

FICHE 1

Fiche à destination des enseignants

1S 16

Y a-t-il quelqu'un pour sauver le principe de conservation de l'énergie ?

| | | |
|---|--|---|
| <p><i>Type d'activité</i></p> | <p><i>Activité avec démarche d'investigation, étude documentaire (synthèse de documents) et recherche Internet.</i></p> | |
| | <p>Notions et contenus du programme de 1^{ère} S</p> <p>Modèle corpusculaire de la lumière : le photon Radioactivité naturelle. Lois de conservation dans les réactions nucléaires. Défaut de masse, énergie libérée. Réactions nucléaires et aspects énergétiques associés. Formes d'énergie.</p> <p>Principe de conservation de l'énergie. Application à la découverte du neutrino dans la désintégration β.</p> | <p>Compétences attendues du programme de 1^{ère} S</p> <p>Utiliser la représentation symbolique A_ZX Utiliser les lois de conservation pour écrire l'équation d'une réaction nucléaire</p> <p>Connaître diverses formes d'énergie</p> <p>Exploiter le principe de conservation de l'énergie dans des situations mettant en jeu différentes formes d'énergie.</p> |
| | <p style="text-align: center;">Socle commun de connaissances et de compétences</p> <p style="text-align: center;">[Pilier 1]</p> <p>Classer et hiérarchiser les informations contenues dans un texte explicatif Rédiger un texte correctement écrit</p> <p style="text-align: center;">[Pilier 3]</p> <p>Extraire d'un document papier les informations relatives à un thème de travail Reformuler par les moyens de son choix les données utiles prélevées Mettre en œuvre un raisonnement, une méthode</p> <p style="text-align: center;">[Pilier 7]</p> <p>Sélectionner, analyser l'information utile</p> | |
| <p>Commentaires sur l'exercice proposé</p> | <p>Le but de l'activité est de comprendre la démarche des physiciens du XX^{ème} siècle qui ont été amenés à « sauver le principe de conservation de l'énergie », suite à la découverte et à l'étude des désintégrations radioactives.</p> <p>Cette activité illustre le thème</p> <p style="text-align: center;">« COMPRENDRE »</p> <p>et le sous thème</p> <p style="text-align: center;">« Formes et principe de conservation de l'énergie »</p> <p>en classe de 1^{er}S.</p> | |
| <p>Conditions de mise en œuvre</p> | <p>Durée : 1h20 min en salle informatisée</p> <p>Cette activité doit être traitée à la fin de la partie concernée. La partie sur les transformations nucléaires et sur le modèle corpusculaire de la lumière doit avoir été traitée et les notions étudiées sont ainsi réinvesties.</p> | |
| <p>Remarques</p> | <p>Au début de la séance, seule la 1^{ère} partie sera distribuée. Une fois celle-ci complétée, on donnera la 2^{ème} partie. La 3^{ème} partie est une recherche sur Internet à réaliser à la maison. Elle pourra donner lieu à un échange en cours (ou en accompagnement personnalisé dans le cadre d'un approfondissement)</p> | |

FICHE 2 :
Texte à distribuer aux élèves

1S 16

Y a-t-il quelqu'un pour sauver le principe de conservation de l'énergie ?

Situation-problème :

Document 1

Au début du XX^{ème} siècle, il avait été établi que, lors des désintégrations radioactives, les rayons alpha emportaient toute l'énergie disponible : ils étaient "monocinétiques". Par contre, les rayons bêta n'avaient pas tous la même énergie. La répartition en énergie des rayons alpha se réduisait à une valeur unique, une raie, correspondant à l'énergie totale disponible dans la désintégration ; celle des rayons bêta correspondait par contre à un spectre continu. L'énergie de la particule bêta prenait toutes les valeurs comprises entre zéro et un maximum correspondant à l'énergie totale disponible dégagée par la désintégration.

