BURHAN

Décroissance radioactive : exercices, niveau examen

2ème Année Baccalauréat · Sciences Physiques · Physique-Chimie

Corrigé détaillé en ligne : burhan.ma/2bac/pc/physique-chimie/decroissance-radioactive/exercices/examen

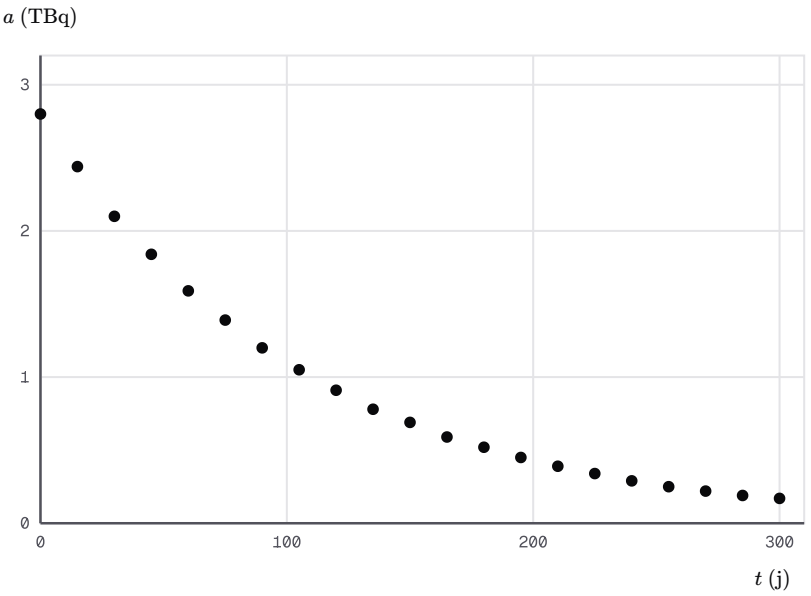
Chapitre	Palier	Exercices
Décroissance radioactive	Niveau examen	5

Exercice 1 — 5,5 pts

Gammagraphie industrielle à l'iridium 192

Pour contrôler des soudures, une entreprise radiographie des pièces d'acier avec le rayonnement γ d'une source d'iridium 192, $^{192}_{77}\mathrm{Ir}$. On donne le nombre de charge du platine, $Z = 78$, et $1\,\mathrm{j} = 86\,400\,\mathrm{s}$; calculatrice autorisée.

Document. Activité a de la source, mesurée par le fabricant tous les quinze jours depuis sa mise en service.



Activité de la source d'iridium 192 relevée tous les quinze jours

A.1. — 0,75 pts

Partie A : noyau et rayonnements de l'iridium 192.

Donner la composition du noyau d'iridium 192.

INDICE

Outil : le symbole du nucléide donne le nombre de charge et le nombre de nucléons.

A.2. — 1 pts

L'iridium 192 se désintègre le plus souvent par radioactivité β^-. Écrire l'équation de cette désintégration et nommer le noyau fils.

INDICE

Outil : la particule émise par une désintégration β^-, puis les deux lois de conservation.

A.3. 0,5 pts

Le noyau fils est formé dans un état excité. Écrire l'équation de son retour à l'état fondamental, puis expliquer pourquoi c'est ce rayonnement qui sert à radiographier l'acier.

INDICE

Outil : l'émission γ ne change ni A ni Z ; compare le pouvoir de pénétration des rayonnements.

B.1. 0,75 pts

Partie B : activité de la source.

Montrer, à l'aide du document, que la demi-vie de l'iridium 192 vaut environ $74\,\text{j}$.

INDICE

Outil : la définition de la demi-vie ; cherche entre quels relevés l'activité passe par la moitié de sa valeur initiale.

B.2. 0,75 pts

On note λ la constante radioactive de l'iridium 192. Montrer que $t_{1/2} = \dfrac{\ln 2}{\lambda}$.

INDICE

Début : écris la loi de décroissance à l'instant $t_{1/2}$. **Ensuite :** simplifie par N_0, puis applique le logarithme népérien.

