Expériences sur la radioactivité

21206

Ce DVD est principalement destiné aux élèves de première et terminale des lycées. Mais c'est aussi un film de culture générale.

Durée : 26 minutes.

1. Contenu

Historique

Séquence 1 :
Expérience de Becquerel

Une source radioactive $^{137}_{55}Cs$ est placée sur du papier photosensible à l'abri de la lumière, pendant 5, 10, 15 et 20 minutes. Après développement, on observe 4 taches rondes de plus en plus sombres. C'est par une expérience voisine que Becquerel (1896) a découvert la radioactivité.
Le dosimètre est une application de ce phénomène pour surveiller l'exposition des Hommes à la radioactivité.

Séquence 2 :
L'électroscope

L'ébonite, frottée par la peau de chat, est chargée négativement. Cela permet de charger l'électroscope positivement par influence. La source alpha ionise l'air ambiant en paires d'ions de charges opposées. Ici, les charges moins générées vont décharger les feuilles de l'électroscope assez rapidement. De la même façon, un électroscope chargé négativement est déchargé par la source alpha. Ce sont les charges positives qui vont alors agir.

Séquence 3 :
La déviation par un champ magnétique important

Il y a 2 détecteurs de particules « bêta moins » au sol ; l'aiguille de chaque ampèremètre dévie sous le flot des électrons « bêta moins » envoyés directement vers le bas.
On place la source d'électrons « bêta moins » entre les détecteurs, dirigée vers le haut.

L'important champ magnétique, dans l'entrefer de l'électroaimant, permet de renvoyer les électrons vers le bas après un demi-tour, soit dans le détecteur avant, soit dans le détecteur arrière selon le sens du vecteur champ magnétique (loi de Lorentz).

Omniprésence de la radioactivité

Séquence 4 :
La radioactivité nous entoure

Après avoir placé un filtre en papier à l'extrémité du tube de l'aspirateur, on aspire l'air ambiant pendant 10 minutes. Le filtre, placé sur un compteur Geiger, montre une radioactivité accrue. On détecte la radioactivité des descendants solides du radon.
Le radon, gaz inerte de la dernière colonne du tableau périodique, peut s'accumuler dans les parties basses des habitations vu sa densité importante. La radioactivité engendrée peut être nocive ; penser à aérer!

Séquence 5 :
La chambre à brouillard

Dans une atmosphère saturée de vapeur d'alcool (propan-2-ol), on observe des traces qui matérialisent le passage de particules ; un peu comme l'avion que l'on devine dans le ciel grâce à la traînée blanche visible.
De la vapeur d'alcool diffuse vers le bas et donne une zone de plus en plus saturée en vapeur d'alcool. Les rayonnements radioactifs (alpha et bêta surtout) créent des paires d'ions de charges opposées sur lesquelles se condensent les gouttelettes d'alcool.
On élimine les paires d'ions par un champ électrique.
La radioactivité « bruit de fond » donne quelques traces aléatoires.
Si on injecte du radon 220 gazeux, les traces denses sont plus abondantes (particules alpha) ; elles ne dépassent pas 4 cm de long. Elles disparaissent assez rapidement.
Lors d'un « V », un noyau de radon 220 ($t_{1/2}$ = 54 s) émet une particule alpha et se transforme en polonium 216 ($t_{1/2}$ = 0,16 s) qui émet une particule alpha et se transforme en plomb 212. Les 2 désintégrations se suivent très rapidement.
Si on place un morceau de pechblende, on constate que les traces divergent à partir de ce minerai radioactif.

Séquence 6 :
Détection par scintillations

A partir d'un sel de thorium 232 ou d'uranium (pechblende), on dispose d'une réserve de gaz radon 220 dans un flacon en verre. Après avoir vidé l'air de l'ampoule noire, on y injecte le gaz radon, émetteur alpha. Les chocs des particules alpha sur une couche de sulfure de zinc émettent des scintillations. Ces grains de lumière ou photons sont détectés et convertis en signal électrique.

