

L'utilisation de la calculatrice est autorisée

PREMIÈRE PARTIE : CONTRÔLE DES CONNAISSANCES (30 POINTS)

Les deux questions doivent être traitées par le candidat

Q1 : interactions rayonnements matière (15 points)

Chacune des propositions a, b, c, d,... contient une seule affirmation vraie. Recopier, sur votre copie, la lettre a, b, c ou d qui correspond pour chaque question à la proposition vraie. Justifier les calculs numériques pour les questions 12 et 13.

1- L'effet photoélectrique est une interaction entre :

- a) un électron incident et un électron lié de l'atome cible.
- b) un photon incident et un électron lié de l'atome cible.
- c) un photon incident et un électron libre ou faiblement lié de l'atome cible.

2- Un photon incident X peut provoquer un effet photoélectrique,

- a) si son énergie est supérieure à l'énergie de liaison d'un électron K de l'atome cible.
- b) si son énergie est inférieure à l'énergie de liaison d'un électron K de l'atome cible.
- c) si son énergie est supérieure à l'énergie de liaison du noyau de l'atome cible.

3- La probabilité d'interaction par effet photoélectrique est plus grande si l'énergie du photon incident X est :

- a) voisine mais légèrement supérieure à l'énergie de liaison d'un électron K ou L de l'atome cible.
- b) égale à la différence des énergies de liaison $E_K - E_L$ des électrons de l'atome cible.
- c) voisine de l'énergie de liaison d'un électron externe de l'atome cible.
- d) voisine de l'énergie de liaison du noyau de l'atome cible.

4- Dans une diffusion simple de Thomson-Rayleigh, le photon incident est dévié

- a) sans changement de longueur d'onde.
- b) avec augmentation de sa longueur d'onde.
- c) avec diminution de sa longueur d'onde.

5- Lors de l'effet Compton, le photon incident :

- a) transfère toute son énergie à l'électron projeté si le choc est tangentiel.
- b) transfère toute son énergie à l'électron projeté si le choc est frontal.
- c) ne peut pas transférer toute son énergie à l'électron quel que soit le type de choc.

6- Lors de l'effet Compton,

- a) l'électron Compton est toujours projeté vers l'avant et le photon diffusé est toujours projeté vers l'arrière.
- b) l'électron Compton est toujours projeté vers l'arrière et le photon diffusé est toujours projeté vers l'avant.
- c) l'électron Compton est toujours projeté vers l'avant et le photon diffusé peut éventuellement être émis vers l'arrière.

7- Un électron Auger est :

- a) un photoélectron expulsé par effet photoélectrique.
- b) un électron provenant d'un effet de matérialisation.
- c) un électron expulsé après un réarrangement électronique.

8- Lors de l'effet de matérialisation, le photon incident se matérialise en donnant naissance :

- a) un électron et un positon, qui s'annihilent en formant deux photons diffusés de 0,511 MeV chacun.
- b) un électron et un proton, qui s'annihilent en formant deux photons diffusés de 0,511 MeV chacun.
- c) un électron et un positon; le positon se combine en fin de parcours à un électron du milieu et la réaction d'annihilation produit deux photons diffusés de 511 keV chacun.

9- L'effet de matérialisation se produit :

- a) pour des énergies supérieures à celles de l'effet Compton.
- b) pour des énergies inférieures à celles de l'effet photoélectrique.
- c) pour des énergies inférieures à 1,022 MeV.

10- Un écran d'épaisseur égale à 4 fois la CDA (couche de demi-atténuation) :

- a) laisse passer un photon sur 4.
- b) laisse passer un photon sur 16.
- c) absorbe un photon sur 16.

11- Le coefficient d'atténuation linéique d'un matériau dépend :

- a) de l'énergie des photons incidents et de la nature du matériau.
- b) uniquement de l'énergie des photons incidents.
- c) uniquement de la nature du matériau.

12- Une épaisseur de 1 cm de plomb est nécessaire pour réduire de 95 %, l'intensité d'un faisceau de photons de 0,25 MeV. Le coefficient d'atténuation linéique du plomb est :

- a) 3 cm^{-1}
- b) $0,5 \text{ mm}^{-1}$
- c) 5 mm^{-1}

13- La masse volumique du plomb est $11,3 \text{ g.cm}^{-3}$. Le coefficient d'atténuation massique du plomb pour des photons de 1 MeV est $6,84 \times 10^{-2} \text{ cm}^2.\text{g}^{-1}$.

La CDA du plomb pour ces photons est :

- a) 9 mm
- b) 10 cm
- c) $4,2 \cdot 10^{-3} \text{ cm}$

Q2 : Structure nucléaire et électronique des atomes (15 points)

1- Noyau

Données :

Masse d'un proton : $m_p = 1,007276 \text{ u}$

Masse d'un neutron : $m_n = 1,008665 \text{ u}$

Masse d'un noyau de cobalt 59 : $m_{Co} = 58,918388 \text{ u}$

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

Le noyau d'un atome de cobalt est représenté par ${}^{59}_{27}\text{Co}$.