*En 1930, ces résultats posaient un gros problème aux physiciens. Qu'en était-il de la loi de conservation de l'énergie pour la désintégration bêta ? **Niels Bohr** en vint un jour à remettre en question ce fondement de la physique ...*

Document 2

Numéro atomique de quelques éléments

| Elément | H | He | Li | Bi | Po | At | Rn | Fr | Ra | Ac |
|---------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Z | 1 | 2 | 3 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 |

Quelques particules

| Proton | électron | neutron | positon | noyau d'hélium |
|------------------|---------------------|------------------|------------------|-------------------|
| ${}^1_1\text{p}$ | ${}^0_{-1}\text{e}$ | ${}^1_0\text{n}$ | ${}^0_1\text{p}$ | ${}^4_2\text{He}$ |

1^{ère} partie : Comprendre le problème et formuler des hypothèses ...

Question 1

Écrire, en utilisant les lois de conservation dans les réactions nucléaires, la réaction de désintégration α (alpha) d'un noyau de radium ${}^{226}\text{Ra}$, sachant qu'elle conduit à un noyau de radon ${}^{222}\text{Rn}$ et à une particule alpha :

Déduire, à partir du document 2, la nature de la particule alpha.

Question 2

Écrire, en utilisant les lois de conservation dans les réactions nucléaires, la réaction de désintégration β^- (bêta moins) d'un noyau de bismuth ${}^{210}\text{Bi}$, sachant qu'elle conduit à un noyau de polonium ${}^{210}\text{Po}$ et à une particule β^- :

Déduire, à partir du document 2, la nature de la particule β^- .

Question 3

Lors d'une réaction nucléaire, de l'énergie est libérée. Proposer une explication à cette libération d'énergie :

Question 4

On cherche à comprendre la démarche des physiciens du XX^{ème} siècle qui ont été amenés à « sauver le principe de conservation de l'énergie », suite à la découverte et à l'étude des désintégrations radioactives. Le **document 1** évoque des rayons alpha monocinétiques. Que signifie le terme « monocinétiques » ?

Question 5

a) Déterminer la valeur en MeV de l'énergie totale E disponible dégagée lors de la désintégration d'un noyau de bismuth 210, suivant la réaction de la question 2.

Données :

- Masse d'un noyau de bismuth 210 : $m_{\text{Bi } 210} = 209,9386 \text{ u}$
- Masse d'un noyau de polonium 210 : $m_{\text{Po } 210} = 209,9368 \text{ u}$
- Masse d'une particule β^- : $m_{\beta^-} = 5,49 \cdot 10^{-4} \text{ u}$
- $1 \text{ u} = 1,660 54 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
- $1 \text{ MeV} = 1,60 \cdot 10^{-13} \text{ J}$

b) Lors de leurs expériences sur la désintégration beta du bismuth 210, les physiciens constatèrent que dans certains cas, la particule bêta produite avait une énergie cinétique $E_{c\beta}$ de valeur 0,40 MeV.

En quoi ces résultats expérimentaux étaient-ils en contradiction avec le principe de conservation de l'énergie ?

Question 6

Vous êtes un éminent collègue de Niels Bohr, avec une imagination débordante et vous êtes convaincu que le principe de conservation de l'énergie doit être encore valide. Formulez une hypothèse pour « sauver » le principe de conservation de l'énergie ; comment résolvez-vous cette énigme ?

Réfléchissez et discutez avec votre équipe de recherche ; présentez en quelques phrases vos hypothèses.

Mise en commun des propositions

Chaque équipe énonce ses hypothèses et, après un échange argumenté, l'explication de la classe est rédigée en commun.

Question 7

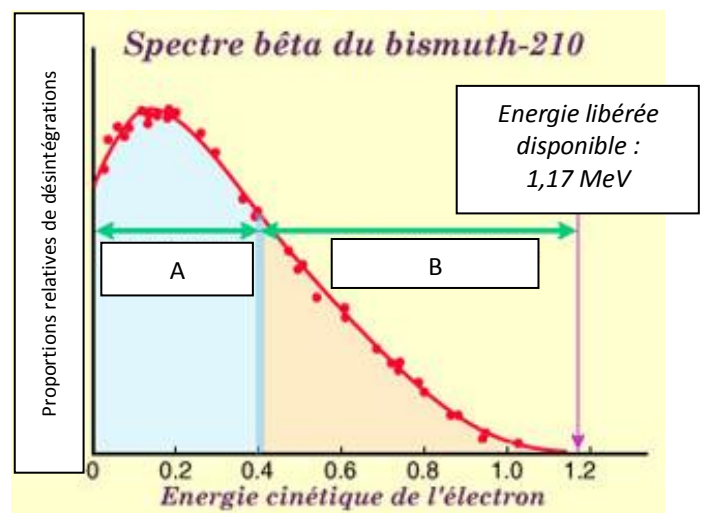
On dispose du diagramme d'énergie suivant :

