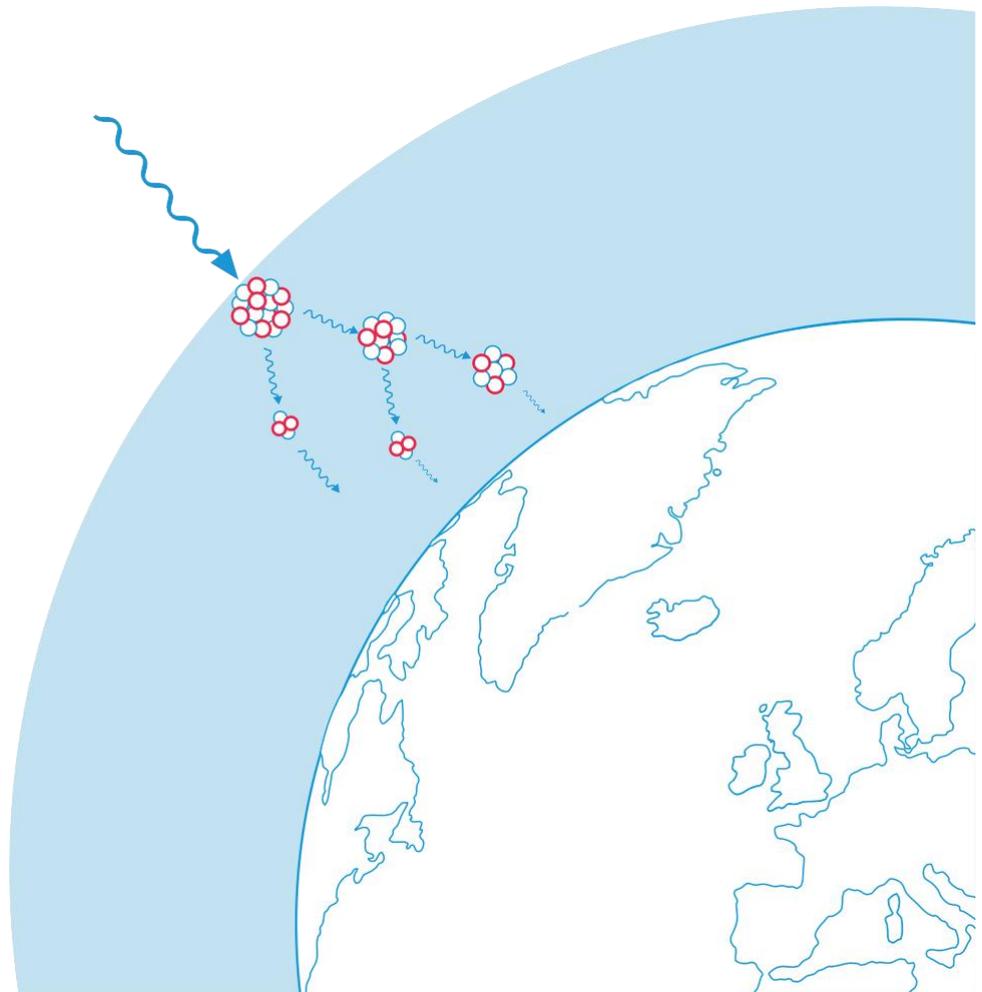


teach with space

→ CHAMBRE À BROUILLARD

La radioactivité dans un environnement cosmique





En bref	page 3
Connaissances de fond	page 4
Préparation de l'expérience	page 6
Réponses aux questions de la discussion	page 8
Réponses aux fiches de travail pour les élèves	page 12
Liens	page 13

→ CHAMBRE À BROUILLARD

La radioactivité dans un environnement cosmique

EN BREF

Tranche d'âge : 14-18 ans

Type : démonstration par l'enseignant/activité pratique en groupe

Difficulté : moyenne

Durée de préparation pour l'enseignant : 5 minutes par chambre à brouillard

Temps nécessaire pour la leçon : 1 heure

Coûts par kit : moyens (5-25 euros par chambre à brouillard)

