

TUTORAT UE 3-a 2013-2014 – Physique

CORRECTION Séance n°4 – Semaine du 7/10/2013

Rayonnement – Radioactivité 1 Pr Mariano-Goulart

QCM n°1 : A, C, D.

- A. **Vrai.** La matière est constituée de fermions (= particules élémentaires) et de bosons (« colle ») qui permettent la cohésion de la matière par 4 interactions fondamentales. Les fermions sont eux-mêmes constitués de leptons et de quarks. Les quarks se rassemblent en doublet et triplet pour former les protons et neutrons (qui font parti des hadrons) et qui constituent le noyau des atomes.
- B. Faux. C'est l'inverse.
- C. **Vrai.** L'interaction forte a pour cible les hadrons, constituants des noyaux atomiques.
- D. **Vrai.** Un uma correspond à $1/12^{\text{ème}}$ de la masse d'un atome de carbone 12
 $1 \text{ uma} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
 $E = m \times c^2 = 1,66 \cdot 10^{-27} \times (3 \cdot 10^8)^2 = 1,494 \cdot 10^{-10} \text{ J} \approx 1,5 \cdot 10^{-10} \text{ J}$.

E. Faux. $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ $E(eV) = \frac{E(J)}{1,6 \cdot 10^{-19}} \approx 9,3375 \cdot 10^8 eV = 933,75 \text{ MeV}$

Si on utilise la valeur non arrondie de la célérité on trouve 931MeV, valeur à toujours utiliser dans les calculs.

QCM n°2 : B, C, D, E

- A. Faux. Des atomes isobares ont le même nombre de nucléons (isobare même **A**). Cependant les proportions de neutrons et de protons diffèrent. Comme les masses du proton et du neutron sont différentes, un même nombre de nucléons n'entraîne pas forcément une masse identique.
- B. **Vrai.** Cela provient de la quantification des énergies de liaisons.
- C. **Vrai.**
- D. **Vrai.** Iso**to****N**e signifie le même nombre de **N**eutrons.
Pour le ^{13}C on a $13 - 6 = 7$ neutrons
Pour le ^{14}N on a $14 - 7 = 7$ neutrons
- E. **Vrai.**

QCM n°3 : B, D, E.

Rappel : Un rayonnement est ionisant si $E_e \geq 13,6 \text{ eV}$ ou si $\lambda \leq 91 \text{ nm}$!

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

- A. Faux. $\lambda > 91 \text{ nm}$
- B. **Vrai.** $E > 13,6 \text{ eV}$
- C. Faux Car $E = h \cdot f = 6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 1000 = 6,62 \cdot 10^{-31} \text{ J} = 4,1 \cdot 10^{-12} \text{ eV}$
- D. **Vrai.** Des électrons accélérés sous une différence de potentiel de 30kV possède une énergie de 30 keV ($> 13,6 \text{ eV}$)
- E. **Vrai**

QCM n°4 : D, E

- A. Faux. $E_{\varphi} = |E_{C_{e^-}} + E_K|$ donc $E_{C_{e^-}} = |E_{\varphi} - E_K| = 150 - 88 = 62 \text{ keV}$
- B. Faux. $E_{\varphi} = |E_K - E_L| = 88 - 15,5 = 72,5 \text{ keV}$
 $\lambda \text{ (nm)} = \frac{1240}{E_c \text{ (eV)}} = \frac{1240}{72500} = 0,0171 \text{ nm}$
- C. Faux. L'énergie est insuffisante (E_{φ} inférieur à E_K^i).
- D. **Vrai.**
- E. **Vrai.** Il crée d'autres ionisations du fait de son E_c de 62 keV.

QCM n°5 : A, B, C, D, E.

Rappel : Un REM est observé lors d'un rayonnement de photons X (RX) et γ .