B.3. 0,5 pts

On prend $t_{1/2} = 73{,}8\,\text{j}$. Calculer λ en s^{-1}.

INDICE

Outil : la demi-vie exprimée en secondes.

B.4. 0,5 pts

À sa mise en service, la source a une activité $a_0 = 2{,}8\,\text{TBq}$, avec $1\,\text{TBq} = 10^{12}\,\text{Bq}$. Avec $\lambda \approx 1{,}09 \times 10^{-7}\,\text{s}^{-1}$, calculer le nombre N_0 de noyaux d'iridium 192 qu'elle contient alors.

INDICE

Outil : la proportionnalité entre activité et nombre de noyaux.

B.5. 0,75 pts

L'entreprise remplace la source quand son activité devient inférieure à $0{,}40\,\text{TBq}$. Calculer la durée d'utilisation de la source, puis la contrôler sur le document.

INDICE

Début : la loi de l'activité à l'instant du remplacement.

Exercice 2 5,25 pts

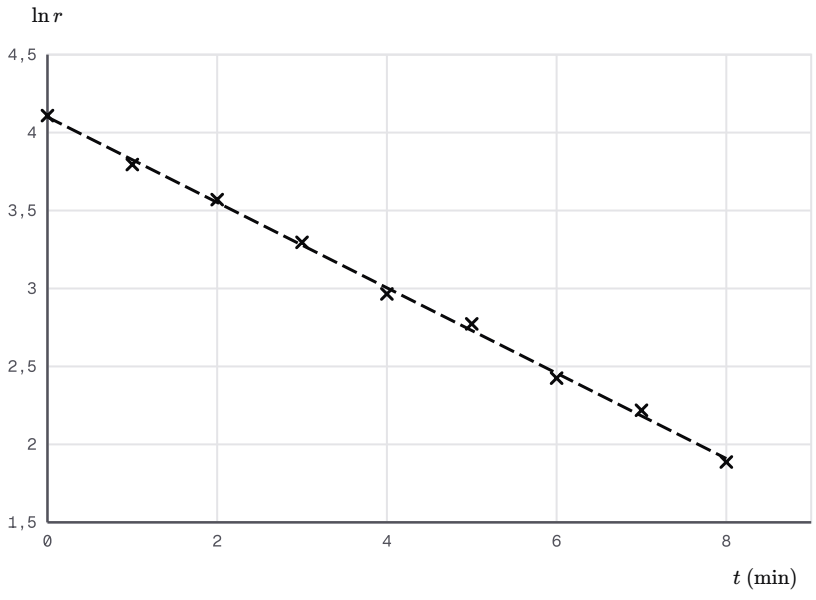
Suivre au compteur la décroissance du baryum 137m

Au laboratoire, on obtient à partir d'un générateur une solution contenant du baryum 137m, radioactif. Un compteur Geiger-Müller relève le nombre n de coups pendant $10{,}0\,\text{s}$, une fois par minute. Sans source, il relève en moyenne 4 coups en $10{,}0\,\text{s}$.

On note $r = \dfrac{n - 4}{10{,}0\,\text{s}}$ le taux de comptage corrigé, en coups par seconde ; il est proportionnel à l'activité de la solution. Calculatrice autorisée.

Document. Relevés, et représentation de $\ln r$ en fonction du temps avec la droite de modélisation.

t (min)	n (coups en $10{,}0\,\text{s}$)
0	613
1	449
2	359
3	274
4	198
5	164
6	117
7	96
8	70



Logarithme du taux de comptage corrigé du baryum 137m

A.1. 0,5 pts

Partie A : mesures et protocole.

Calculer r et $\ln r$ pour la mesure faite à $t = 3\,\text{min}$.

INDICE

Outil : le bruit de fond et la durée de comptage.

A.2. 0,5 pts

Pourquoi chaque comptage dure-t-il $10{,}0\,\text{s}$, plutôt qu'une seconde ou qu'une minute entière ?

INDICE

Outil : compare la durée de comptage à la durée sur laquelle l'activité varie nettement, puis pense aux fluctuations.

