}{\text{at·s}}}\ln\left(\frac{7{,}43\times10^{9}\ \text{at}}{8{,}08\times10^{9}\ \text{at}}\right) = \mathbf{2{,}17\times10^{10}\ s}$$

Convertie en année, cette durée est :

$$t = (2{,}17\times10^{10}\ \text{s})\times\left(\frac{1\ \text{h}}{3\,600\ \text{s}}\times\frac{1\ \text{j}}{24\ \text{h}}\times\frac{1\ \text{a}}{365{,}24\ \text{j}}\right) = \mathbf{688\ a}$$

Le tissu analysé a moins de 700 ans, et n'avait donc rien à voir avez l'époque de Jésus.

Une autre solution est légèrement plus longue car elle demande le calcul préalable du taux de désintégration initial R_0.

La quantité d'atomes trouvée en c) permet d'évaluer l'activité radioactive au même instant (moment de la fabrication du tissus). C'est R_0 :

$$R_0 = \lambda N_0 = \left(3{,}83\times10^{-12}\ \frac{\text{dés.}}{\text{at·s}}\right)\times(8{,}08\times10^{13}\ \text{at}) = \mathbf{3{,}10\times10^{-2}\ Bq}$$

On peut comparer ce taux de désintégration au taux actuel de 28,5×10⁻³ Bq, donné dans l'énoncé, pour isoler et calculer la durée écoulée depuis la fabrication du tissu :

$$R = R_0 e^{-\lambda t}$$

$$t = \frac{-1}{\lambda}\ln\left(\frac{R}{R_0}\right) = \frac{-1}{3{,}83\times10^{-12}\ \frac{\text{dés.}}{\text{at·s}}}\ln\left(\frac{28{,}5\times10^{-3}\ \text{at}}{3{,}10\times10^{-2}\ \text{at}}\right) = \mathbf{2{,}17\times10^{10}\ s}$$

C'est évidemment la même durée, correspondant à 688 ans.

retour à la question ▲
retour à la question ▲

retour à la question ▲

9.25 Solution : Forte activité retour à la question ▲

t = 10 000 a

On détermine d'abord la quantité d'atomes de carbone 14 contenus dans l'échantillon (de 4,70 g = 0,004 70 kg) au moment de la mort de l'individu :

$$N_{0\,^{14}\mathrm{C}} = \frac{m}{M} \times \frac{N_{^{14}\mathrm{C}}}{N_C} = \frac{0{,}004\,70 \text{ kg}}{12{,}011\,\frac{\text{u}}{\text{at}} \times \left(1{,}661 \times 10^{-27}\,\frac{\text{kg}}{\text{u}}\right)} \times (1{,}30 \times 10^{-12}) = 3{,}06 \times 10^{11} \text{ at}$$

Cette quantité d'atomes permet d'évaluer l'activité radioactive au même instant (mort de l'individu). C'est R_0 :

$$R_0 = \lambda N_0,$$

où la constante de désintégration est liée à la demi-vie du carbone 14 par :

$$t_{½} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{\ln 2}{t_{½}} = \frac{\ln 2}{5\,730 \text{ a} \times \left(\frac{365{,}24 \text{ j}}{\text{a}} \times \frac{24 \text{ h}}{\text{j}} \times \frac{3\,600 \text{ s}}{\text{h}}\right)} = 3{,}83 \times 10^{-12}\,\frac{\text{dés.}}{\text{at·s}}$$

Donc :

$$R_0 = \lambda N_0 = \left(3{,}83 \times 10^{-12}\,\frac{\text{dés.}}{\text{at·s}}\right) \times 3{,}06 \times 10^{11} \text{ at} = 1{,}17 \text{ Bq}$$

On peut comparer ce taux de désintégration au taux actuel de 0,350 Bq, donné dans l'énoncé, pour isoler et calculer la durée écoulée depuis la fabrication du tissu :

$$R = R_0 e^{-\lambda t}$$

$$t = \frac{-1}{\lambda} \ln\left(\frac{R}{R_0}\right) = \frac{-1}{\left(3{,}83 \times 10^{-12}\,\frac{\text{dés.}}{\text{at·s}}\right)} \times \ln\left(\frac{0{,}350 \text{ Bq}}{1{,}17 \text{ Bq}}\right) = 3{,}16 \times 10^{11} \text{ s}$$