- A. **Vrai.** Deux photons γ , chacun d'énergie 511 keV, se matérialisent en un couple d'électron et de positon. On observe des RX de fluorescence dûs aux ionisations de l'électron, à sa captation par un atome et à l'annihilation du positon.
Rq : ce phénomène reste rare car il nécessite une $E_d > 1,02 \text{ MeV}$ (=511keV de l'électron + 511keV du positon).
- B. **Vrai.** L'atome absorbe un électron et émet un photon X de fluorescence.
- C. **Vrai.** Le noyau d'un atome radioactif instable émet un photon γ qui est absorbé par un électron périphérique et entraîne son ionisation. Lorsque la vitesse de cet électron devient nulle, il est réabsorbé par l'atome et émet un photon X de fluorescence.
- D. **Vrai.**
- E. **Vrai.** Il existe 3 types de transformations isobariques (=le nombre de masse A reste constant lors de la transformation) : β^+ , β^- et la capture électronique (l'atome absorbe un électron et émet donc un photon X de fluorescence).

NB : On observe également un REM lors d'un freinage d'électrons puisqu'on observe des photons X de freinage et X de fluorescence.

QCM n°6 : A, E

- A. **Vrai.** Le tube à rayons X est une application du rayonnement de freinage.
- B. Faux. Si $V = 40 \text{ kV}$ alors $E_{C_{max}} = qV = e \times 40 \text{ kV} = 40 \text{ keV}$
- C. Faux. Calcul de la longueur d'onde associée à l'énergie maximale : $\lambda \text{ (nm)} = \frac{1240}{E_{C_{max}} \text{ (eV)}} = \frac{1240}{40 \cdot 10^3}$
 $= 0,031 \text{ nm}$
Or $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$ donc $\lambda = 0,31 \text{ \AA}$
Attention on vient de calculer la longueur d'onde associée à l'énergie maximale, on obtient donc la longueur d'onde minimale du rayonnement (car énergie et longueur d'onde évoluent en sens inverse).
- D. Faux. On observe un spectre continu car les photons peuvent prendre toutes les énergies comprises entre 0 et l'énergie cinétique maximale. Sur ce spectre continu se surajoutent des raies caractéristiques du molybdène. En effet, si l'énergie des photons X est trop faible ils vont être absorbés par la cible produisant ainsi des ionisations. On obtient un spectre composite.
- E. **Vrai.** Il y a des ionisations entre les couches du molybdène qui sont responsables des raies sur le spectre continu.
 $E_{\varphi} = |E_K - E_L| = 20 - 2,63 = 17,37 \text{ keV}$
 $E_{\varphi} = |E_K - E_M| = 20 - 0,32 = 19,68 \text{ keV}$
 $E_{\varphi} = |E_L - E_M| = 2,63 - 0,32 = 2,31 \text{ keV}$
Il faut également prendre en compte les raies correspondant aux ionisations des électrons des couches K, L et M, il y a donc des raies d'énergie 20 keV, 2,63 keV et 0,32 keV.

QCM n°7 : C, D, E

- A. Faux. Le rayonnement de freinage est constitué par des photons X (car issus d'un réarrangement électronique et non nucléaire).
- B. Faux. Les particules sont ralenties et déviées par des interactions électrostatiques avec le noyau de la cible. En effet, les électrons chargés négativement sont attirés et ralentis par les charges positives du noyau.
- C. **Vrai.** C'est le tube à rayons X des appareils de radiologie. Il permet de produire des photons X et de les focaliser sur les tissus pour mettre en évidence différent contraste en fonction de l'atténuation des tissus.
- D. **Vrai.**
- E. **Vrai.**

QCM n°8 : A, B.

- A. **Vrai.** Il s'agit de l'émission d'une particule α : c'est-à-dire d'un noyau d'hélium ${}^4_2\text{He}$ par le noyau père. L'équation de la transformation est de la forme : ${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}\text{Y} + {}^4_2\text{He}$
- Soit : ${}^{226}_{86}\text{Ra} \rightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn} + {}^4_2\text{He}$
- B. **Vrai.** $E_d = [M(X) - (M(Y) + M(\text{He}))] \times c^2 = [\mathcal{M}(X) - (\mathcal{M}(Y) + \mathcal{M}(\text{He}))] \times c^2$
 $E_d = [226,0960 - (222,0869 + 4,0039)] \times 931(\text{MeV}/c^2) = 4,841 \text{ MeV} \approx 4,8 \text{ MeV}.$
- C. Faux. On obtient un spectre de raie unique pour les transformations α . On obtient un spectre continu pour les transformations de type β + et - .
- D. Faux. Elle est utilisée lors des radiothérapies superficielles.
- E. Faux. Cette transformation n'est possible que pour les isotopes lourds c'est-à-dire de nombre de masse $A > 150$.