A.3. 1 pts

Proposer un protocole qui permet d'obtenir ces relevés : matériel, mesures et précautions.

INDICE

Début : commence par la mesure faite sans source. **Ensuite :** dis comment repérer les instants et ce qui doit rester fixe d'une mesure à l'autre.

B.1. 1 pts

Partie B : exploitation de la droite. On note a l'activité de la solution, a_0 sa valeur à $t = 0$ et λ la constante radioactive du baryum 137m. On admet que $r = k\,a$, avec k constant.

Montrer que $\ln r = \ln(k\,a_0) - \lambda t$.

INDICE

Outil : la décroissance de l'activité, puis les propriétés algébriques du logarithme népérien.

B.2. 0,75 pts

La droite de modélisation du document passe par les points $(0\,;\,4{,}10)$ et $(8\,;\,1{,}91)$, le temps étant en minutes. En déduire la constante radioactive λ du baryum 137m.

INDICE

Outil : la pente de la droite vaut $-\lambda$.

B.3. 0,75 pts

Avec $\lambda \approx 0{,}274\,\text{min}^{-1}$, calculer la constante de temps τ et la demi-vie $t_{1/2}$ du baryum 137m.

INDICE

Outil : la définition de la constante de temps et la relation entre demi-vie et constante radioactive.

B.4. `0,75 pts`

La demi-vie tabulée du baryum 137m vaut $2{,}55\,\text{min}$. Calculer l'écart relatif entre la valeur mesurée $2{,}53\,\text{min}$ et cette valeur. Avec $\lambda \approx 0{,}274\,\text{min}^{-1}$ et la droite passant par $(0\,;\,4{,}10)$, estimer ensuite à quel instant le taux corrigé deviendrait égal au bruit de fond, $0{,}40\,\text{s}^{-1}$, et conclure.

INDICE

Début : l'écart relatif est la valeur absolue de la différence, divisée par la valeur de référence. **Ensuite :** écris $\ln r$ sur la droite, avec $\ln 0{,}40 \approx -0{,}92$.

Exercice 3 5 pts

Âge d'un zircon par l'uranium 238 et le plomb 206

Le zircon est un minéral qui, en cristallisant, incorpore de l'uranium mais pas de plomb. L'uranium 238 qu'il contient se transforme, par une famille radioactive, en plomb 206 stable. Les noyaux intermédiaires de cette famille ont des demi-vies très courtes devant celle de l'uranium 238.

Document. Données sur un zircon extrait d'une roche ancienne.

Donnée	Valeur
demi-vie de l'uranium 238	$4{,}47 \times 10^{9}\ \text{ans}$
nombre de charge de l'uranium	$Z = 92$
nombre de charge du thorium	$Z = 90$
nombre de charge du plomb	$Z = 82$
rapport mesuré des noyaux $\dfrac{N_{\text{Pb}}}{N_{\text{U}}}$	$0{,}30$

Calculatrice autorisée.

A.1. 0,5 pts

Partie A : de l'uranium 238 au plomb 206.

Donner la composition des noyaux $^{238}_{92}\text{U}$ et $^{206}_{82}\text{Pb}$.

INDICE

Outil : Z protons et $A - Z$ neutrons.

A.2. 0,5 pts

L'uranium 238 est radioactif α. Écrire l'équation de sa désintégration.

INDICE

Outil : la particule α, puis les deux lois de conservation.

A.3. 1 pts

Toutes les transformations qui mènent de l'uranium 238 au plomb 206 se résument par l'équation

$$\begin{aligned} &^{238}_{92}\text{U} \\ &\longrightarrow\ ^{206}_{82}\text{Pb} \\ &\quad + x\,{}^{4}_{2}\text{He} + y\,{}^{0}_{-1}\text{e} \end{aligned}$$

Montrer que $x = 8$ et $y = 6$.

INDICE

Outil : la conservation du nombre de nucléons donne x, puis celle du nombre de charge donne y.

