

RÉACTIONS NUCLÉAIRES SPONTANÉES : EXERCICES

Réactions nucléaires

1. Donner les équations des désintégrations correspondant aux propositions suivantes (en utilisant la classification périodique des éléments).

Le polonium 210 est un émetteur α

Le carbone 14 se désintègre en donnant de l'azote

Le thorium se désintègre en donnant du radium 219

Le manganèse 56 se désintègre en donnant un élément de numéro atomique $Z = 26$

Le cadmium se désintègre en donnant de l'argent 107

Le phosphore se désintègre en donnant du soufre 32

L'azote 12 se désintègre en carbone

Émetteurs α et γ

2. Les noyaux de radium 226 se désintègrent en donnant un rayonnement α et un noyau fils Y.

Écrire l'équation de cette désintégration ; donner le nom et les caractéristiques du noyau-fils.

Calculer l'énergie disponible ; préciser sous quelle forme elle apparaît.

On constate que certains noyaux d'hélium ont une énergie cinétique inférieure de 0,19 MeV à celle des autres noyaux.

Sous quelle forme cette énergie est-elle libérée ?

Calculer la longueur d'onde du rayonnement γ émis au cours de la désexcitation du noyau fils.

Données (masses des noyaux) : $M_{\text{Ra}} = 225,97786 \text{ u}$; $M_{\text{Rn}} = 221,97108 \text{ u}$; $M_{\text{He}} = 4,00151 \text{ u}$

3. Le noyau de bismuth 212 se désintègre pour donner du thallium.

Écrire l'équation de cette réaction nucléaire.

Les particules α émises forment plusieurs groupes monocinétiques. Les énergies cinétiques correspondantes sont données dans le tableau :

E_c (MeV)	5,606	5,625	5,768	6,051	6,090
%	0,43	0,06	0,63	25,1	9,7

Les spectres de rayonnement des photons émis est donné dans le tableau :

$h\nu$ (keV)	(40)	328	473	493
--------------	------	-----	-----	-----

Établir le schéma de désintégration mettant en évidence les niveaux d'énergie du noyau fils.

Donner l'ordre de grandeur des longueurs d'onde des différents rayonnements émis.

Émetteur β^-

4. Les énergies de liaison du cobalt 60 et du nickel 60 sont de 524,76 MeV et 526,80 MeV.

4.1. Expliquer pourquoi le noyau de nickel 60 est plus stable que le noyau de cobalt 60.

Le cobalt est un émetteur β^- .

4.2. Donner l'équation de la désintégration

4.3. Calculer l'énergie disponible.

4.4. On donne le schéma de désintégration du cobalt 60.

Commenter ce schéma.

4.5. Calculer les longueurs d'onde des photons émis.

4.6. Calculer les énergies cinétiques maximales des électrons émis.

4.7. L'énergie du niveau K (du nuage électronique) du Nickel vaut 8,333 keV.

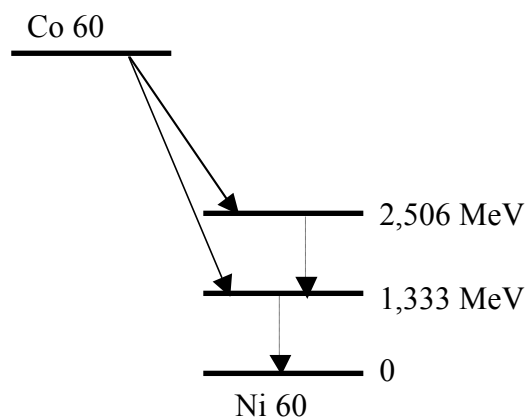
Calculer l'énergie cinétique d'un électron K émis par conversion interne à partir du premier état excité du noyau fils.

On donne les masses, en $\text{MeV} \cdot c^{-2}$:

proton : 938,272

neutron : 939,565

électron : 0,511



Datation.

5. Le carbone 14 et le carbone 12 sont des nucléides présents dans l'atmosphère et dans tout organisme vivant dans des proportions sensiblement constantes (c'est à dire que le rapport du nombre de noyaux de carbone 14 sur le nombre de noyaux de carbone 12 est constant). Une fois que l'organisme cesse de vivre, le nombre de noyaux de carbone 12 reste inchangé, par contre celui de noyaux carbone 14 décroît avec le temps par désintégration radioactive de type β^- de période (demi-vie) $T = 5570$ ans.