Lieu : petit espace en intérieur

Comprend l'utilisation de : source de rayonnement de faible intensité, glace sèche (CO₂ solide), alcool

Les élèves apprendront

- Les particules fondamentales
- Les interactions entre les particules
- Le numéro atomique, le nombre de masse
- Le rayonnement et la désintégration radioactive
- La désintégration radioactive comme source d'énergie pour les véhicules spatiaux
- Les effets négatifs du rayonnement ionisant pour l'électronique
- Les interactions entre particules chargées et champs magnétiques
- Les rayons cosmiques et leurs interactions avec l'atmosphère

Ce dont vous avez également besoin



↑ Vidéo sur la chambre à brouillard (VP03). Voir la section Liens.

Aperçu

Les chambres à brouillard sont des enceintes construites spécialement pour la détection de particules chargées et de rayonnements. Une chambre à brouillard est utilisée dans cette activité pour observer des particules alpha et bêta, les produits chargés issus de la désintégration radioactive de thorium 232. Les élèves devraient déjà avoir été sensibilisés au concept de désintégration radioactive et aux différences entre les rayons alpha et bêta. Cette expérience favorisera la compréhension des élèves car elle leur présentera une démonstration physique de la désintégration radioactive.

Les élèves observeront les traînées de condensation que des particules chargées laissent dans leur sillage à l'intérieur d'une chambre à brouillard et apprendront à identifier les particules à partir des caractéristiques de leurs traînées. Les traînées produites par les rayons cosmiques sont visibles dans la chambre à brouillard. Cela pourrait servir de point de départ pour la présentation des rayons cosmiques et leur déviation par le champ magnétique terrestre. Les élèves calculeront et écriront les équations de désintégration radioactive. Les implications des radiations pour l'ASE sont discutées, y compris leurs effets négatifs sur les circuits électroniques et l'emploi de la désintégration radioactive comme source d'énergie.

Les élèves amélioreront

- Leurs compétences générales en matière d'expérimentation, comprenant également l'utilisation adéquate du matériel ainsi que la conduite et l'enregistrement d'observations.
- La communication et discussion de résultats par le biais de questions pertinentes pour étendre la compréhension et la connaissance d'un sujet.
- La mise en pratique des connaissances qu'ils ont acquises à l'occasion d'observations expérimentales afin de résoudre des problèmes théoriques.

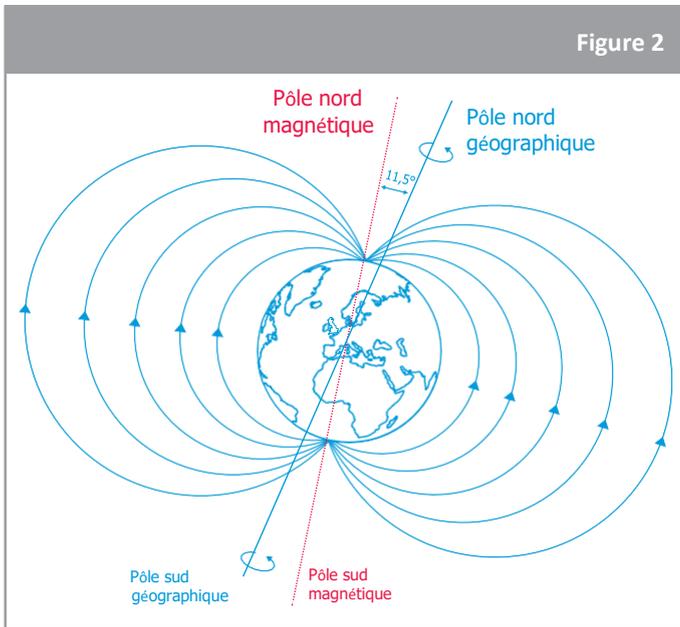
→ CONNAISSANCES DE FOND

L'invention de la première chambre à brouillard marque la naissance d'une nouvelle branche de la physique : l'étude des particules et de leurs interactions. Les chambres à brouillard nous permettent d'observer des particules chargées pour en déterminer les propriétés et les comprendre plus en détail.