Séquence 7 :
Le détecteur de fumée

Les deux détecteurs contiennent de $^{241}_{95}$ Am ($t_{1/2}$ = 458 ans), source alpha.
Un détecteur mesure le flot des particules alpha qui est amoindri en présence de fumée.

Séquence 8 :
Quelques corps radioactifs

On montre successivement :
$^{22}_{11}$Na : émetteur Bêta +, demi-vie 2,6 ans
$^{152}_{63}$Eu : émetteur Bêta + et Bêta -, demi-vie 13,5 ans
$^{152}_{63}$Eu (m): émetteur Bêta + et Bêta -, demi-vie 9,3 heures
$^{60}_{27}$Co : émetteur Bêta -, demi-vie 5,3 ans
$^{60}_{27}$Co (m) : émetteur Bêta -, demi-vie 10 minutes
$^{90}_{38}$Sr : émetteur Bêta -, demi-vie 28,78 ans
$^{137}_{55}$Cs : émetteur Bêta -, demi-vie 30 ans

Cette liste montre l'extrême diversité de la durée des demi-vies.
Les noyaux obtenus étant excités, le rayonnement gamma permet le retour à la stabilité.

Propriétés des rayonnements

Séquence 9 :
Distinguer les différents rayonnements

Devant une source alpha, puis bêta et enfin gamma, on intercale une couche d'air, un écran de papier, d'aluminium et enfin de plomb. Les désintégrations détectées permettent de se rendre compte que le plomb est plus efficace que l'aluminium, que l'aluminium est plus efficace que le papier, que le papier est plus efficace que l'air pour arrêter les rayonnements.
Pour le même écran, le pouvoir pénétrant augmente des rayons alpha aux rayons bêta, puis aux rayons gamma.
On peut remarquer que l'ordre alphabétique des lettres grecques (alpha, bêta, gamma) augmente avec le pouvoir pénétrant.

Séquence 10:
Modélisation de l'absorption

On bombarde un grillage par de petits cailloux. Ils traversent pour la plupart.
Dans l'expérience de Rutherford, les projectiles alpha traversaient une feuille d'or. Il y avait peu de déviations. Les atomes d'or sont très éloignés les uns des autres et séparés par du vide.

Séquence 11 :
Des mesures pratiques

On mesure, pendant 2s, les désintégrations d'une source de césium à 6,5 cm, puis à 9 cm et à 12,5 cm du détecteur. Pour une situation donnée, la valeur change un peu de façon aléatoire.
La valeur diminue si la distance augmente ; on vérifie que si la distance double, la valeur est divisée par quatre.
Un écran en aluminium de 0,5 mm d'épaisseur absorbe beaucoup le rayonnement bêta, mais moins qu'un écran en aluminium de 1 mm.
Un écran en plomb de 5mm absorbe encore mieux les rayonnements bêta et gamma.
Le bruit de fond ou rayonnement naturel, sans la source césium, est de 3 à 4 par 2 s.

Séquence 12 :
Cas de $^{137}_{56}Ba$ (radioactivité naturelle)

La source radioactive contient du césium ($t_{½}$ = 30 ans) qui engendre du baryum métastable ($t_{½}$ = 2,6 min). Ce baryum métastable donne du baryum stable par émission gamma. On lave la résine retenant les deux corps radioactifs avec une solution d'eau salée et acidulée.
La solution obtenue contient le baryum métastable seul. On mesure pendant 10 s le nombre de désintégrations et ceci toutes les 2 min 30 s sur une durée totale de 10 min.
Comme la demi-vie est proche de 2 min 30 s, le nombre de désintégrations est bien divisé par deux à chaque nouvelle mesure.