il représente les proportions de noyaux de bismuth 210 dont la désintégration conduit à une particule β ayant une énergie cinétique de valeur $E_{c\beta}$, pour toutes les valeurs comprises entre 0 et 1,17 MeV.

Cocher la bonne réponse :

A représente l'énergie manquante et B l'énergie cinétique $E_{c\beta}$ de la particule β .

A représente l'énergie cinétique $E_{c\beta}$ de la particule β et B, l'énergie manquante.



2^{ème} partie : Wolfgang Pauli et Enrico Fermi à la rescousse du principe ...

Document 3

Wolfgang Ernst Pauli (25 avril 1900 à Vienne – 15 décembre à Zurich) était un physicien autrichien, connu pour sa définition du principe d'exclusion en mécanique quantique, ce qui lui valut le prix Nobel de physique en 1945. Il fut également lauréat de la Médaille Franklin en 1952.

Enrico Fermi (29 septembre 1901 à Rome – 28 Novembre à Chicago) était un physicien italien. Ses recherches servirent de socle à l'exploitation de l'énergie nucléaire. Il fut lauréat du prix Nobel de physique en 1938 « pour sa démonstration de l'existence de nouveaux éléments radioactifs produits par bombardements de neutrons, et pour sa découverte des réactions nucléaires créées par les neutrons lents ». Il fut également lauréat de la médaille Hughes en 1942, de la médaille Franklin en 1947.

Document 4

La lettre de Pauli

Une particule invisible pour expliquer le puzzle des spectres beta

Traduction de la lettre adressée aux physiciens Lise Meitner et Hans Geiger par Wolfgang Pauli :

Zurich, le 4 décembre 1930

Chers dames et messieurs radioactifs,

Je vous prie d'écouter avec beaucoup de bienveillance le messager de cette lettre. Il vous dira que pour pallier la « mauvaise » statistique des noyaux N et $Li-6$ et le spectre bêta continu, j'ai découvert un remède inespéré pour sauver les lois de conservation de l'énergie et les statistiques. Il s'agit de la possibilité d'existence dans les noyaux de particules neutres [...] différentes des photons parce qu'elles ne se meuvent pas à la vitesse de la lumière, et que j'appelle « neutrons ». La masse des « neutrons » devrait être du même ordre de grandeur que celle des électrons et ne doit en aucun cas excéder 0,01 de la masse du proton. Le spectre bêta serait alors compréhensible si l'on suppose que pendant la désintégration bêta, avec chaque électron est émis un « neutron », de manière que la somme des énergies du « neutron » et de l'électron est constante....

J'admets que mon remède puisse paraître invraisemblable, car on aurait dû voir ces « neutrons » bien plus tôt si réellement ils existaient. Mais seul celui qui ose gagner, et la gravité de la situation, due à la nature continue du spectre, est éclairée par une remarque de mon honoré prédécesseur, Monsieur Debye, qui me disait récemment à Bruxelles : « Oh ! Il vaut mieux ne pas y penser du tout, comme pour les nouveaux impôts ». Dorénavant on doit discuter sérieusement toute voie d'issue. Ainsi, cher peuple radioactif, examinez et jugez. Malheureusement je ne pourrai être moi-même à Tübingen, ma présence étant indispensable ici pour un bal qui aura lieu pendant la nuit du 6 au 7 décembre.