QCM n°9 : B, D, E.

- A. Faux. Ce sont des électrons ${}^0_{-1}\text{e}^-$ et des anti-neutrino ${}^0_0\bar{\nu}$.
L'équation de la transformation est de la forme : ${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^A_{Z+1}\text{Y} + {}^0_{-1}\text{e}^- + {}^0_0\bar{\nu}$
Elle s'effectue par des noyaux riches en neutrons : ${}^1_0\text{n} \rightarrow {}^1_1\text{p} + {}^0_{-1}\text{e}^- + {}^0_0\bar{\nu}$
- B. **Vrai.** L'énergie disponible est maximale quand l'électron accapare toute l'énergie de la réaction c'est-à-dire que $E_d = E_{e^-} = [\mathcal{M}(X) - \mathcal{M}(Y)] \times c^2 = 5.10^{-3} \times 931 = 4,655 \text{ MeV}$
(A l'inverse, quand l'anti neutrino emporte toute l'énergie, alors $E_{e^-} = 0$)
NB: Attention ! Ici on nous donne la différence de masse entre les **atomes** et non entre les **noyaux**, c'est pourquoi on utilise la formule $E_d = [\mathcal{M}(X) - \mathcal{M}(Y)] \times c^2$ et non $E_d = [M(X) - (M(Y) + m_{e^-})] \times c^2$
/ \! Une énergie disponible se calcule au départ avec des différences de masses **NUCLEAIRES**.
- C. Faux. Continu.
- D. **Vrai.**
- E. **Vrai.** La radioactivité β^- est utilisée en radiothérapie métabolique.
Exemple d'applications médicales : dans le traitement antalgique de métastases osseuses, le traitement de néoplasies thyroïdiennes, le traitement d'hyperthyroïdies.

QCM n°10 : A, C, D.

- A. **Vrai.** Il s'agit d'une radioactivité β^+ , donc d'une transformation isobarique (= Le nombre de masse A reste constant au cours de la transformation).
 ${}^{18}_9\text{F} \rightarrow {}^{18}_8\text{O} + {}^0_{+1}\text{e}^+ + {}^0_0\nu$
- B. Faux. Il est riche en protons : ${}^1_1\text{p} \rightarrow {}^0_{+1}\text{e}^+ + {}^0_0\nu$
Ce sont les atomes qui se désintègrent par radioactivité β^- qui sont riches en neutrons.
- C. **Vrai.** Aussi appelée scintigraphie (imagerie) de coïncidence.
- D. **Vrai.** Car la radioactivité bêta plus et la capture électronique s'effectuent sur des atomes riches en protons.
- E. Faux. Ils produisent des photons d'énergie 511 keV.

QCM n°11 : A, C, D.

- A. **Vrai.** Dans l'énoncé on nous donne les masses **atomiques** cela correspond aux masses notées \mathcal{M} .
B. Faux. Cf item A.
C. **Vrai.** L'énergie du positon émis est maximale lorsqu'il accapare toute l'énergie de la transformation, c'est-à-dire que $E_d = E_{e^+} + E_\gamma \Rightarrow E_d \approx E_{e^+}$

$$E_d = [\mathcal{M}(X) - (\mathcal{M}(Y) + 2m_{e^-})] \times c^2 = [17,9960 - 17,99477 - 2 \times 0,0005] \times 1,66 \cdot 10^{-27} \times (3 \cdot 10^8)^2 \approx 3,3 \cdot 10^{-14} \text{ J.}$$

- D. **Vrai.** $E_d = [\mathcal{M}(X) - (\mathcal{M}(Y) + 2m_{e^-})] \times c^2 = [17,9960 - 17,99477 - 2 \times 0,0005] \times 931 \approx 0,21 \text{ MeV}$
Ou

$$E(\text{eV}) = \frac{E(\text{J})}{1,6 \cdot 10^{-19}} = \frac{3,3 \cdot 10^{-14}}{1,6 \cdot 10^{-19}} \approx 2,06 \cdot 10^5 \text{ eV} \approx 0,206 \text{ MeV} \approx 0,21 \text{ MeV}$$

- E. Faux.