Séquence 13 :
Cas de $^{108}_{47}Ag$, $^{110}_{47}Ag$ (radioactivité artificielle)

Du deutérium ionisé deux fois dans un plasma, accéléré par 150 kV, est envoyé sur une plaque d'aluminium. Des neutrons de recul viennent alors taper dans la plaque d'argent naturel (51,35% isotope 107 et 48,65 % isotope 109). Les neutrons capturés transforment une partie de l'argent en isotopes 108 et 110.
L'argent $^{110}_{47}Ag$ a une demi-vie de 25 secondes environ et disparaît très vite. C'est un émetteur bêta moins qui donne $^{110}_{47}Cd$ excité qui se stabilise aussitôt par émission gamma.
L'argent $^{108}_{47}Ag$ a une demi-vie de 2 minutes 20 secondes environ. C'est un émetteur bêta moins qui donne $^{108}_{48}Cd$ excité qui se stabilise aussitôt par émission gamma.
La plaque est placée sur un détecteur à scintillations pour faire un enregistrement de la courbe de décroissance.

Séquence 14 :
Modélisation

On lance 300 dés dont une face est marquée comme le « six » .On retire les « six » après le premier lancer et on recommence. A chaque lancer correspond le nombre de « six » sortis.
Le graphique « nombre de « six » sortis en fonction du numéro du lancer a bien l'allure d'une exponentielle décroissante.

2. Exemple de questionnement

Exemple de questionnement

Données :
Les particules alpha sont des noyaux d'hélium ($^{4}_{2}He$)
Les particules bêta moins sont des électrons ($^{0}_{-1}e$)
Les particules bêta plus sont des positons ($^{0}_{+1}e$)
Les rayons gamma sont des photons de très grande énergie

1. Quel est le rayonnement capable d'insoler les ions argent en l'absence de lumière visible ?

2. Que veut dire lumière inactinique ?

3. Les deux feuilles de l'électroscope se repoussent. Pourquoi ?

4. Expliquer comment il se décharge.

5. La force magnétique qui agit sur une particule chargée en mouvement est :

$$\vec{F} = q.\vec{V} \wedge \vec{B}$$

avec **F** (vecteur force qui agit sur la particule), q (charge algébrique), **V** (vecteur vitesse de la particule) et **B** (le vecteur champ magnétique dû à l'électroaimant). Faire un dessin montrant qu'il est possible de renvoyer vers le bas une particule "bêta moins" qui est éjectée vers le haut.

6. Quel est le premier descendant solide du gaz $^{220}_{86}$RN par émission alpha ($^{4}_{2}$Hé) ?

7. Lors d'un « V », il y a deux désintégrations alpha successives à partir du gaz $^{220}_{86}$Rn. Quel est le deuxième descendant solide du radon ?

8. Quel est le noyau fils de l'émetteur alpha $^{241}_{95}$ Am ?

9. Tableau de mesures du Palais de la Découverte :

	Air	Papier	Aluminium	Plomb
Gamma γ	605 *(553)*	603 *(632)*	471 *(426)*	374 *(382)*
Bêta β	3415 *(3296)*	3243 *(3235)*	248 *(249)*	56 *(70)*
Alpha α	1151 *(1033)*	65 *(92)*	56 *(88)*	58 *(73)*

Quel est le rayonnement le plus pénétrant? Quel est le meilleur écran?

10. Ecrire l'équation de désintégration du $^{137}_{55}$Cs émetteur bêta moins.

11. Que se passe-t-il pour le nombre de désintégrations par 2 s si on double la distance source-détecteur ?

12. Pourquoi avoir choisi un intervalle de temps de 2 min 30 s entre 2 mesures d'activité ?

13. Comment transforme-t-on l'argent 107 et 109 en argent 108 et 110 ?

14. Ecrire les 2 équations de désintégrations de $^{108}_{47}$Ag et $^{110}_{47}$Ag émetteurs bêta moins.

Eléments de réponse

1. Les photons gamma
2. Lumière inactinique : les photons rouges n'ont pas l'énergie nécessaire pour voiler la couche photosensible.
3. Les charges positives des deux feuilles se repoussent.
4. Les ions négatifs de l'air ambiant sont attirés par les feuilles et leur charge positive diminue.
5. Le vecteur q**.V** est vers le bas (pouce de la main droite), le vecteur **B** est vers la gauche ou la droite (index de la main droite) et le vecteur **F** est vers l'avant ou l'arrière (majeur de la main droite).
6. Le polonium $^{216}_{84}$ Po.
7. Le plomb $^{212}_{82}$ Pb.
8. Le neptunium $^{237}_{93}$ Np.
10. Gamma est le plus pénétrant. L'écran en plomb est plus efficace.