À l'intérieur de la chambre, des molécules d'alcool sous forme de vapeur sont ionisées lorsque des particules chargées passent près d'elles. La vapeur d'alcool se condense alors en gouttelettes liquides et produit une traînée de condensation visible là où la particule chargée a interagi avec l'alcool. La longueur et l'épaisseur de cette traînée dépendent de la masse de la particule.

Ces particules ionisantes chargées proviennent d'un certain nombre de sources, y compris de matériaux subissant une désintégration radioactive. Pendant la désintégration radioactive, les atomes instables se transforment pour devenir plus petits et plus stables,

en émettant un rayonnement alpha (une particule composée de deux neutrons et de deux protons) ou bêta (un électron ou un **positon***).



↑ Le champ magnétique de la Terre. Notez que l'axe de rotation et l'axe du champ magnétique sont alignés différemment et qu'ils ne se croisent pas au centre de la Terre.

* **Positon** : particule de même masse qu'un électron, mais de charge opposée.

Rayons cosmiques : particules hautement énergétiques, la plupart du temps des protons et des noyaux atomiques provenant du Soleil et d'autres objets à l'extérieur du Système solaire.

Vent solaire : flux de particules chargées émises par le Soleil – principalement des électrons et des protons.

Éjection de masse coronale : poussée de radiation électromagnétique, de particules, et de champs magnétiques éjectés dans l'espace par la couronne solaire.

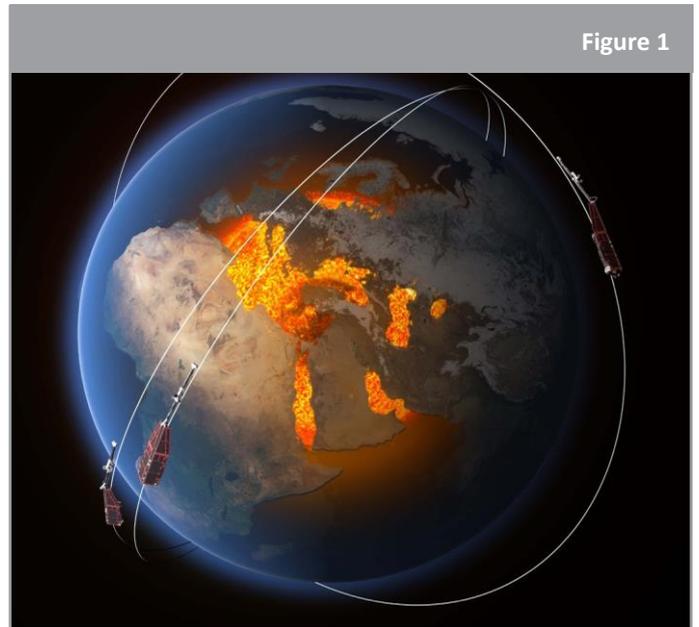


Figure 1

↑ Les satellites Swarm de l'ASE en orbite autour de la Terre pour en étudier le champ magnétique.

Outre ceux qui sont émis par la désintégration radioactive, il y a aussi dans l'espace de nombreux rayonnements ionisants, provenant de sources telles que les **rayons cosmiques***, le **vent solaire*** et les **éjections de masse coronale***. Les particules chargées qui sont en mouvement sont déviées par les champs magnétiques. Ainsi, la Terre est-elle largement protégée contre les rayonnements ionisants de l'espace par son propre champ magnétique, la magnétosphère, qu'étudient actuellement les satellites des missions Swarm (Figure 1) et Cluster de l'ASE. La magnétosphère est engendrée par le mouvement des éléments magnétiques que sont le fer et le nickel à l'intérieur du noyau de la Terre. Les lignes du champ magnétique terrestre sont illustrées dans la Figure 2.

Les particules chargées et les radiations sont piégées par les lignes de champ magnétique terrestre qui sont concentrées dans les **ceintures de Van Allen*** interne et externe illustrées dans la Figure 3. Cela peut avoir des effets néfastes sur les équipements électroniques des véhicules spatiaux en orbite autour de la Terre. Les radiations peuvent cependant aussi être utilisées à bon escient. Les véhicules spatiaux peuvent être propulsés en tirant avantage de l'effet Seebeck par lequel une différence de température entre deux conducteurs électriques (l'un d'entre eux étant chauffé par des rayonnements) engendre une différence de tension entre ces derniers et donc un flux électrique.