1-1 Donner la constitution de ce noyau. Combien y a-t-il d'électrons dans l'atome ?

1-2 Exprimer et calculer le défaut de masse du noyau de cobalt en unité de masse atomique.

1-3

a) Définir l'énergie de liaison d'un noyau.

b) La calculer en MeV pour le noyau de cobalt.

c) En déduire l'énergie de liaison par nucléon.

2- Électrons

L'électron est caractérisé par 4 nombres quantiques

- n , nombre quantique principal

- l , nombre quantique secondaire ($0 \leq l \leq n-1$)

- m , nombre quantique magnétique ($-l \leq m \leq l$)

- s , nombre quantique de spin ($s = +1/2$ ou $-1/2$)

2-1 Donner la configuration électronique de plus basse énergie des atomes suivants :

${}_{11}\text{Na}$

${}_{27}\text{Co}$

${}_{15}\text{P}$

2-2 Les situer (ligne et colonne) dans la classification périodique à 18 colonnes.

2-3

a) A quelle valeur du nombre quantique n correspondent les couches K, L, M, N ?

b) Quel est le nombre maximum d'électrons sur chacune de ces couches ?

c) Pour chacun des atomes précédents, indiquer combien il y a d'électrons sur chacune de ces couches.

2-4

a) A quelle valeur du nombre quantique l correspondent les sous couches s, p, d, f ?

b) Quel est le nombre maximum d'électrons sur chacune de ces sous-couches ?

c) Quelle est la dernière sous couche occupée par des électrons pour les lanthanides et les actinides qui sont écrits sur deux lignes séparées en bas de la classification ?

DEUXIÈME PARTIE : PROBLÈME (30 points)**SCINTIGRAPHIE**

La plupart des questions peuvent être traitées indépendamment les unes des autres.

Données:

Masse d'un deuton	$m_d = 2,014\,102\,u$
Masse d'un neutron	$m_n = 1,008\,665\,u$
Masse d'un électron	$m_e = 0,000\,548\,u$
Masse d'un atome de tellure 122	$M_{Te} = 121,903\,047\,u$
Masse d'un atome d'iode 123	$M_I = 122,905\,598\,u$

On négligera l'énergie de liaison des électrons

unité de masse atomique

Charge élémentaire $e = 1,602 \times 10^{-19}\,C$

Célérité de la lumière dans le vide $c = 3,0 \times 10^8\,m.s^{-1}$

Constante de Planck $h = 6,626 \times 10^{-34}\,J.s$

unité d'activité $1\,Ci = 3,7 \times 10^{10}\,Bq$

Rayon de la trajectoire d'une particule de charge q , de masse m , dans un champ magnétique $\vec{B}$ perpendiculaire à la vitesse V : $R = mV / |q|B$

Extraits de la classification périodique :

Élément	Sb antimoine	Te tellure	I iode	Xe xénon	Cs césium
Z	51	52	53	54	55
Élément	C carbone	N azote	O oxygène	F fluor	Ne néon
Z	6	7	8	9	10

L'imagerie scintigraphique utilise des traceurs et des marqueurs.

Un traceur est une substance qui peut se localiser de façon sélective au niveau d'une structure particulière de l'organisme.

Un marqueur est un nucléide radioactif qui se prête aisément à une détection externe. L'association d'un traceur et d'un marqueur permet, grâce au marqueur, de suivre l'évolution du traceur dans l'organisme.

1- Les différentes familles de marqueurs

Le marqueur doit émettre des photons γ afin de pouvoir être détecté à l'extérieur de l'organisme à l'aide d'une gamma-caméra. Trois familles de marqueurs sont utilisées

1-1. Les émetteurs (β^- , γ)

L'iode 131 appartient à cette catégorie.

a) Écrire l'équation de sa désintégration β^-

b) Expliquer l'origine du rayonnement γ qui accompagne la désintégration β^- .

1-2. Les émetteurs β^+

L'oxygène 15 appartient à cette catégorie.

a) Écrire l'équation de la désintégration β^+

b) Que devient le positon émis au cours d'une désintégration β^+ ? En déduire l'origine des photons γ .

1-3. Les émetteurs γ purs par capture électronique

Le technétium 99 métastable appartient à cette catégorie.

a) D'où provient l'électron capturé par le noyau de technétium ?

b) Pourquoi dit-on qu'il s'agit d'une transformation isobarique ?

c) Donner l'allure de la courbe de stabilité qui représente le nombre de neutrons N (en ordonnée) en fonction du numéro atomique Z (en abscisse).

c-1) Situer sur cette courbe les zones de radioactivité β^+

c-2) Comment sont situés les isotopes d'un même élément ?

c-3) Les nucléides qui peuvent subir la capture électronique et la désintégration β^+ sont-ils toujours au dessous de la droite $N = Z$? Justifier en envisageant le cas des nucléides légers et celui des nucléides lourds.