Convertie en année, cette durée est :

$$t = 3{,}16 \times 10^{11} \text{ s} \times \frac{1 \text{ h}}{3\,600 \text{ s}} \times \frac{1 \text{ j}}{24 \text{ h}} \times \frac{1 \text{ a}}{365{,}24 \text{ j}} = 1{,}00 \times 10^{4} \text{ a} \approx \mathbf{10\,000 \text{ a}}$$

retour à la question ▲

retour à la question ▲

9.26 Solution : Les dinosaures retour à la question ▲

R = 0

On détermine d'abord la quantité d'atomes de carbone 14 contenus dans l'échantillon d'un gramme :

$$N_{0\,^{14}C} = \frac{m}{M} \times \frac{N_{^{14}C}}{N_C} \quad = \quad \frac{0{,}001\ 00\ \text{kg}}{12{,}011\ \frac{\text{u}}{\text{at}} \times \left(1{,}661 \times 10^{-27}\ \frac{\text{kg}}{\text{u}}\right)} \times (1{,}30 \times 10^{-12}) \quad = \quad 6{,}52 \times 10^{10}\ \text{at}$$

L'activité radioactive de cette quantité d'atomes de carbone 14 est :

$$R_0 = \lambda N_0,$$

avec :

$$t_{½} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad \rightarrow \quad \lambda = \frac{\ln 2}{t_{½}} \quad = \quad \frac{\ln 2}{5\ 730\ \text{a} \times \left(\frac{365{,}24\ \text{j}}{\text{a}} \times \frac{24\ \text{h}}{\text{j}} \times \frac{3\ 600\ \text{s}}{\text{h}}\right)} \quad = \quad 3{,}83 \times 10^{-12}\ \frac{\text{dés.}}{\text{at·s}}$$

Donc :

$$R_0 = \lambda N_0 \quad = \quad \left(3{,}83 \times 10^{-12}\ \frac{\text{dés.}}{\text{at·s}}\right) \times 6{,}52 \times 10^{11}\ \text{at} \quad = \quad 0{,}250\ \text{Bq}$$

C'est l'activité au moment de la mort, donc R_0. L'activité après un temps *t* est donnée par :

$$R = R_0 e^{-\lambda t}$$

Pour ce calcul, il est plus simple de ne pas convertir en secondes les unités de la constante de désintégration, car la durée de 65 000 000 d'années traitée est en années comme la demi-vie :

$$R = R_0 e^{-\left(\frac{\ln 2}{t_{½}}\right) \times t} \quad = \quad 0{,}250\ \text{Bq} \times e^{\left(\frac{-\ln 2}{5\ 730\ \text{a}} \times (65{,}0 \times 10^{6}\ \text{a})\right)} \quad = \quad \mathbf{0}$$

Le taux de désintégration deviendrait imperceptible. Mathématiquement il existe encore, mais dans les faits, il n'y a pratiquement plus d'atomes de carbone 14. La durée de 65 millions d'années représente plus de 11 000 demi-vies, et la quantité d'atomes de carbone 14 est divisée par un facteur $2^{11\ 000}$! Cette quantité est gigantesque, et même des quantités d'atomes de l'ordre de 10^{100} atomes seraient réduites mathématiquement à moins d'un atome, ce qui veut dire que les probabilités de désintégration de chaque atome feront en sorte, durant ce long délai, qu'ils se seront tous désintégrés.

retour à la question ▲

retour à la question ▲

Équations Sect 9.1, #1 à 7 Sect 9.2, #8 à 12 Sect 9.3, #13 à 14 Sect 9.4, #15 à 26 Sect 9.5, #27 à 32
Sect 9.6, #33 à 35 Sect 9.7, #36

9.5 LES MODES DE DÉSINTÉGRATION

9.27 Solution : Nucléide initial retour à la question ▲

a) $^{24}_{7}\mathrm{N}$

On peut identifier le nucléide initial en rajoutant le neutron émis au noyau résultant :

$$^{23}_{7}\mathrm{N} + n \rightarrow {}^{23+1}_{7}\mathrm{X} \rightarrow {}^{24}_{7}\mathrm{X}$$

Le nucléide résultant a un neutron de plus, mais toujours 7 protons. C'est donc toujours de l'azote, de l'azote $^{24}_{7}\mathrm{N}$.

b) $^{106}_{52}\mathrm{Te}$

On peut identifier le nucléide initial en rajoutant une particule alpha, c'est-à-dire 2 protons et 2 neutrons (donc 4 nucléons), au noyau résultant :

$$^{102}_{50}\mathrm{Sn} + {}^{4}_{2}\alpha \rightarrow {}^{102+4}_{50+2}\mathrm{X} \rightarrow {}^{106}_{52}\mathrm{X}$$

Selon le tableau périodique, l'élément possédant 52 protons est le tellure. Le nucléide initial est donc le tellure $^{106}_{52}\mathrm{Te}$.