On peut perfectionner une chambre à brouillard en y incluant un champ magnétique qui fera dévier les particules chargées qui sont en mouvement. La direction et l'ampleur de la déviation dépendent de la charge de la particule. Cet effet a joué un grand rôle dans la découverte de l'antimatière en 1932, quand Carl Anderson employait une chambre à brouillard avec un champ magnétique pour observer les rayons cosmiques, des particules chargées venant de l'espace, et découvrit que certaines particules étaient déviées dans la direction opposée à celle à laquelle on s'attendait.

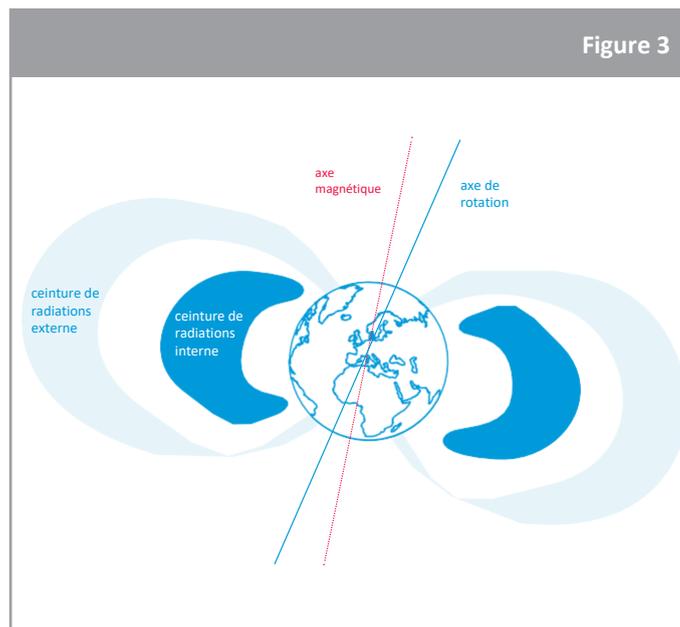


Figure 3

↑ Ceintures de radiations de Van Allen. Deux anneaux de forme toroïdale autour de la Terre et qui contiennent des particules chargées qui y ont été piégées.

* **Ceintures de radiations de Van Allen** : couches de particules chargées d'énergie maintenues en place autour de la Terre par le champ magnétique de cette dernière. L'altitude s'étend de 1.000 à 60.000 km au-dessus de la surface de la Terre.

→ PRÉPARATION DE L'EXPÉRIENCE

La vidéo « teach with space - cloud chamber | VP03 » sur la chambre à brouillard qui est disponible sur le site Éducation de l'ASE montre comment réaliser et utiliser la chambre à brouillard. Cette vidéo peut servir à guider les élèves pour le montage de leur chambre à brouillard, pour leur expliquer ce qu'ils observent ou simplement comme une alternative à la construction de chambres à brouillard dans la salle de classe.

Matériel pour chaque expérience

À préparer par avance

- Aquarium en plastique de taille moyenne
- Feutre autocollant (ou du feutre normal et de la colle compatible avec le feutre et le plastique)

Pour la réalisation de l'expérience

- Deux électrodes de soudure en tungstène au thorium (ou une autre source alpha/bêta)
- Env. 2,5 kg de glace sèche (CO₂ solide)
- 20 ml d'alcool isopropylique, appelé également isopropanol (ou de l'éthanol s'il n'y a pas d'isopropanol)
- Un aquarium en plastique dans lequel le feutre a déjà été fixé
- Deux plateaux en métal (les plateaux de cuisson fonctionnent bien)
- Un morceau de carton noir ou de papier noir laminé (à déposer sur les plateaux s'ils ne sont pas noirs)
- Une ou deux sources de lumière intense (par ex. une bande lumineuse à DEL, une lampe torche ou une lampe de projecteur de diapositives)
- Une feuille de papier pour envelopper l'une des électrodes
- Pâte adhésive ou adhésif réutilisable
- Une pipette
- Gants de protection thermique
- Lunettes de sécurité (une paire par personne)