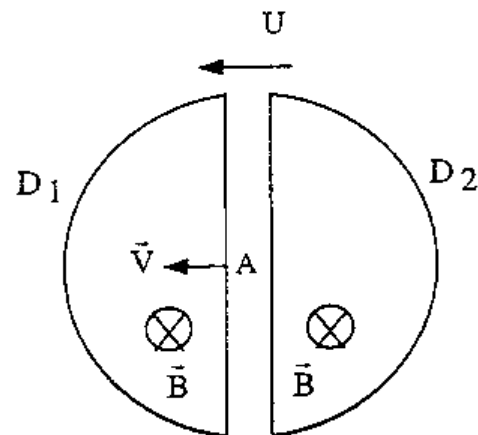
2- Production des radioéléments utilisés à l'aide d'un cyclotron

Les accélérateurs de type cyclotron permettent d'obtenir des particules chargées lourdes (protons, deutons...) de haute énergie susceptibles de provoquer des réactions nucléaires.

Un cyclotron comporte deux demi cylindres creux D_1 et D_2 appelés les "dees".

A l'intérieur des dees, règne un champ magnétique $\vec{B}$ uniforme et constant tel que $B = 1,8 \text{ T}$.

Entre les dees, il existe un champ électrique $\vec{E}$ produit par la différence de potentiel électrique U .



Des deutons ${}^2_1\text{H}$ sont injectés dans D_1 en A avec une vitesse $\vec{V}$ perpendiculaire à $\vec{B}$.

a) Représenter la force magnétique qui s'exerce sur un deuton en A.

b) De quel type est le mouvement des deutons dans D_1 ? Représenter la trajectoire correspondante en indiquant le sens du mouvement..

c) Exprimer littéralement la durée du mouvement d'un deuton dans D_1 . Cette durée dépend-elle de la vitesse en A ? Effectuer l'application numérique.

d) Quel doit être le sens du champ électrique entre les dees pour que les deutons soient accélérés à leur sortie de D_1 ? Le représenter.

e) Quel est alors le signe de la tension U entre les dees ?

f) Les deutons pénètrent dans D_2 en un point C. Décrire leur mouvement.

Quel est le temps de parcours dans D_2 ?

g) Ils sortent de D_2 en C'. Quels doivent être le sens du champ électrique et le signe de la tension U entre les dees pour qu'ils soient à nouveau accélérés ?

h) Calculer la fréquence de la tension alternative qu'il faut appliquer entre les dees.

i) Les deutons, supposés non relativistes, continuent ainsi leur mouvement de plus en plus rapidement ; ils sont extraits du cyclotron lorsque le rayon de la trajectoire dans les dees atteint la valeur $R_m = 0,40 \text{ m}$. Calculer leur énergie cinétique en joule, puis en MeV.

L'iode 123 est produit par réaction nucléaire entre des deutons de haute énergie et du tellure 122.

3- Scintigraphie thyroïdienne

L'iode radioactif est le traceur physiologique de référence ; il sert à la fois de traceur et de marqueur.

3-1. Utilisation de l'iode 131

3-1-1. Rayonnement γ .

- a) L'iode 131 a une période radioactive $T = 8$ jours. Que signifie cette affirmation ?
- b) Pour une scintigraphie thyroïdienne, un patient adulte doit ingérer par voie orale une quantité d'iode 131 d'activité égale à 1,85 MBq. On supposera que l'excrétion métabolique de l'iode est inexistante. Le délai entre l'administration du traceur et la réalisation des images est de 24 heures. Quelle est l'activité de l'iode dans le corps au moment où les images sont réalisées ?

3-1-2. Rayonnement β^- .

L'énergie d'une particule β^- est égale à 610 keV.

- a) Cette particule est-elle directement ou indirectement ionisante ? Justifier.
- b) Il faut une énergie moyenne de 32 eV pour créer une paire ion-électron dans l'eau. Les tissus biologiques étant assimilables à de l'eau, calculer le nombre moyen d'ionisations créées par une particule
- c) Un électron de 610 keV a un parcours moyen de 2 mm dans les tissus. Calculer la densité linéique d'ionisations (DLI) et le transfert d'énergie linéique (TEL ou TLE).

3-2. Utilisation de l'iode 123

L'iode 123 est un émetteur γ pur. Sa période est de 13,2 heures.

- a) Calculer sa constante radioactive λ en s^{-1} .
- b) Pour une scintigraphie thyroïdienne, il faut injecter à un patient adulte une quantité d'iode 123 d'activité égale à 7,4 MBq. Combien d'atomes d'iode a-t-on injectés ?
- c) Le délai entre l'administration du traceur et la réalisation des images est de 2 à 4 heures. Quel est le pourcentage de perte d'activité en 4 heures ?