11. $^{137}_{55}Cs$ donne $^{137}_{56}Ba$ et un électron $^{0}_{-1}e$.
12. Si on double la distance (6,5 cm à 12,5 cm), le nombre est divisé par quatre (200 à 50).
13. La demi-vie est proche de 2 min 30 s ; on constate alors que l'activité est divisée par deux.
14. On ajoute un neutron ($^{1}_{0}n$) dans le noyau.
15. L'argent $^{108}_{47}Ag$ donne un électron $^{0}_{-1}e$ et le cadmium $^{108}_{48}Cd$.
    L'argent $^{110}_{47}Ag$ donne un électron $^{0}_{-1}e$ et le cadmium $^{110}_{48}Cd$.

3. Commentaires

Séquence 1

01.42-01.52 : Utilisons une feuille de papier photosensible et une source radioactive pour cette expérience.
02.05-02.14 : A l'obscurité, nous avons placé la source sur la feuille de papier photosensible.
02.34-03.22 : En lumière inactinique, faisons agir le révélateur, le bain d'arrêt, le fixateur et le bain de lavage.
03.33-03.39 : L'action des rayonnements radioactifs augmente avec la durée d'exposition
03.40-03.46 : C'est le principe du dosimètre utilisé pour connaître la dose reçue.

Séquence 2

03.59-04.05 : L'électroscope est chargé positivement par influence.
04.14-04.20 : Soumis à l'action de la source radioactive qui ionise l'air ambiant, il se décharge progressivement.

Séquence 3

04.46-04.54 : La source bêta, dirigée vers le bas, émet des électrons vers le détecteur avant.
04.56-05.02 : Puis vers le détecteur arrière.
05.05-05.12 : Orientée vers le haut, la source est placée entre les deux détecteurs.
05.15-05.20 : Les électrons vont être soumis à l'action d'un électroaimant.
05.28-05.41 : Emis vers le haut, les électrons décrivent un demi-tour arrière ou avant selon l'orientation du champ magnétique.

Séquence 4

06.08-06.15 : L'activité radioactive naturelle d'un filtre en papier est faible.
06.25-06.39 : Après accumulation des poussières solides contenues dans l'air, l'activité est nettement plus élevée.

Séquence 5

07.00-07.08 : Les traces laissées dans le ciel permettent de suivre l'avion presque invisible. C'est le principe de la chambre à brouillard.
07.37-07.43 : L'alcool qui goutte, s'évapore et diffuse vers le bas dans des zones de plus en plus froides.
07.46-08.14 : Les particules chargées du rayonnement cosmique et de la radioactivité naturelle produisent des ions le long de leur trajectoire. Ces ions se déposent sur des gouttelettes d'alcool qui matérialisent la trace des particules.
Les particules bêta ont des traces fines ; les particules alpha ont des traces épaisses.
08.16-08.32 : De fins filaments de chauffage empêchent la formation de buée et éliminent régulièrement les ions formés.
08.40-08.52 : On injecte du gaz Radon 220. Les nombreuses traces rectilignes, épaisses et courtes sont dues aux particules alpha.
09.30-09.49 : Après une nouvelle injection de radon, on constate que le nombre de traces diminue rapidement. Il est divisé par deux toutes les 54 secondes.

09.50-09.55 : Remarquez les nombreuse traces en formes de " V ".
09.59-10.02 : Le radon émetteur alpha se transforme en polonium émetteur alpha.
10.12-10.25 : A l'extrémité d'une baguette, on a placé de la pechblende, minerai naturel d'uranium. C'est un émetteur alpha.
10.45-10.53 : La longueur des traces varie avec le nombre de collisions que subit la particule alpha.
10.59-11.08 : Tournons la baguette d'un quart de tour, les traces sont plus nombreuses à gauche.