c) $^{30}_{15}\mathrm{P}$

Une désintégration β^+ est l'émission d'un positron. L'équation de la réaction est :

$$^{?}_{?}\mathrm{X} \rightarrow {}^{30}_{14}\mathrm{Si} + e^+$$

L'émission d'un positron ne modifie pas le nombre de nucléons; les 30 nucléons demeurent au nombre de 30, mais l'émission d'un positron vient du fait qu'un proton s'est transformé en neutron en se débarrassant de sa charge positive (via le positron). Il y a donc un proton en moins après la réaction comparativement au noyau initial. L'équation générale de la désintégration β^+ est :

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

Puisque le silicium représente l'atome ${}_{Z-1}^{A}\mathrm{X}'$, son nombre de protons (14) est la valeur « Z–1 », donc Z est :

$$Z - 1 = 14 \Rightarrow \qquad Z = 14 + 1 \quad = \quad 15$$

Le nucléide initial recherché comporte donc 15 protons, ce qui identifie le phosphore, selon le tableau périodique.

Et puisque ce noyau doit comporter tout de même 30 nucléons, il s'agit de phosphore 30, $^{30}_{15}\mathrm{P}$.

retour à la question ▲

retour à la question ▲

9.28 Solution : Type de désintégration retour à la question ▲

a) Désintégration β⁻

$$^{87}_{35}\mathrm{Br} \rightarrow {}^{87}_{36}\mathrm{Kr}$$

La réaction a ajouté un proton au noyau sans modifier le nombre de nucléons. On en déduit donc qu'un neutron s'est transformé en proton lors de la désintégration :

$$Z_{Br} = 35 \qquad\qquad Z_{Kr} = 36$$
$$N_{Br} = 87 - 35 = 52 \quad \Rightarrow \quad N_{Kr} = 87 - 36 = 51$$

Pour qu'un neutron se transforme en proton et obtienne une charge positive, il doit éjecter une charge négative, donc un électron. Il s'agit donc d'une désintégration β⁻.

b) Désintégration α

$$^{213}_{85}\mathrm{At} \rightarrow {}^{209}_{83}\mathrm{Bi}$$

La réaction a enlevé deux protons au noyau et quatre nucléons en tout; donc deux neutrons ont également été enlevés. Puisque la désintégration implique l'émission de nucléons, on peut identifier la particule recherchée en faisant la différence entre les noyaux initial et final :

$$^{213}_{85}\mathrm{At} - {}^{209}_{83}\mathrm{Bi} = {}^{4}_{2}\mathrm{X}$$

La désintégration correspondant à la perte de 4 nucléons dont 2 protons est la désintégration α, qu'on peut écrire $^{4}_{2}\alpha$.

c) Désintégration β⁺

$$^{95}_{45}\mathrm{Rh} \rightarrow {}^{95}_{44}\mathrm{Ru}$$

La réaction a enlevé un proton au noyau sans modifier le nombre de nucléons. On a donc enlevé une charge positive, pour qu'un proton devienne neutron. Il s'agit donc d'une désintégration β⁺.

d) Désintégration n

$$^{3}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{2}_{1}\mathrm{H}$$

La réaction a enlevé un nucléon au noyau, sans enlever de proton. Puisque la désintégration implique l'émission de nucléons, on peut identifier la particule recherchée en faisant la différence entre les noyaux initial et final :

$$^{3}_{1}\mathrm{H} - {}^{2}_{1}\mathrm{H} = {}^{1}_{0}\mathrm{X}$$

La désintégration correspondant à la perte de 1 nucléon dont 0 proton est la désintégration n, alors qu'un neutron est éjecté du noyau. On peut aussi le représenter par $^{1}_{0}\mathrm{n}$.

retour à la question ▲

9.29 Solution : Molybdène retour à la question ▲

8β⁻

La désintégration β⁻ transforme un neutron en proton. Un noyau subissant une désintégration β⁻ voit donc son nombre de protons augmenter de 1 et son nombre de neutrons diminuer de 1, selon la réaction

$$^{A}_{Z}\mathrm{X} \rightarrow {}_{Z+1}^{\;\;A}\mathrm{X}' + e^{-}.$$

Le nombre de désintégrations β⁻ dans la chaîne de désintégration évoquée est donc équivalent au nombre de neutrons qui doivent se transformer en protons pour passer du molybdène $^{114}_{42}\mathrm{Mc}$ à l'étain $^{114}_{50}\mathrm{Sn}$. On peut donc évaluer cette quantité par :

$$Z_{Sn} - Z_{Mo} = 50 - 42 = 8$$

Il y aura donc 8 désintégrations β⁻ lors de la transition du molybdène 114 vers la forme stable de l'étain, $^{114}_{50}\mathrm{Sn}$.

retour à la question ▲

retour à la question ▲

9.30 Solution : Chaîne du neptunium retour à la question ▲

a) $9\alpha + 5\beta^-$

Pour identifier le nombre de désintégrations α (particules α) et de désintégrations β^- (électrons) requises pour passer du plutonium ${}^{241}_{94}\text{Pu}$ au thallium ${}^{205}_{81}\text{Ti}$, on doit caractériser ces désintégrations en termes d'effet sur le noyau.