QCM n°12 : B, D

A. Faux. $\lambda = \frac{\ln 2}{T} = \frac{\ln 2}{8 \times 24 \times 3600} = 1,003 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$

B. **Vrai.** $N = \frac{A}{\lambda} = \frac{100 \times 37 \cdot 10^6}{1,003 \cdot 10^{-6}} = 3,69 \cdot 10^{15} \text{ noyaux}$

C. Faux. $m = nM = \frac{N}{N_A} M = \frac{3,69 \cdot 10^{15}}{6,02 \cdot 10^{23}} \times 131 = 8,03 \cdot 10^{-7} \text{ g} = 0,803 \text{ } \mu\text{g}$

D. **Vrai.** $N(t+24j) = \frac{N_0}{2^{\frac{t}{T}}} = \frac{N_0}{2^{\frac{24}{8}}} = \frac{N_0}{2^3} = \frac{N_0}{8}$

E. Faux. $\frac{A(t+xh)}{A_0} = e^{-\lambda t} \Leftrightarrow \frac{10}{100} = e^{-\lambda t} \Leftrightarrow \frac{1}{10} = e^{-\lambda t} \Leftrightarrow \ln 10 = \lambda t \Leftrightarrow t = \frac{\ln 10}{\lambda} = \frac{\ln 10}{1,003 \cdot 10^{-6}} = 2295698 \text{ s}$

Donc $t = \frac{2295698}{3600} = 637,69 \text{ h} \approx 638 \text{ h}$

QCM n°13 : B, C, D, E

- A. Faux. C'est une désintégration β^- .

- B. **Vrai.** C'est l'équilibre séculaire. A chaque fois qu'un atome de ${}^{99m}_{43}\text{Tc}$ se désintègre, il est régénéré par la désintégration d'un atome de ${}^{99}_{42}\text{Mo}$. Cet équilibre est permis car la demi-vie du ${}^{99m}_{43}\text{Tc}$ est suffisamment courte par rapport à celle du ${}^{99}_{42}\text{Mo}$.

- C. **Vrai.** A 10 heures, on est à $t+2\text{h}$

$$A_{(t+2\text{h})} = A_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\frac{t \ln 2}{T}} = 15 e^{-\frac{2 \ln 2}{6}} = 11,91 \text{ mCi} \cdot \text{mL}^{-1}$$

Or $1 \text{ mCi} = 37 \text{ MBq}$ donc $A_{(t+2\text{h})} = 11,91 \times 37 = 440,5 \text{ MBq} \cdot \text{mL}^{-1}$

Autre méthode : $A_{(t+2\text{h})} = \frac{A_0}{2^{\frac{t}{T}}} = \frac{15}{2} = \frac{15}{2} = 11,91 \text{ mCi} \cdot \text{mL}^{-1} = 441 \text{ MBq} \cdot \text{mL}^{-1}$

- D. **Vrai.** 1 mL \rightarrow 11,91 mCi

$x \text{ mL} \rightarrow 25 \text{ mCi}$ donc $x = \frac{25}{11,91} = 2,099 \text{ mL}$

- E. **Vrai.** A 14 heures, on est à $t+6\text{h}$

$$A_{(t+6\text{h})} = A_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\frac{t \ln 2}{T}} = 15 e^{-\frac{6 \ln 2}{6}} = 7,5 \text{ mCi} \cdot \text{mL}^{-1}$$

Autre méthode : $A_{(t+6\text{h})} = \frac{A_0}{2^{\frac{t}{T}}} = \frac{15}{2} = \frac{15}{2} = 7,5 \text{ mCi} \cdot \text{mL}^{-1}$

1 mL \rightarrow 7,5 mCi

$x \text{ mL} \rightarrow 25 \text{ mCi}$ donc $x = \frac{25}{7,5} = 3,33 \text{ mL}$

$V_{\min} = V_{10\text{h}} + V_{14\text{h}} = 2,1 + 3,33 = 5,43 \text{ mL}$

QCM n°14 : A, C

- A. **Vrai.**

- B. Faux. Les rayons X ont pour origine le nuage électronique de l'atome.

- C. **Vrai.** Ils peuvent ainsi créer des radicaux libres qui sont très toxiques pour les cellules.

- D. Faux. Ou par freinage d'électrons par une cible de numéro atomique élevé.

- E. Faux. C'est un rayonnement γ qui est produit par la désintégration du Tc métastable en Tc.