Séquence 6

11.29-11.41 : Un flacon rempli de gaz Radon peut être mis en liaison avec le ballon noir.
11.48-11.56 : La pompe permet de vider les gaz présents à l'intérieur du ballon noir.
12.01-12.04 : Fermons le robinet de vidange.
12.05-12.15 : Remplissons le ballon noir de radon.
12.20-12.30 : Le détecteur de petits éclairs lumineux se trouve en dessous du ballon noir à fond transparent.
12.35-12.45 : Le niveau des désintégrations alpha, convertis en photons, est visualisé

Séquence 7

13.08-13.18 : Certains détecteurs de fumées contiennent une source radioactive.
13.32-13.38 : Le détecteur reçoit moins de particules alpha en présence de fumée.

Séquence 8

13.46-13.54 : Les demi-vies de ces sources vont de 10 minutes à 30 ans.
13.57-14.01 : Emetteur bêta plus et gamma.
14.03-14.07 : Emetteur bêta plus, bêta moins et gamma.
14.09-14.13 : Emetteur bêta moins et gamma
14.14-14.18 : Emetteur bêta moins et gamma
14.21-14.25 : Emetteur bêta moins et gamma

Séquence 9

14.39-14.44 : Le montage permet de changer l'écran, puis la source.
14.50-14.57 : L'efficacité de l'écran augmente du papier vers le plomb.
15.00-15.07 : Le pouvoir pénétrant diminue de gamma vers alpha.

Séquence 10

15.15-15.30 : La matière a une structure lacunaire puisque les particules alpha peuvent la traverser. De la même façon, des cailloux traversent un grillage.

Séquence 11

15.50-15.58 : Une source de Césium 137 est placée devant un compteur Geiger. Sa demi-vie est 30 ans.
16.00-15.04 : On mesure le nombre de désintégrations reçues par le compteur en 2 minutes.
16.15-16.20 : Ce nombre varie de façon aléatoire autour de 220.
16.45-16.55 : Si on éloigne la source, ce nombre diminue.
17.10-17.17 : Interposons un écran entre la source et le compteur.
17.30-17.40 : Le nombre de désintégrations diminue avec l'épaisseur de l'écran.
18.00-18.10 : Un écran en plomb, assez épais, arrête presque tout le rayonnement.
18.17-18.25 : La radioactivité naturelle donne 2 à 3 désintégrations pendant 2 secondes.
18.26-18.31 : Des écrans en plomb assurent une bonne protection contre les rayonnements.

Séquence 12

18.50-19.02 : La source radioactive contient du Césium 137 de longue demi-vie qui engendre du baryum 137 de courte demi-vie.
19.55-20.05 : On sépare le césium et le baryum retenus dans des résines par de l'eau salée.
20.14-20.20 : L'eau s'est enrichie en baryum 137 radioactif.
20.55-21.05 : Mesurons le nombre de désintégrations pendant 10 secondes toutes les 2 minutes et demie.
21.35-21.45 : Le nombre moyen obtenu est à chaque fois divisé par 2.
22.03-22.10 : La demi-vie du baryum 137 est proche de 2 minutes et demie.

Séquence 13

22.44-22.48 : La plaque d'argent naturel n'est pas très radioactive.
22.50-23.00 : L'ensemble du dispositif constitue un canon à neutrons.
23.10-23.17 : Une plaque d'argent naturel est positionnée devant le canon.
23.33-23.40 : Les neutrons sont envoyés sur la cible d'argent.
24.00-24.10 : La plaque d'argent enrichie en isotopes 108 et 110 est placée sur un détecteur de radioactivité.
24.17-24.23 : La plaque d'argent posée sur un deuxième détecteur permet des comptages à l'ordinateur.
24.35-24.45 : La loi de décroissance s'affiche directement.

Séquence 14

24.56-25.04 : On lance 300 dés et on enlève les six.
25.19-25.25 : On recommence.
25.36-25.42 : Les six obtenus à chaque lancer forment une courbe décroissante comme dans la radioactivité.