B.1. 0,5 pts

Partie B : âge du zircon. On note N_0 le nombre de noyaux d'uranium 238 du zircon à sa formation, N_{U} et N_{Pb} les nombres actuels de noyaux d'uranium 238 et de plomb 206. On admet que le zircon ne contenait pas de plomb 206 à sa formation, et que chaque noyau d'uranium 238 désintégré a donné un noyau de plomb 206.

Montrer que $N_0 = N_{\mathrm{U}} + N_{\mathrm{Pb}}$.

INDICE

Outil : compte les noyaux d'uranium 238 qui se sont désintégrés depuis la formation.

B.2. 0,75 pts

On note $t_{1/2}$ la demi-vie de l'uranium 238. Montrer que l'âge t du zircon s'écrit

$$t = \frac{t_{1/2}}{\ln 2}\,\ln\left(1 + \frac{N_{\mathrm{Pb}}}{N_{\mathrm{U}}}\right)$$

INDICE

Début : écris la loi de décroissance pour l'uranium 238, avec $N_0 = N_{\mathrm{U}} + N_{\mathrm{Pb}}$. **Ensuite :** isole λt par le logarithme népérien.

B.3. 0,75 pts

Le rapport mesuré vaut $\dfrac{N_{\mathrm{Pb}}}{N_{\mathrm{U}}} = 0{,}30$ et $t_{1/2} = 4{,}47 \times 10^{9}\ \mathrm{ans}$. Calculer l'âge du zircon.

INDICE

Outil : l'expression de l'âge, avec la calculatrice pour le logarithme.

B.4. 1 pts

Question de synthèse. Expliquer pourquoi l'uranium 238 convient pour dater ce zircon, alors que le carbone 14 ne conviendrait pas. La demi-vie du carbone 14 vaut $5\,730\ \mathrm{ans}$. Expliquer ensuite pourquoi on peut négliger les noyaux intermédiaires de la famille dans le bilan des noyaux.

INDICE

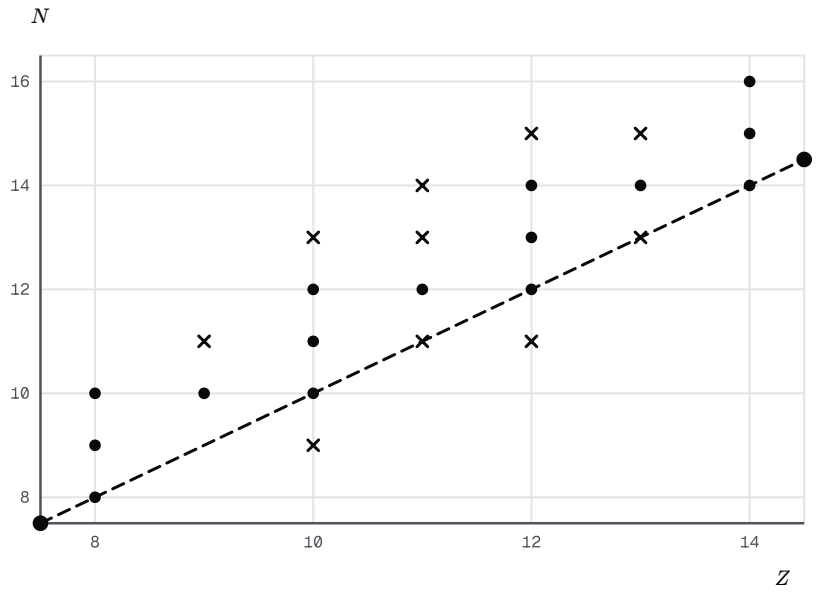
Début : compare l'âge trouvé à chaque demi-vie. **Point délicat :** un noyau de demi-vie très courte se désintègre presque aussitôt formé.

Exercice 4 5,5 pts

Sodium 24 et volume sanguin

Pour mesurer le volume sanguin d'un patient, un médecin injecte une solution contenant du sodium 24, $^{24}_{11}\mathrm{Na}$, radioactif. On néglige l'élimination du sodium par l'organisme pendant la durée de l'étude. Calculatrice autorisée.