5.1. Écrire l'équation de cette réaction de désintégration .

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

5.3. L'épave d'une barque a été retrouvée récemment au large des côtes tunisiennes .Dans le but d'estimer l'âge de cette barque, on en prélève un morceau de bois bien conservé. La mesure de l'activité de l'échantillon donne 1307 désintégrations par minute .

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

Déterminer l'âge de la barque.

Analyse d'une expérience

6. Le vanadium 52 est radioactif du type β^- et sa désintégration spontanée est accompagnée de l'émission d'un photon γ d'énergie $E = 143$ keV. Le noyau fils (du chrome) est stable.

6.1. Donner l'équation de la désintégration. Quelle est l'origine du photon γ ? Calculer la longueur d'onde associée.

6.2. On étudie la désintégration d'un échantillon contenant des atomes de vanadium 52. Soit N_0 et N les nombres de noyaux aux instants $t_0 = 0$ et t .

6.2.1. Donner l'expression mathématique de N en fonction de t et de la constante radioactive λ .

Donner la définition de l'activité A et montrer que A s'exprime sous la forme $A = A_0 e^{-\lambda t}$ (où A_0 est la valeur de A à la date $t = 0$).

6.2.2. A l'aide d'un compteur, on détermine le nombre δn de désintégrations pendant une durée constante $\delta t = 5$ s. Les mesures sont faites toutes les minutes ; soit t la date moyenne d'une mesure. On obtient les résultats suivants :

t(s)	0	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780
δn	1586	1257	1075	873	741	584	471	428	355	296	235	195	155	132

L'expérience fournit donc le taux de désintégration que l'on définit par $A = \delta n / \delta t$ (δt étant considéré comme petit).

Exprimer $\ln A$ en fonction de t .

Construire la courbe représentative de $\ln A$ en fonction de t .

En exploitant cette courbe, trouver la valeur de λ ; en déduire celle de la demi-vie $T_{1/2}$.

Donner l'abscisse correspondante à $\ln A_0 - \ln 2$; conclure.

Scintigraphies du myocarde

Pour réaliser des scintigraphies du myocarde pour l'évaluation de la perfusion myocardique, on peut utiliser une solution isotonique stérile de chlorure de thallium 201 d'activité volumique égale à 1 mCi / mL. (rappel : 1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$ Bq)

L'examen nécessite l'injection par voie intraveineuse d'une activité de 78 MBq chez un individu de 70 kg, et on peut acquérir les premières images quelques minutes après l'injection.

Le thallium 201 résulte de la désintégration du plomb 201 obtenu en bombardant une cible de thallium naturel par des protons.

Par capture électronique, le thallium 201 donne naissance à du mercure 201 (non radioactif) avec émission de photons γ d'énergie 135, 166 et 167 keV et de photons X d'énergie 69 et 83 keV.

La période du thallium 201 est de $T = 3,04$ jours.

1. L'élément thallium et ses isotopes

1.1. Le numéro atomique du thallium est 81 ; donner, en justifiant, la configuration électronique de plus basse énergie du thallium et le situer (ligne et colonne) dans le tableau périodique à 18 colonnes.

1.2. Le thallium naturel est un mélange des deux isotopes :

thallium 203 et thallium 205 à raison de 29,5% et 70,5% en masse respectivement.

1.2.1. Indiquer le nombre de protons et le nombre de neutrons contenus dans le noyau de chacun de ces isotopes.

1.2.2. Le plomb 201 se désintègre en thallium 201 par capture électronique ou par radioactivité β^+ . Écrire l'équation traduisant chacune de ces désintégrations.

2 - La désintégration du thallium 201

2.1. Écrire l'équation traduisant la transformation du thallium 201 en mercure 201 par capture électronique et expliquer la production de photons γ d'une part et de photons X d'autre part.

2.2. Calculer les longueurs d'onde des photons d'énergie 69 keV et 83 keV.

Calculer de même les longueurs d'onde des photons d'énergie 135 keV et 167 keV.

Les résultats trouvés permettent-ils de différencier les photons X des photons γ ?

3. Injection et élimination du thallium 201

3.1. Calculer en s^{-1} la constante radioactive λ du thallium 201.

3.2. Calculer le volume de solution injecté à un patient de 70 kg ainsi que le nombre d'atomes de thallium 201 reçus par ce patient au moment de l'injection.

3.3. Calculer l'activité restante chez le patient deux heures après l'injection en l'absence de toute élimination biologique.