Une désintégration α retire du noyau 2 protons et 2 neutrons, donc 4 nucléons, alors qu'une désintégration β^- retire du noyau une charge négative, sans nucléon.

On peut mettre la réaction en équation, où les quantités recherchées sont *a* et *b* :

$$ {}^{241}_{94}\text{Pu} \rightarrow {}^{205}_{81}\text{Ti} \rightarrow a\alpha + be^- $$

On peut identifier d'abord le nombre de nucléons à retirer du noyau de plutonium 241 pour obtenir du thallium 205, à partir des quantités de nucléons des deux noyaux :

$$ \Delta A = A_{Pu} - A_{Ti} \quad = \quad 241 - 205 \quad = \quad 36 $$

On doit retirer du noyau 36 nucléons, à raison de 4 nucléons par particule α émise. Il doit donc y avoir émission de 9 particules α (car 36 ÷ 4 = 9).

Cependant, 9 particules α contiennent nécessairement 18 protons et 18 neutrons, ce qui ne permet pas d'obtenir du thallium 205. A priori, on obtiendrait plutôt de l'osmium 205 :

$$ {}^{241}_{94}\text{Pu} - 9({}^{4}_{2}\alpha) \rightarrow {}^{205}_{76}\text{Os} $$

Il ne s'agit pas en réalité d'un état partiel durant la chaîne de réaction, mais il permet de nommer le résultat partiel dans notre raisonnement.

À partir de ce noyau de ${}^{205}_{76}\text{Os}$, on veut obtenir un noyau de ${}^{205}_{81}\text{Ti}$ en retirant des électrons (désintégrations β^-). On cherche donc le nombre de neutrons qui doivent être transformés en protons pour y parvenir. Comme le thallium possède 5 protons de plus (81 – 76 = 5), on doit extraire une charge négative de 5 neutrons pour en faire des protons (ils demeurent nucléons pour conserver le nombre de 205).

On doit donc observer 5 désintégrations β^- en plus de 9 désintégrations α lors de la transition du plutonium ${}^{241}_{94}\text{Pu}$ vers le thallium ${}^{205}_{81}\text{Ti}$, et la réaction complète est :

$$ {}^{241}_{94}\text{Pu} \rightarrow {}^{205}_{81}\text{Ti} \rightarrow \mathbf{9}\alpha + \mathbf{5}e^- $$

b) Q = 4,94 MeV

L'énergie dégagée par la réaction d'une désintégration α est donnée par :

$$ Q = -\Delta mc^2 \quad = \quad \left(M_{Réactifs} - M_{Produits}\right)c^2 $$

La réaction considérée est :

$$ {}^{237}_{93}\text{Np} \rightarrow {}^{233}_{91}\text{Pa} + \alpha $$

L'énergie est alors :

$$ Q = \left(M_{{}^{237}\text{Np}} - M_{{}^{233}\text{Pa}} - M_{{}^{4}\text{He}}\right)c^2 $$

$$ Q = (237{,}048\ 173\ 4\ \text{u} - 233{,}040\ 257\ 3\ \text{u} - 4{,}002\ 603\ 2\ \text{u}) \times \frac{931{,}5\ \text{MeV}}{\text{u}} \quad = \quad \mathbf{4{,}94\ MeV} $$

retour à la question ▲

retour à la question ▲

retour à la question ▲

9.31 Solution : Proton neutralisé retour à la question ▲

a) Q = –0,782 MeV

L'énergie dégagée par la réaction d'une capture électronique est donnée par :

$$Q = (M_{Réactifs} - M_{Produits})c^2$$

La réaction réelle est :

$${}^1_1\text{p} + e^- \rightarrow {}^1_0\text{n} + \nu$$ (le neutrino ν n'a aucun effet dans les calculs)

Pour le calcul de l'énergie dégagée, on peut écrire :

$$Q = (M_P + M_{é^-} - M_n)c^2$$

Ce calcul peut être effectué tel quel et fonctionnera. Cependant, on peut le simplifier, car le proton et l'électron peuvent être considérés dans un seul terme, car ils formeraient ensemble un atome d'hydrogène ^1H dont la masse totale est la même. Ainsi, on peut aussi écrire :

$$Q = \left(M_{\,^1\text{H}} - M_n\right)c^2$$

$$Q = (1{,}007\ 825\ 0\ \text{u} - 1{,}008\ 664\ 9\ \text{u}) \times \frac{931{,}5\ \text{MeV}}{\text{u}} = \mathbf{-0{,}782\ MeV}$$