Document. Extrait du diagramme (N, Z) autour du sodium : noyaux stables, noyaux instables et droite $N = Z$.



$N = Z$ ● Point du graphe ● Noyaux stables ✕ Noyaux instables

Extrait du diagramme (N, Z) pour Z de 8 à 14

A.1. 0,5 pts

Partie A : radioactivité du sodium 24.

Donner la composition du noyau de sodium 24, puis les coordonnées $(Z ; N)$ de son point dans le diagramme.

INDICE

Outil : Z protons et $N = A - Z$ neutrons ; l'abscisse est Z, l'ordonnée N.

A.2. 0,75 pts

Montrer, à l'aide du document, que le sodium 24 a un excès de neutrons, et en déduire le type de radioactivité attendu.

INDICE

Outil : compare le point du sodium 24 à celui du noyau stable de même nombre de charge, puis relie l'excès de neutrons à un type de désintégration.

A.3. 0,75 pts

Le sodium 24 est bien radioactif β^-. Écrire l'équation de sa désintégration, sachant que le magnésium a pour nombre de charge $Z = 12$.

INDICE

Outil : l'électron émis, puis les deux lois de conservation.

A.4. 0,5 pts

Montrer que le point du noyau fils appartient à la vallée de stabilité.

INDICE

Outil : une désintégration β^- déplace le point de $+1$ en Z et de -1 en N.

B.1. 0,75 pts

Partie B : mesure du volume sanguin. La demi-vie du sodium 24 vaut $t_{1/2} = 15{,}0\,\text{h}$.

Calculer sa constante radioactive λ en h^{-1}.

INDICE

Outil : la relation entre demi-vie et constante radioactive.

B.2. 0,75 pts

À $t = 0$, on injecte une solution d'activité $a_0 = 4{,}0 \times 10^5\,\text{Bq}$. Calculer l'activité du sodium 24 du patient à $t = 6{,}0\,\text{h}$.

INDICE

Outil : la décroissance de l'activité, avec λ en h^{-1} et t en heures.

B.3. 1 pts

À $t = 6{,}0\,\text{h}$, le sodium 24 est réparti uniformément dans le sang, dont l'activité totale vaut alors $3{,}0 \times 10^5\,\text{Bq}$. Un prélèvement de $10{,}0\,\text{mL}$ de sang a une activité $a_\text{p} = 600\,\text{Bq}$. Montrer que le volume sanguin du patient vaut environ $5{,}0\,\text{L}$.

INDICE

Outil : dans un mélange uniforme, l'activité d'un prélèvement est proportionnelle à son volume.

B.4. 0,5 pts

Au bout de combien de temps après l'injection l'activité du sodium 24 du patient devient-elle inférieure à $1{,}0 \times 10^3\,\text{Bq}$?

INDICE

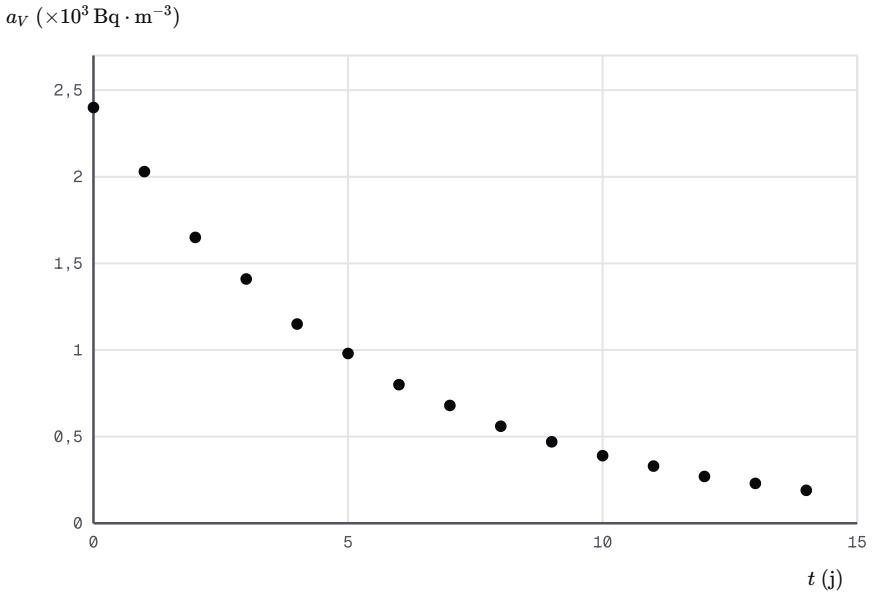
Outil : la loi de l'activité, puis le logarithme népérien pour isoler t.

