

Physique Générale A

Série d'exercices 19: Physique Nucléaire. 14 Avril 2026

Remarque: les exercices au format QCM devraient être réalisables en 2 minutes environ. Des exercices plus longs sont proposés afin d'approfondir vos connaissances. Ceux-ci font toutefois partie du champ de l'examen.

1.) QCM A, Composition d'un atome

Une seule des affirmations suivantes est vraie. Déterminez laquelle.

- A. La charge d'un atome est déterminée par le nombre de nucléons et d'électrons.
- B. Les atomes d'hydrogène, de deutérium et de tritium (trois isotopes de $Z=1$) ont un nombre différent d'électrons.
- C. Un même élément chimique peut comporter un nombre différent de protons.
- D. Les noyaux ${}^{12}_6C$ et ${}^{12}_7X$ sont deux isotopes du carbone.
- E. aucune de ces réponses.

2.) QCM A, Désintégrations nucléaires

Laquelle de ces réactions nucléaires ne correspond pas à une désintégration nucléaire ?

- A. ${}^{235}_{92}\text{U} \longrightarrow {}^{231}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}$
- B. ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \longrightarrow {}^4_2\text{He} + \text{n}$
- C. ${}^{18}_9\text{F} \longrightarrow {}^{18}_8\text{O} + \text{e}^+ + \nu_e$
- D. ${}^{14}_7\text{N}^* \longrightarrow {}^{14}_7\text{N} + \gamma$
- E. Ce sont toutes des désintégrations nucléaires

3.) QCM K', Tomographie à émission de positrons

Deux rayons γ dans une tomographie par émission de positrons (PET) proviennent du même point au même instant, et se dirigent vers des détecteurs de chaque côté du patient. On peut affirmer que :

- A. L'énergie de chaque rayon gamma est de 411 keV.
- B. Si le point où les rayons gamma sont produits est à 9,00 cm plus près d'un des détecteurs que de l'autre, alors la différence de temps d'arrivée entre les deux photons est de 0,3 ns.
- C. Avec une résolution temporelle de 100 ps, les scanners PET actuels peuvent utiliser la différence de temps d'arrivée des deux photons pour obtenir une résolution de position le long de la direction de propagation des photons qui est meilleure que 1 mm.
- D. Pour qu'un scanner PET puisse être utilisé, le patient doit ingérer ou être injecté avec une substance radioactive.

4.) **QCM K', Équivalence masse - énergie**

Lesquelles de ces affirmations sont vraies ?

- A. L'électron-volt (eV) est une unité d'énergie.
- B. Une masse peut être exprimée en MeV grâce à la relation d'équivalence masse-énergie $E = mc^2$.
- C. Une particule de masse m au repos a une énergie nulle.
- D. Une masse de 51 kg a une énergie au repos de $4.59 \cdot 10^{12}$ MeV.

5.) **QCM K', Atome de Chlore**

On considère le noyau de l'atome de chlore : ${}^{35}_{17}\text{Cl}$. On peut affirmer que :

- A. La somme de la masse des nucléons constituant ${}^{35}_{17}\text{Cl}$ vaut 35.279572 uma.
- B. Le défaut de masse du ${}^{35}_{17}\text{Cl}$ est de 0.310719 uma.
- C. L'énergie de liaison du ${}^{35}_{17}\text{Cl}$ est de 289.4 MeV.
- D. L'énergie de liaison par nucléon du ${}^{35}_{17}\text{Cl}$ est de 8.27 MeV/nucléon.

Données:

- Masse du ${}^{35}_{17}\text{Cl}$: $M({}^{35}_{17}\text{Cl}) = 34.968853$ uma.
- 1 uma = 931.494 MeV/c²

6.) **QCM A, Énergie de liaison**

Nous considérons un noyau de fer composé de 26 protons et 30 neutrons. La masse totale du noyau est de 55,93494 uma. On peut affirmer que l'énergie de liaison totale du noyau est égale à :
(Conseil : utilisez la masse du proton et du neutron indiquée sur la diapositive 18)

- A. 0,0045 J
- B. 2 uma
- C. 479 MeV
- D. 8 J
- E. 5,2 uma

7.) **QCM A, Activité d'éléments radioactifs**

Parmi les 4 éléments radioactifs suivant, lequel aura la plus forte activité après un an ?

- A. L'Uranium ${}^{238}_{92}\text{U}$ avec une demi-vie $T_{1/2} = 4.47 \cdot 10^9$ ans et une activité initiale $A_0 = 3 \cdot 10^6$ Bq.
- B. Le Césium ${}^{134}_{55}\text{Cs}$ avec une demi-vie $T_{1/2} = 2$ ans et une activité initiale $A_0 = 7 \cdot 10^{15}$ Bq.
- C. L'Iode ${}^{131}_{53}\text{I}$ avec une demi-vie $T_{1/2} = 8$ jours et une activité initiale $A_0 = 6 \cdot 10^{17}$ Bq.
- D. Le Nobelium ${}^{259}_{102}\text{No}$ avec une demi-vie $T_{1/2} = 58$ mins et une activité initiale $A_0 = 1 \cdot 10^{20}$ Bq.