Une énergie négative indique que la réaction a besoin d'énergie pour se produire (endothermique), mais elle est néanmoins possible.

b) λ = 1,58 pm

Conséquemment au fait que cette réaction ait besoin d'énergie pour se produire, tel que trouvé en a), un photon peut provoquer cette réaction, s'il possède minimalement l'énergie de réaction de 0,782 MeV trouvée en a). La longueur d'onde de rayonnement de ce photon est donnée par :

$$E\gamma = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{hc}{E_\gamma} = \frac{1\ 240\ \text{eV·nm}}{0{,}782\times10^6\ \text{eV}} = 1{,}58\times10^{-3}\ \text{nm} = \mathbf{1{,}58\times10^{-12}\ m} = \mathbf{1{,}58\ pm}$$

retour à la question ▲

9.32 Solution : Défaut de masse du Soleil retour à la question ▲

a) Q = 1,50 MeV

On doit d'abord identifier le type de désintégration dont il s'agit. Les deux nucléides ont 40 nucléons donc aucun proton ou neutron n'est émis. Cependant, le calcium possède un proton de plus; il y a donc eu transformation d'un neutron en proton, c'est-à-dire qu'a eu lieu une émission de charge négative, donc une désintégration β⁻. La réaction détaillée est donc :

$$^{40}_{19}\mathrm{K} \rightarrow {}^{40}_{20}\mathrm{Ca} + \acute{e}^-$$

Pour une désintégration β⁻, l'énergie dégagée est donnée par :

$$Q = (M_X - M_{X'})c^2 \quad = \quad \left(M_{^{40}\mathrm{K}} - M_{^{40}\mathrm{Ca}}\right)c^2$$

$$Q = (39{,}963\ \ 998\ 5\ \mathrm{u} - 39{,}962\ 383\ 7\ \mathrm{u}) \times \frac{931{,}5\ \mathrm{MeV}}{\mathrm{u}} \quad = \quad \mathbf{1,50\ MeV}$$

b) Q = 2,31 MeV

On doit d'abord identifier le type de désintégration dont il s'agit. Le résultat ($^{143}_{60}\mathrm{Nd}$) possède 4 nucléons de moins que le réactif ($^{147}_{62}\mathrm{Sm}$). La réaction est donc une désintégration α, la seule à retirer d'un coup 4 nucléons du noyau. La réaction détaillée est donc :

$$^{147}_{62}\mathrm{Sm} \rightarrow {}^{143}_{60}\mathrm{Nd} + \alpha$$

Pour une désintégration α, l'énergie dégagée est donnée par :

$$Q = \left(M_X - M_{X'} - M_{\ ^4\mathrm{He}}\right)c^2 \quad = \quad \left(M_{^{147}\mathrm{Sm}} - M_{^{143}\mathrm{Nd}} - M_{\ ^4\mathrm{He}}\right)c^2$$

$$Q = (146{,}914\ 897\ 9\ \mathrm{u} - 142{,}909\ 814\ 3\ \mathrm{u} - 4{,}002\ 603\ 3\ \mathrm{u}) \times \frac{931{,}5\ \mathrm{MeV}}{\mathrm{u}} \quad = \quad \mathbf{2,31\ MeV}$$

c) Q = 1,22 MeV

On doit d'abord identifier le type de désintégration dont il s'agit. Les deux nucléides ont 61 nucléons, donc aucun proton ou neutron n'est émis. Cependant, le nickel possède un proton de moins; il y a donc eu transformation d'un proton en neutron, c'est-à-dire qu'a eu lieu une émission de charge positive (soit une désintégration β⁺), OU l'absorption d'une charge négative par capture électronique (C.E.).

MAIS comme on précise dans l'énoncé que l'atome résultant n'est pas excité, on écarte la capture électronique car celle-ci résulte en un atome dont l'une des basses couches électroniques possède un trou. La réaction détaillée est : $^{61}_{29}\mathrm{Cu} \rightarrow {}^{61}_{28}\mathrm{Ni}^*$

On a donc plutôt une désintégration β⁺, dont l'équation est : $^{61}_{29}\mathrm{Cu} \rightarrow {}^{61}_{28}\mathrm{Ni}^- + \mathrm{e}^+$.