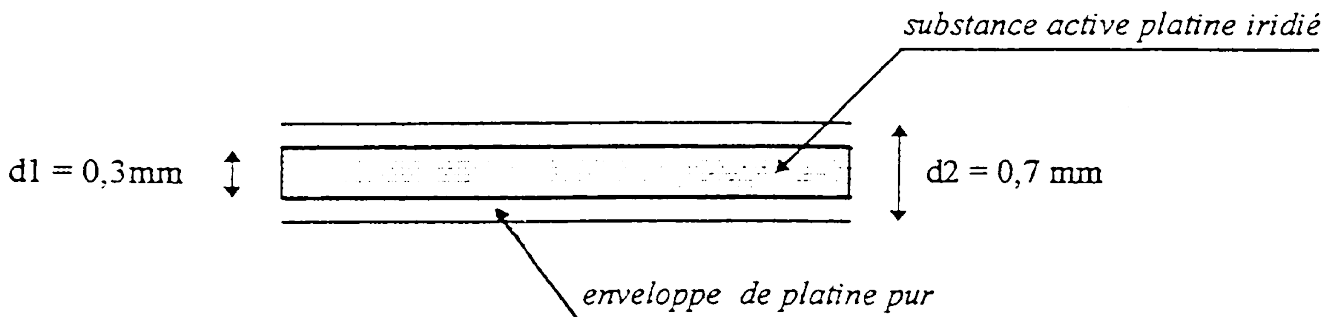
3.4. La période effective T_{eff} d'un radioélément tient compte de son élimination biologique et est égale au temps nécessaire pour que la radioactivité de l'organisme ait diminué de moitié ; elle est liée à la période T par la relation :

$$T_{\text{eff}} = 0,693 T$$

Calculer la période effective dans le cas du thallium 201 et expliquer pourquoi cette période effective est toujours inférieure à la période T .

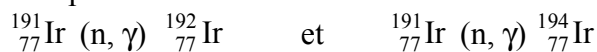
Endocuriethérapie.

L'iridium $^{192}_{77}\text{Ir}$ est un radio élément utilisé en endocuriethérapie. La source d'iridium $^{192}_{77}\text{Ir}$ est constituée d'un fil de platine iridié (alliage de platine et de 20 % d'iridium) formant la substance active, placé dans un tube de platine pur, servant d'enveloppe



I. Préparation de la source

1. Pour fabriquer cette source on irradie un fil de platine iridié ; au cours de cette irradiation neutronique, il se forme deux isotopes de l'iridium selon les réactions



Écrire les équations correspondant à l'action des neutrons sur $^{191}_{77}\text{Ir}$ et formant les deux isotopes 192 et 194.

2. Les isotopes formés sont radioactifs

$^{192}_{77}\text{Ir}$ a une période $T_1 = 74\text{ j}$

$^{194}_{77}\text{Ir}$ a une période $T_2 = 19\text{ h}$

2.1. Un échantillon de chaque isotope a une activité égale à 10^4 Bq , calculer dans chaque cas l'activité restante au bout de 8 jours.

2.2. Montrer qu'il suffit d'un stockage de la source de 8 jours pour éliminer l'iridium 194.

II. Utilisation de l'Iridium 192 en endocuriethérapie.

Dans un modèle simplifié, on considère que l'iridium 192 est radioactif β^- . L'énergie cinétique maximale des électrons émis est de 0,67 MeV. L'énergie des rayons γ prend les valeurs suivantes :

E_γ en MeV	0,296	0,308	0,317	0,468	0,604	0,612
-------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Seuls les rayons γ sont utilisés pour cette thérapie.

1. Étude de réaction de désintégration.

1.1. Écrire l'équation de désintégration de l'iridium en précisant les lois de conservation utilisées.

1.2. Expliquer le fait que dans la plupart des désintégrations l'électron est émis avec une énergie cinétique inférieure à 0,67 MeV .

1.3. Calculer la longueur d'onde du photon d'énergie 0,317 MeV

1.4. Justifier qualitativement l'existence des différents photons.

2. Étude de la source.

Pour le traitement d'une tumeur, on utilise une source formée de 3 fils identiques de 8 mm de longueur, d'activité linéique (pour un diamètre donné) $7,4 \times 10^7\text{ Bq.cm}^{-1}$.

2.1. Calculer l'activité de la source au début du traitement.

2.2. Que devient cette activité au bout de 5 jours de traitement ?