Votre serviteur le plus dévoué,

W. Pauli

Document 5

Le neutrino de Fermi

Enrico Fermi, le grand physicien italien, qui avait tout de suite cru à l'invention de W. Pauli, tient compte de tout ce qui a été discuté au Conseil Solvay d'Octobre 1933 consacré à la découverte du neutron par James Chadwick en février 1932 : le neutron est trop lourd et ne correspond donc pas à la particule imaginée par Pauli. Il propose alors le nom de neutrino (= petit neutron) et élabore la théorie de la désintégration β^- basée sur l'hypothèse qu'un couple électron-neutrino est créé par le noyau au moment de la désintégration, de la même façon qu'un photon l'est par un atome lors d'une désexcitation.

En 1933, Francis Perrin montre que « la masse du neutrino doit être nulle - ou tout au moins petite par rapport à la masse de l'électron ».

La théorie de Fermi est à l'origine de la théorie actuelle des interactions faibles.

Le neutrino restera une particule hypothétique jusqu'à sa mise en évidence expérimentale quelques décennies plus tard ...

Question 8

Que signifie la notation Li-6 ? Donner la composition de ce noyau.

Question 9

Pourquoi Pauli écrivait-il que son explication pouvait sembler invraisemblable ?

Question 10

Pourquoi la particule proposée devait-elle être neutre ?

Question 11

Pourquoi le neutron découvert par Chadwick est-il trop lourd et ne peut donc pas correspondre à la particule introduite par Pauli ?

Question 12

Quelle est l'analogie proposée par Fermi concernant le couple électron-neutrino ?

3^{ème} partie : ils avaient raison ; le neutrino existe ...

Résumer la suite des aventures du neutrino à partir des sites :

<http://lappweb06.in2p3.fr/neutrinos/neut.html> et

<http://www.laradioactivite.com/fr/site/pages/Laremarquablehistoiredunetrino.htm>

On essaiera de trouver, à l'aide des recherches, des réponses aux questions suivantes :

Pourquoi n'était-on pas parvenu en 1930 à mettre en évidence le neutrino ?

Pourquoi est-il difficile à détecter ?

1S 16

Y a-t-il quelqu'un pour sauver le principe de conservation de l'énergie ?

Question 1 :

Equation de la réaction de désintégration α d'un noyau de radium : ${}^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn} + \alpha$

D'après les lois de Soddy (conservation du nombre de charge et du nombre de nucléons), une particule α est un noyau d'hélium ${}^4_2\text{He}$.

Question 2 :

Equation de la réaction de désintégration β^- d'un noyau de bismuth : ${}^{210}_{83}\text{Bi} \rightarrow {}^{210}_{84}\text{Po} + \beta^-$

D'après les lois de conservation, une particule β^- est un électron ${}^0_{-1}\text{e}$.

Question 3 :

Il y a une perte de masse du système, qui correspond à une libération d'énergie.

Question 4 :

Le terme « monocinétiques » signifie « qui ont la même vitesse » ; toutes les particules α ont la même vitesse donc la même énergie cinétique.

Question 5 :

a) On utilise la formule $E = -\Delta m \times c^2$, avec $\Delta m = m_{\text{Po } 210} + m_{\beta^-} - m_{\text{Bi } 210} = -1,251.10^{-3}\text{u}$

On en déduit : $E = 1,251.10^{-3} \times 1,6605410^{-27} \times (3,00.10^8)^2 = 1,87.10^{-13}\text{J}$

$$E = 1,17 \text{ MeV}$$

b) D'après le principe de conservation de l'énergie, l'énergie libérée disponible E, liée à la perte de masse, doit être égale à l'énergie emportée par les particules produites, sous forme d'énergie cinétique.

On constate que, dans les cas évoqués, $E_{c\beta} < E$: il y a donc une contradiction avec le principe de conservation de l'énergie. Une partie de l'énergie libérée disponible semble avoir disparu.

Question 6 :

Hypothèses pouvant être formulées par les élèves :

Il y a une autre forme d'énergie qui intervient et qui n'a pas été prise en compte ?

Une ou plusieurs autres particules sont créées, qui possèdent l'énergie manquante ?

Les particules β^- produites se transforment instantanément et cèdent une partie de leur énergie à un autre système ?

Mise en commun des propositions :

L'énergie manquante est emportée par une particule que les physiciens de l'époque ne connaissaient pas et qu'ils n'avaient pas détectée.