Montage

1. Coupez des bandes de feutre d'une largeur de 4 cm env. et de longueur correspondant aux côtés de l'aquarium.
2. L'aquarium étant côté ouvert vers le haut, collez les quatre bandes de feutre le long des bords (les bandes devraient être proches du haut de la chambre quand elle est utilisée - voir la Figure sur la Fiche de travail pour les élèves). Le feutre autocollant est plus pratique à utiliser, mais on peut aussi utiliser de la colle pour le fixer. L'alcool agira comme un solvant, il est donc recommandé de tester les adhésifs avant leur utilisation.
3. Des instructions sur la façon de réaliser l'expérience sont fournies dans le document sur les activités des élèves (teach with space - cloud chamber (chambre à brouillard) | P03b).

Santé et sécurité

Observez les règles de sécurité de votre école ainsi que les réglementations de sécurité de votre pays et effectuez une évaluation du risque.

Isopropanol (ou autre alcool utilisé) :

- L'isopropanol est un produit hautement inflammable et irritant. Ne l'utilisez pas à proximité d'une flamme et portez des lunettes de sécurité.
- Assurez-vous que le local est convenablement ventilé et rebouchez immédiatement la bouteille de propanol.

Glace sèche :

- Ventilez le local afin d'éviter les concentrations élevées de dioxyde de carbone.
- L'inhalation de quantités importantes de vapeurs froides peut causer des lésions pulmonaires/crises d'asthme.
- Portez une protection oculaire et des gants isolés contre le froid pour éviter les engelures en cas de contact direct avec la glace sèche ou le matériel froid. En cas de brûlure par de la glace sèche, traitez-la de la même manière qu'une brûlure normale - traitez avec de l'eau froide abondante pendant 10 minutes et consultez un médecin si nécessaire.
- Ne conservez PAS la glace sèche dans un récipient hermétique car du dioxyde de carbone gazeux s'accumulera. Le récipient doit être étiqueté de manière claire.

Électrodes en tungstène au thorium - source de rayonnements :

- Les électrodes de soudure en tungstène au thorium contiennent de l'oxyde de thorium, un émetteur de particules alpha. Sa pénétration dans l'organisme est très faible et sa manipulation est donc sûre à condition de prendre les précautions appropriées.
- Il est recommandé de conserver les électrodes en grand nombre à l'intérieur d'une boîte métallique munie d'une étiquette de mise en garde contre la radioactivité et rangée avec les autres sources radioactives dans votre école.
- Éliminez comme il se doit les électrodes présentant des signes d'écaillage ou de désintégration.
- Aucune partie de ces électrodes ne doit être ingérée. Même si cela est très improbable, si une partie quelconque d'une électrode est ingérée, consultez un médecin avant d'appliquer les règles en vigueur dans votre école en matière de substances radioactives.

→ RÉPONSES AUX QUESTIONS DE LA DISCUSSION

1. Où semble se situer l'origine de la plupart des traînées de condensation ?

La plupart des traînées proviennent des deux électrodes en tungstène au thorium.

2. Nous observons la désintégration radioactive des électrodes au thorium. Que pourraient montrer les traînées de condensation ?

Les traînées de condensation nous montrent la trajectoire des particules alpha et bêta produites par la désintégration radioactive du thorium 232 contenu dans les électrodes de soudure.

3. Y a-t-il des différences entre les traînées de condensation des électrodes au thorium ?

On voit que des traînées longues et fines de même que des traînées courtes et épaisses partent de l'électrode non emballée. L'électrode emballée ne produit que des traînées longues et fines.

4. Quelle est la différence entre la désintégration alpha et bêta ?

La désintégration radioactive est un processus dans lequel le noyau d'un atome instable perd de l'énergie en émettant un rayonnement ionisant afin de corriger le rapport entre les protons et les neutrons dans son noyau. Il existe deux types de désintégration radioactive : alpha et bêta.