Exercice 5 5,25 pts

Radon 222 dans une cave

Le radon 222 est un gaz radioactif qui peut s'accumuler dans les caves mal aérées. Il se forme dans les roches qui contiennent de l'uranium, au terme d'une suite de désintégrations. Nombres de charge : plomb 82, polonium 84, radon 86. On donne $1\,\mathrm{j} = 86\,400\,\mathrm{s}$; calculatrice autorisée.

Document. Un échantillon d'air de la cave est enfermé dans un flacon étanche, et son activité volumique a_V est mesurée chaque jour. On admet que l'activité mesurée est celle du radon 222 seul.



Activité volumique du radon de l'air enfermé, mesurée chaque jour

A.1. 0,5 pts

Partie A : le radon et ses descendants.

Le radon 222 est radioactif α. Écrire l'équation de sa désintégration et nommer le noyau fils.

INDICE

Outil : la particule α, puis les deux lois de conservation.

A.2. 0,5 pts

Le polonium 218 formé est lui aussi radioactif α. Montrer que son noyau fils est le plomb 214, puis écrire l'équation de cette désintégration.

INDICE

Outil : les mêmes lois de conservation, avec les nombres de charge donnés.

A.3. 0,75 pts

Pourquoi le radon se répand-il dans l'air de la cave, alors que les noyaux dont il descend restent dans la roche ?

INDICE

Outil : compare l'état physique du radon et celui de ses ancêtres.

B.1. 0,75 pts

Partie B : décroissance et aération.

Montrer, à l'aide du document, que la demi-vie du radon 222 est voisine de $3{,}8\,\mathrm{j}$.

INDICE

Outil : la définition de la demi-vie ; cherche entre quelles mesures l'activité volumique passe par la moitié de sa valeur initiale.

B.2. 0,5 pts

On prend $t_{1/2} = 3{,}82\,\mathrm{j}$. Calculer la constante radioactive λ du radon 222 en s^{-1}.

INDICE

Outil : la demi-vie exprimée en secondes.

B.3. 0,5 pts

Dans la cave, l'activité volumique vaut $2{,}4 \times 10^{3}\,\mathrm{Bq}\cdot\mathrm{m}^{-3}$. Avec $\lambda \approx 2{,}10 \times 10^{-6}\,\mathrm{s}^{-1}$, calculer le nombre de noyaux de radon 222 contenus dans un mètre cube d'air de la cave.

INDICE

Outil : l'activité d'un mètre cube d'air est proportionnelle au nombre de noyaux qu'il contient.

B.4. 0,75 pts

On prend toujours $t_{1/2} = 3{,}82\,\mathrm{j}$, avec $\ln 10 \approx 2{,}30$. Montrer que, pour un air enfermé, la seule décroissance radioactive met environ 13 jours à diviser l'activité volumique par 10.

INDICE

Outil : la loi de l'activité, puis le logarithme népérien.

B.5. 1 pts

Question de synthèse. Dans la cave, le sol libère du radon en permanence. Un ventilateur renouvelle tout l'air de la cave en $2{,}0\,\mathrm{h}$ environ. Expliquer pourquoi l'aération, et non la décroissance radioactive, abaisse l'activité volumique de l'air de la cave, et pourquoi elle doit rester permanente.

INDICE

Début : compare la durée de renouvellement de l'air à la durée trouvée pour la seule décroissance.
Point délicat : le radon détruit par décroissance est remplacé par celui que libère le sol.