On ne sait pas quelle est la forme d'énergie intervenant.

Question 7 :

A représente l'énergie cinétique $E_{c\beta}$ de la particule β et B, l'énergie manquante.

Question 8 :

La notation Li-6 désigne le noyau de l'isotope 6 du lithium, ${}^6_3\text{Li}$. Il comporte 3 protons et 3 neutrons, soit 6 nucléons.

Question 9 :

Aucun neutrino, appelé « neutron » par Pauli, n'avait été détecté ou mis en évidence expérimentalement jusque là.

Question 10 :

La particule proposée devait être neutre pour respecter la loi de conservation du nombre de charge.

Question 11 :

Le neutron a une masse quasi-identique à celle du proton alors que la particule proposée par Pauli ne devait pas excéder 1/100 de la masse du proton : Fermi en déduisit qu'il ne pouvait s'agir des mêmes particules.

Question 12 :

Fermi fit une analogie entre le couple électron-neutrino (créé par un noyau au moment de sa désintégration) et le photon (créé par un atome au moment de sa désexcitation).

3^{ème} partie : ils avaient raison ; le neutrino existe ...

Le neutrino est très difficile à détecter : la probabilité d'interaction entre les neutrinos et la matière est extrêmement faible, des milliards de fois plus faible que celle de l'électron.

Il interagit si peu qu'il peut traverser la terre entière sans dévier de sa trajectoire.

Résumé de la suite des aventures du neutrino :

Cette particule difficilement détectable fut découverte en 1956 par Clyde Cowan et Frederick Reines, à l'aide d'un détecteur installé près du réacteur nucléaire de Savannah River (Caroline du Sud, États-Unis). On sait maintenant qu'il existe trois types de neutrinos.

La première quête de l'inaccessible étoile (1935-1956)

La seconde quête (1957-1962)

Le neutrino est CERNé (1963-1983)

Le neutrino danse et balance (1983-1996...)

Les neutrinos sont re-CERNé (1989-1996...)

Le neutrino balance toujours (1993-1998...)

| Resume de l'histoire du Neutrino | |
|----------------------------------|--|
| 1898 | Decouverte de la radioactivite <i>Les premieres courses automobiles (70 km/h de pointe!)</i> |
| 1926 | Probleme de la radioactivite beta <i>Entre deux guerres on danse le charleston et le boston</i> |
| 1930 | Pauli fait l'hypothese du neutrino <i>Crise de 1929...</i> |
| 1933 | Fermi baptise le neutrino et elabore sa theorie de l'interaction faible <i>Hitler prend le pouvoir en Allemagne</i> |
| 1956 | Mise en evidence experimentale du neutrino ν_e <i>Revolte a Budapest. Indochine. Guerre froide. Essais atmospheriques des bombes H.</i> |
| 1962 | Mise en evidence experimentale du neutrino ν_μ <i>Missiles de Cuba, pas loin de la catastrophe!</i> |
| 1974 | Decouverte des courants neutres grace aux neutrinos <i>Crise de l'energie... premier choc petrolier</i> |
| 1977 | Decouverte du tau (compagnon du ν_e) <i>Crise de l'energie... second choc petrolier</i> |
| 1985-1989 | Pseudo-decouverte d'un neutrino de 17 keV <i>L'homme sur la lune il y a 20 ans. Pays de l'Est en changement</i> |
| 1990 | Le probleme de la matiere noire revient <i>Le mur de Berlin est enfin tombe. C'etait le 11 Novembre 1989.</i> |
| 1991 | Le LEP montre qu'il n'y a que trois neutrinos legers <i>Elsine nouveau president de Russie. L'Irak envahit le Koweït</i> |
| 1994 | Annonce d'oscillations neutrinos dans l'experience LSND <i>Rwanda, Yougoslavie, Tchetchenie...</i> |
| 1995 | Deficit de neutrinos solaires confirme par l'experience GALLEX <i>Internet et son WWW explosent... et le LAPP a 19 ans</i> |
| 1998 | Des oscillations neutrinos peut-etre vues par LSND et Super-Kamiokande <i>La declaration des Droits de l'Homme a 50 ans, 1968 a 30 ans</i> |