La désintégration alpha émet deux protons et deux neutrons. On obtient une particule-fille avec un nombre de masse inférieur de quatre et un numéro atomique inférieur de deux à celui de l'atome d'origine. Par exemple, la désintégration d'uranium 238 par émission alpha avec perte de deux protons et de deux neutrons produit du thorium 234.

Concernant la désintégration bêta, deux options existent :

β^- : un neutron se transforme en proton et émet un électron.

β^+ : un proton se transforme en neutron et émet un positon.

5. Les différences entre la désintégration alpha et bêta pourraient-elles avoir un quelconque effet sur les traînées de condensation que vous voyez ?

Les particules alpha sont physiquement de plus grande taille et elles sont plus ionisantes que les particules bêta parce qu'elles possèdent une charge de +2 provenant des deux protons. Leur déplacement est relativement court jusqu'au transfert complet de leur énergie cinétique. Cela signifie que les traînées de condensation des particules alpha sont les traînées les plus courtes et les plus épaisses, d'une longueur d'environ 2 à 5 cm. Puisque leur charge est plus faible, les particules bêta sont moins ionisantes et elles parcourent un chemin plus long avant de perdre toute leur énergie. Les traînées qu'elles produisent sont plus longues et peuvent atteindre 10 cm.

L'électrode enveloppée dans le papier permet uniquement d'observer des particules bêta. C'est parce que les particules alpha transmettent toute leur



↑ Une électrode de soudure au thorium émettant un rayonnement alpha et bêta.

énergie aux particules du papier en les ionisant avant d'atteindre la vapeur d'alcool. Les particules bêta sont bien moins ionisantes et elles traversent ainsi le papier entourant l'électrode sans interagir avec celui-ci. La très courte distance de pénétration du rayonnement alpha est claire - les particules alpha perdent toute leur énergie sur une courte distance.

6. Comment les traînées de condensation apparaissent-elles dans la chambre à brouillard ?

L'alcool dont est imbibé le feutre est très volatil et produit rapidement une vapeur dans le haut de la chambre à brouillard. Comme la glace sèche fait chuter la température dans le bas de la chambre à brouillard, la vapeur d'alcool se refroidit rapidement à mesure qu'elle descend. L'alcool se condenserait naturellement sous forme liquide à une température aussi basse car elle est inférieure à son point d'ébullition.

Cependant, pour se condenser, les particules de gaz ont besoin d'un « germe », une petite particule ou une perturbation sur laquelle elles peuvent croître. Puisque la chambre à brouillard ne contient aucun germe de condensation, une fine couche « super saturée » d'alcool incapable de se condenser se forme dans son fond.

Une particule chargée (comme par exemple une particule alpha produite par désintégration radioactive) qui traverse la chambre ionise les molécules d'alcool sur son chemin. Les molécules d'alcool ionisées remplissent ensuite le rôle de germe pour les molécules d'alcool neutres environnantes, leur permettant de se condenser en gouttelettes qui constituent la traînée de condensation que l'on peut voir dans la chambre. Peu de temps après s'être formées, elles tombent dans le bas de la chambre à brouillard et se dispersent ; la traînée de condensation n'est visible que pendant quelques secondes.

7. Les rayons cosmiques sont des particules hautement énergétiques provenant de l'espace. Comment pourrions-nous les observer ?