Données:

- 1 an = 365.25 jours
- 1 jour = 24 heures
- 1 heure = 60 minutes = 3600 secondes

8.) **QCM K', Cancer de la thyroïde et Iode 131**

L'Iode ${}^{131}_{53}\text{I}$ est un produit radioactif issu de la fission nucléaire utilisée dans la plupart des centrales nucléaires. Il s'attache à la thyroïde, et est utilisé comme traitement des cancers de la thyroïde. Sa demi-vie est de 8 jours. Il se désintègre principalement par désintégration β^- . Une pilule contenant de l'iode 131 a une activité initiale $A_0 = 14 \cdot 10^9$ Bq et est stockée pendant 16 jours avant d'être administrée au patient. On peut affirmer que :

- A. Au moment d'être ingérée, la pilule a une activité $A(16j) = 7 \cdot 10^9$ Bq.
- B. Au moment d'être ingérée, la pilule contient $3,49 \cdot 10^{15}$ noyaux d'iode $^{131}_{53}\text{I}$.
- C. Initialement, la pilule contenait $1,4 \cdot 10^{16}$ noyaux d'iode $^{131}_{53}\text{I}$.
- D. 6 mois (180 jours) après l'administration au patient, le patient a une activité inférieure à $A = 600$ Bq.

9.) **Exercice d'approfondissement : Datation au $^{14}_6\text{C}$ du pharaon Khéops**

La proportion naturelle de l'isotope $^{14}_6\text{C}$ par rapport à l'isotope $^{12}_6\text{C}$ dans la matière vivante est :

$$\frac{N(^{14}_6\text{C})}{N(^{12}_6\text{C})} = 1.2 \times 10^{-12}.$$

La demi-vie du $^{14}_6\text{C}$ est de 5730 ans. Pour dater la mort du pharaon Khéops, on prélève un échantillon de 1 mg d'os contenant 30% de carbone (essentiellement du $^{12}_6\text{C}$). Une analyse au spectromètre de masse indique que dans cet échantillon la proportion en $^{14}_6\text{C}$ est de $6.92 \cdot 10^{-13}$ par atome de $^{12}_6\text{C}$. On peut affirmer que :

- A. Le nombre d'atomes de $^{14}_6\text{C}$ dans un échantillon de 1 mg d'os de personne vivante est de 1.806×10^7 atomes.
- B. L'activité de 1 mg d'os de personne vivante est de 6.93×10^{-5} Bq.
- C. L'activité de 1 mg d'os du pharaon Khéops est aujourd'hui de 4×10^{-5} Bq.
- D. Le pharaon Khéops est décédé il y a entre 4500 et 4600 ans.

10.) **Exercice d'approfondissement : Traitement des déchets nucléaires**

Les centrales à fission nucléaire permettent de produire des quantités importantes en électricité. Cependant, le traitement des déchets nucléaires reste une contrepartie coûteuse pour ce mode de production d'électricité. Ces déchets, d'activité radioactive très dangereuse pour la santé et l'environnement, sont enfouis profondément sous terre dans des barils en attendant qu'ils deviennent inactifs.

On se propose ici d'étudier un baril de déchets nucléaires contenant initialement 80% de noyaux d'Iode 131 avec une demi-vie $T_{1/2I} = 8$ jours et 20% de noyaux de Césium 134 de demi-vie $T_{1/2Cs} = 2$ ans. L'activité initiale totale de ce déchet est $A_{0\text{tot}} = 4 \cdot 10^{15}$ Bq.

- A. Calculez le nombre total initial de noyaux radioactifs $N_{0\text{tot}}$ sachant que $A_{\text{tot}} = A_I + A_{Cs} = \lambda_I \cdot N_I + \lambda_{Cs} \cdot N_{Cs}$.
- B. En déduire les nombres initiaux de noyaux N_{0I} et N_{0Cs} ainsi que leur activité A_{0I} et A_{0Cs} .
- C. Calculez l'activité au bout d'un an pour chacun des éléments $A_I(1\text{an})$ et $A_{Cs}(1\text{an})$, et déterminez qu'une est négligeable.
- D. Quelle est la nouvelle répartition en noyaux radioactifs ^{131}I et ^{134}Cs (initialement 80% de ^{131}I et 20% de ^{134}Cs) après un an ?
- E. Combien de temps faudra-t-il attendre pour que l'activité totale des déchets devienne plus faible que 1000 Bq ? Pensez à utiliser le fait qu'un des éléments ne contribuera plus à l'activité totale après un an.

Données:

- 1 an = 365.25 jours
- 1 jour = 24 heures
- 1 heure = 60 minutes = 3600 secondes

Note : Le Becquerel, noté Bq, représente un nombre de désintégrations par seconde.

Réponses:

- 1.) E.
- 2.) B.
- 3.) Faux, Vrai, Faux, Vrai
- 4.) Vrai, Vrai, Faux, Faux
- 5.) Vrai, Vrai, Vrai, Vrai.
- 6.) C
- 7.) B
- 8.) Faux, Vrai, Vrai, Vrai.
- 9.) Vrai, Vrai, Vrai, Vrai
- 10.) A. $N_{0\text{tot}} = 4.97 \cdot 10^{21}$ atomes.
B. $N_{0I} = 3.98 \cdot 10^{21}$ atomes, $N_{0Cs} = 9.94 \cdot 10^{20}$ atomes, $A_{0I} = 3.99 \cdot 10^{15}$ Bq, $A_{0Cs} = 1.1 \cdot 10^{13}$ Bq.
C. $A_I(1 \text{ an}) = 72$ Bq, $A_{Cs}(1 \text{ an}) = 7.8 \cdot 10^{12}$ Bq.
D. $\sim 1 \cdot 10^{-11}\%$ de ^{131}I et $\sim 100\%$ de ^{134}Cs .
E. $t_{1000 \text{ Bq}} = 67$ ans.