Pour une désintégration β⁺, l'énergie dégagée est donnée par :

$$Q = (M_X - M_{X'} - 2m_e)c^2 \quad = \quad \left(M_{^{61}\mathrm{Cu}} - M_{^{61}\mathrm{Ni}} - 2m_e\right)c^2$$

$$Q = (60{,}933\ 457\ 8\ \mathrm{u} - 60{,}931\ 056\ 0\ \mathrm{u} - 2 \times 0{,}000\ 548\ 6\ \mathrm{u}) \times \frac{931{,}5\ \mathrm{MeV}}{\mathrm{u}} \quad = \quad \mathbf{1,22\ MeV}$$

retour à la question ▲

retour à la question ▲

9.6 LA FISSION

9.33 Question : Noyau manquant retour à la question ▲

a) ${}^{141}_{56}\mathrm{Ba}$

$${}^{1}_{0}\mathrm{n} + {}^{235}_{92}\mathrm{U} \rightarrow {}^{92}_{36}\mathrm{Kr} + \_\_\_\_\_ + 3{}^{1}_{0}\mathrm{n}$$

Puisqu'aucun électron ou positron n'est éjecté (pas de désintégration β), tous les protons et neutrons demeurent intacts. On doit donc retrouver des deux côtés les mêmes quantités de protons et de neutrons.

Du côté gauche, on retrouve 92 protons, contenus uniquement dans le noyau d'uranium. Le nombre total de nucléons est :

$$1 + 235 = 236$$

On doit donc retrouver à droite 236 nucléons dont 92 protons. Pour les nucléons :

$$236 = 92 + A_? + 3 \times 1$$

$$A_? = 236 - 92 - 3 \times 1 \quad = \quad 141$$

Et le nombre de protons dans le noyau à identifier est :

$$92 = 36 + Z_? + 3 \times 0$$

$$Z_? = 92 - 36 - 3 \times 0 \quad = \quad 56$$

Selon le tableau périodique, l'élément ayant 56 protons est le baryum, et l'isotope du baryum qui complète l'équation de la réaction est le baryum 141. La réaction complète est :

$$ {}^{1}_{0}\mathrm{n} + {}^{235}_{92}\mathrm{U} \rightarrow {}^{92}_{36}\mathrm{Kr} + \mathbf{{}^{141}_{56}Ba} + 3{}^{1}_{0}\mathrm{n}$$

b) $2{}^{1}_{0}\mathrm{n}$

$${}^{1}_{0}\mathrm{n} + {}^{235}_{92}\mathrm{U} \rightarrow {}^{94}_{38}\mathrm{Sr} + {}^{140}_{54}\mathrm{Xe} + \_\_\_\_\_ + \gamma$$

Aucun électron ou positron n'est éjecté (pas de désintégration β), donc tous les protons et neutrons demeurent intacts. On doit donc retrouver des deux côtés les mêmes quantités de protons et de neutrons.

Du côté gauche, on retrouve 92 protons, contenus uniquement dans le noyau d'uranium. Le nombre total de nucléons est :

$$1 + 235 = 236$$

On doit donc retrouver à droite 236 nucléons dont 92 protons. Par ailleurs, on trouve déjà dans les produits (à droite) deux noyaux relativement lourds. Les particules manquantes sont probablement des neutrons et protons seuls. Pour le total des nucléons :

$$236 = 94 + 140 + \alpha$$

$$n_? = 236 - 94 - 140 \quad = \quad 2$$

Deux nucléons sont émis (sans doute individuellement). Voyons combien de ces deux nucléons sont des protons :

$$92 = 38 + 54 + z_p$$

$$z_p = 92 - 38 - 54 \quad = \quad 0$$

Aucun des deux nucléons émis n'est un proton. Il s'agit donc de deux neutrons, et la réaction complète est :

$${}^{1}_{0}\mathrm{n} + {}^{235}_{92}\mathrm{U} \rightarrow {}^{94}_{38}\mathrm{Sr} + {}^{140}_{54}\mathrm{Xe} + \mathbf{2{}^{1}_{0}n} + \gamma$$

c) ${}^{239}_{94}\mathrm{Pu}$

$${}^{1}_{0}\mathrm{n} + \_\_\_\_\_ \rightarrow {}^{135}_{52}\mathrm{Te} + {}^{102}_{42}\mathrm{Mo} + 3{}^{1}_{0}\mathrm{n}$$

Aucun électron ou positron n'est éjecté (pas de désintégration β), donc tous les protons et neutrons demeurent intacts. On doit donc retrouver des deux côtés les mêmes quantités de protons et de neutrons.