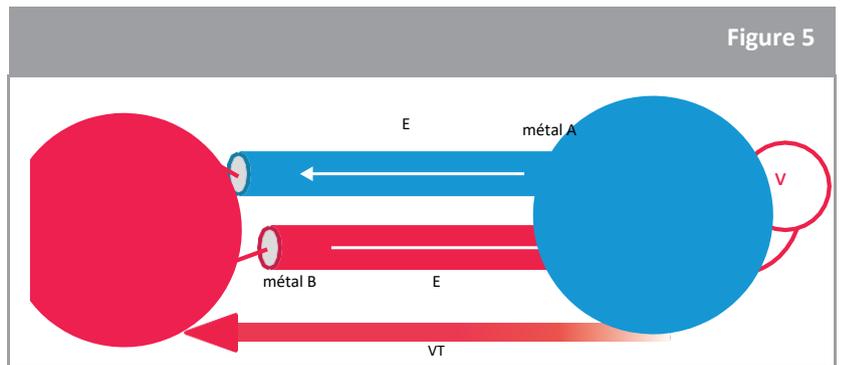
De temps à autre vous pourriez voir des traînées de condensation qui ne semblent pas provenir des électrodes de soudage en tungstène au thorium. Alors que celles-ci peuvent être les produits de désintégrations radioactives qui se déroulent hors de la chambre, elles sont le plus souvent causées par des rayons cosmiques provenant du Soleil et d'autres objets de l'Univers comme les étoiles et les galaxies. Les rayons cosmiques venant de l'espace entrent dans l'atmosphère et interagissent avec les particules présentes dans l'atmosphère. Ces interactions créent d'abord des particules appelées des **pions***. Les pions se désintègrent très rapidement et produisent souvent des **muons***. Dans la chambre à brouillard, les muons peuvent être observés sous la forme de traînées extrêmement longues, fines et rectilignes.

8. Quels seraient les effets des radiations sur un véhicule spatial ?

Le rayonnement ionisant peut éjecter des électrons à l'intérieur des circuits électriques et causer des interférences avec les systèmes électriques des satellites en orbite autour de la Terre. Dans la plupart des cas, cet effet se signale simplement par une réduction de la qualité des données, mais les effets sont amplifiés pendant des épisodes d'éjection de masse coronale en raison de l'intensité accrue des particules ionisantes. Cela peut provoquer une surintensité dans un circuit et endommager, voire détruire l'équipement. En conséquence, les ingénieurs qui conçoivent les satellites et les véhicules spatiaux doivent protéger les circuits fragiles contre les radiations nuisibles de l'espace. La manière la plus simple consiste à les protéger avec un matériau spécialement mis au point et contenant des atomes avec un numéro atomique élevé et donc de nombreux protons et neutrons capables d'absorber un maximum de rayonnement spatial.

9. Comment la désintégration radioactive pourrait-elle être utilisée comme source d'énergie dans l'espace ?

La désintégration radioactive produit de l'énergie qui chauffe les matériaux. L'effet Seebeck peut tirer avantage de ce phénomène dans lequel une différence de température entre deux conducteurs électriques différents peut produire une différence de tension électrique entre eux. L'un des conducteurs est chauffé par la désintégration radioactive alors que l'autre est maintenu froid, par exemple en l'exposant à la froideur de l'environnement spatial. Des électrons chauffés s'écouleront du conducteur plus chaud vers le conducteur plus froid. Si les conducteurs sont raccordés à un circuit électrique, un courant continu s'écoulera dans le circuit (Figure 5). Cette méthode de production d'énergie a été employée dans de nombreux véhicules spatiaux, comme la mission Ulysses de l'ASE et la mission ASE/ NASA/ASI Cassini-Huygens.



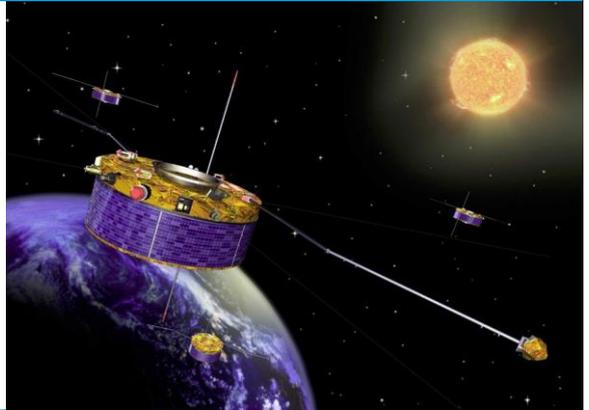
↑ L'effet Seebeck.

* **Pion (méson pi)** : type de particule beaucoup plus petite qu'un atome. Il existe trois pions différents ; π_0 , π^+ , et π^- .

Muon : particule de même charge qu'un électron, mais de masse beaucoup plus importante.

Le saviez-vous ?