Du côté droit, Le nombre de protons est :

$$52 + 42 + 3 \times 0 = 94$$

On doit donc trouver dans les réactifs (à gauche) 94 protons. Le noyau recherché est le seul à contenir des protons, car la particule qui le bombarde est un neutron seul. On cherche donc l'élément à 94 protons, et le tableau périodique nous apprend qu'il s'agit du plutonium ${}^{?}_{94}\mathrm{Pu}$.

retour à la question ▲
retour à la question ▲

On doit ensuite déterminer le nombre de nucléons du noyau de plutonium. À droite, le nombre total de nucléons est :

$$135 + 102 + 3 \times 1 = 240$$

On doit donc retrouver à droite 240 nucléons du côté gauche, en incluant les 94 protons. En considérant le neutron déjà identifié du côté gauche :

$$240 = 1 + A_{Pu}$$

$$A_{Pu} = 240 - 1 \quad = \quad 239$$

Le noyau manquant est donc du plutonium 239, ${}^{239}_{94}\mathrm{Pu}$. L'équation complète est :

$${}^{1}_{0}\mathrm{n} + {}^{239}_{94}\mathbf{Pu} \rightarrow {}^{135}_{52}\mathrm{Te} + {}^{102}_{42}\mathrm{Mo} + 3\,{}^{1}_{0}\mathrm{n}$$

retour à la question ▲

9.34 Solution : Bombe à fission retour à la question ▲

Δm = 0,697 g

On indique qu'une tonne (1 t) de TNT libère une énergie de 4,18 gigajoules, donc 4,18×10^9 J. La masse indiquée correspond à 15×10^6 kg (15 000 t = 15 000×10^3 kg = 15 000 000 kg = 15×10^6 kg), mais pour la simplicité il est préférable de travailler en tonnes (t).

L'énergie de 15,0 kilotonnes de TNT est donc :

$$Q = (15 \times 10^3\ \mathrm{t}) \times \left(\frac{4{,}18 \times 10^9\ \mathrm{J}}{1\ \mathrm{t}}\right) \quad = \quad 6{,}27 \times 10^{13}\ \mathrm{J}$$

Si cette énergie provient de la variation du défaut de masse entre réactifs et produits, ce défaut de masse *Δm* est lié à l'équation suivante :

$$Q = -\Delta m \cdot c^2$$

$$\Delta m = -\frac{Q}{c^2} \quad = \quad -\frac{6{,}27 \times 10^{13}\ \mathrm{J}}{\left(c = 2{,}998 \times 10^8\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)^2} \quad = \quad -0{,}000\,697\ \mathrm{kg} \quad = \quad -0{,}697\ \mathrm{g}$$

La masse dont la transformation en énergie équivaut à 15,0 kt de TNT est donc de **0,697 g**.

retour à la question ▲

9.35 Solution : Centrale nucléaire retour à la question ▲

retour à la question ▲

a) Q = 3,09×10⁻¹¹ J

$$^{1}_{0}\mathrm{n} + ^{233}_{92}\mathrm{U} \rightarrow ^{134}_{52}\mathrm{Te} + ^{98}_{40}\mathrm{Zr} + 2^{1}_{0}\mathrm{n}$$

L'énergie dégagée par une réaction de fission est :

$$Q = (M_{Réactifs} - M_{Produits})c^2 \quad = \quad \left(m_n + M_{^{233}\mathrm{U}} - M_{^{134}\mathrm{Te}} - M_{^{98}\mathrm{Zr}} - 2m_n\right)c^2$$

$$Q = (1{,}008\,664\,9\ \mathrm{u} - 233{,}039\,635\,2\ \mathrm{u} - 133{,}911\,369\,0\ \mathrm{u} - 97{,}912\,735\,0\ \mathrm{u} - 2 \times 1{,}008\,664\,9) \times \mathrm{c}^2$$

$$Q = (0{,}206\,866\,3\ \mathrm{u}) \times \frac{931{,}5\ \mathrm{MeV}}{\mathrm{u}} \quad = \quad \mathbf{193\ MeV}$$

Convertie en joules, cette énergie est :

$$Q = (193 \times 10^6\ \mathrm{eV}) \times \frac{1{,}602\times10^{-19}\ \mathrm{J}}{1\ \mathrm{eV}} \quad = \quad \mathbf{3{,}09 \times 10^{-11}\ J}$$

b) m = 4,18 µg

La puissance est définie par une énergie par unité de temps :

$$P = \frac{E}{\Delta t}$$

Produire 100 000 W de puissance électrique signifie produire 100 000 joules chaque seconde. Si on considère Δt = 1, alors on considère une énergie E = 100 000 J. Pour identifier la masse d'uranium qui doit réagir pour produire cette énergie, on doit d'abord identifier le nombre de noyaux qui doivent réagir chaque seconde, pour dégager 100 000 J.

Si le rendement de la centrale est de 30 %, ça signifie également que seulement 30 % de l'énergie produite par la fission d'un noyau peut être transformée en énergie utilisable. C'est-à-dire que l'énergie utilisable pour la fission d'un noyau est :

$$E = n_{fissions} \times 30\% \times Q \quad = \quad 0{,}3 n_{fissions} \cdot Q, \qquad \text{avec } Q = 3{,}09 \times 10^{-11}\ \mathrm{J}$$

Donc :

$$P = \frac{E}{\Delta t} = \frac{0{,}3 n_{fissions} \cdot Q}{\Delta t}$$

$$n_{fissions} = \frac{P \times \Delta t}{0{,}3Q} \quad = \quad \frac{100\,000\ \mathrm{W} \times 1\ \mathrm{s}}{0{,}3 \times (3{,}09\times10^{-11}\ \mathrm{J})} \quad = \quad 1{,}08 \times 10^{16}$$

Pour quantifier la masse de cette quantité N d'atomes d'uranium 233, on utilise la masse atomique de cet isotope :

$$n = \frac{m}{M_{^{233}\mathrm{U}}}$$

$$m = n \times M_{^{233}\mathrm{U}} \quad = \quad (1{,}08 \times 10^{16}\ \mathrm{at}) \times 233{,}039\ \frac{\mathrm{u}}{\mathrm{at}} \times \left(\frac{1{,}660\,54\times10^{-27}\ \mathrm{kg}}{1\ \mathrm{u}}\right) \quad = \quad 4{,}18 \times 10^{-9}\ \mathrm{kg} \quad = \quad \mathbf{4{,}18\ \mu g}$$

retour à la question ▲

Équations Sect 9.1, #1 à 7 Sect 9.2, #8 à 12 Sect 9.3, #13 à 14 Sect 9.4, #15 à 26 Sect 9.5, #27 à 32
Sect 9.6, #33 à 35 Sect 9.7, #36

9.7 LA FUSION

9.36 Solution : Combustion du Soleil retour à la question ▲

a) Δm = –0,026 5 u

Si on met en équation cette chaîne de réaction, sans le détail des étapes de la transition, on a :

$$6p \to \alpha + 2p + 2\acute{e}^{+} + 2\gamma + 2\nu + Q$$

Les deux positrons viennent de la mutation de deux protons en neutrons pour générer les neutrons de la particule α; leur masse doit être considérée dans les produits. Par contre, les photons (γ) comme les deux neutrinos (ν) font partie de l'énergie totale dégagée. Ainsi, seuls les protons, les positrons et la particule α apparaissent dans le calcul du défaut de masse :

$$\Delta m = \left(M_{Produits} - M_{Réactifs}\right) = \left(\alpha + 2m_p + 2m_e - 6m_p\right)$$

Remarque : La parenthèse considère la masse des produits moins la masse des réactifs et non l'inverse (comme à l'habitude), car on cherche Δm et non $-\Delta m$; c'est-à-dire que

$$-\Delta m = -\left(M_{Produits} - M_{Réactifs}\right) = \left(M_{Réactifs} - M_{Produits}\right)$$

Avec les valeurs des masses :

$$\Delta m = (4{,}001\ 506\ 2\ \text{u} + 2 \times 1{,}007\ 276\ 5\ \text{u} + 2 \times 0{,}000\ 548\ 6\ \text{u} - 6 \times 1{,}007\ 276\ 5\ \text{u}) = \mathbf{-0{,}026\ 512\ 6\ u}$$

Remarque : cette quantité est négative, car la masse des particules de l'état final est inférieure à la masse des particules de l'état initial. Comme pour toute variation de grandeur, on soustrait la quantité initiale à la quantité finale.

Attention : si on procède aux calculs en utilisant des atomes complets (hydrogène et hélium) plutôt que des protons et particule α, on doit arriver au même résultat mais il faut aussi considérer deux électrons en excès du côté des produits. La réaction serait alors :

$$6\,{}^{1}_{1}\text{H} \to {}^{4}_{2}\text{He} + 2\,{}^{1}_{1}\text{H} + 2\acute{e}^{+} \underline{+2\acute{e}^{-}} + 2\gamma + 2\nu + Q$$

Mais comme toutes les particules impliquées ont des masses connues sans électrons (noyaux seuls), il est plus simple de procéder directement avec ces masses.

b) Q = 24,7 MeV

En utilisant le défaut de masse Δm trouvé en a), l'énergie dégagée par cette chaîne de réactions est :

$$Q = -\Delta m \cdot c^2 = -(-0{,}026\ 502\ 6\ \text{u}) \times \frac{931{,}5\ \text{MeV}}{\text{u}} = \mathbf{24{,}7\ MeV}$$

retour à la question ▲

retour à la question ▲