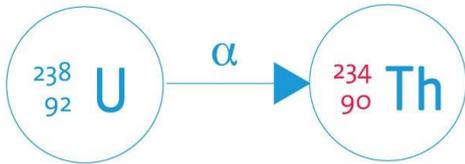
La mission Cluster de l'ASE étudie de quelle manière le flux constant d'atomes chargés et d'électrons venant du Soleil affecte la magnétosphère de la Terre. Ce flux de particules est appelé vent solaire. Les rafales de ce vent solaire peuvent potentiellement affecter la distribution d'électricité ici, sur la Terre (une forte rafale peut interrompre le fonctionnement de tous les appareils électroniques !). Le vent solaire peut également endommager l'électronique embarquée des satellites. Cluster étudie des phénomènes pouvant engendrer des dommages de cette manière - elle nous aide à nous préparer à des poussées soudaines et potentiellement dangereuses d'énergie solaire !



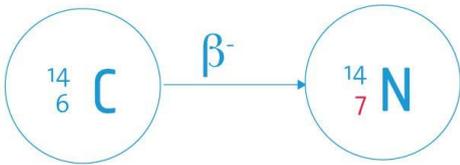
→ RÉPONSES AUX ACTIVITÉS DES ÉLÈVES

1. Réactions de désintégration

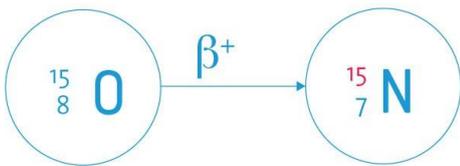
a. Désintégration α



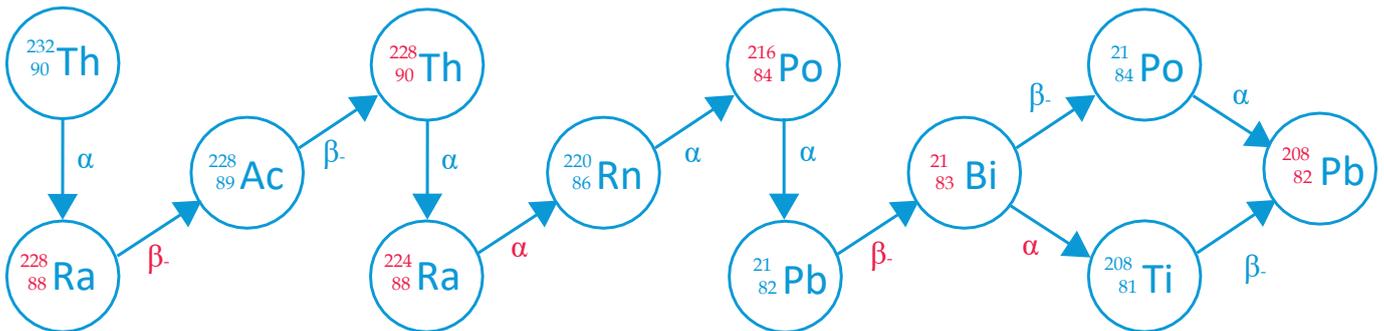
b. Désintégration β^- (émission d'électron) :



c. Désintégration β^+ (émission de positon) :



2. Désintégration du thorium



3. L'élément stable obtenu à la fin de la chaîne de désintégration est le **plomb**.

Liens

Collection Teach with space

ESA teach with space - cooking a comet video | VP03 (cuisinons une comète) :

www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/Cloud_chamber_-_classroom_demonstration_video_VP03

Missions en rapport avec l'ASE et des projets scientifiques

Mission Cassini-Huygens de l'ASE : www.esa.int/Our_Activities/Our_Activities/Space_Science/Cassini-Huygens

Mission solstice de Cassini : saturn.jpl.nasa.gov/

Mission Ulysses de l'ASE : www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Ulysses_overview

Mission Swarm de l'ASE : www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/The_Living_Planet_Programme/Earth_Explorers/Swarm

Mission Cluster de l'ASE : www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Cluster/Science_objectives

Articles de l'ASE sur la désintégration radioactive

La désintégration radioactive de titane alimente les vestiges d'une supernova :

www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Radioactive_decay_of_titanium_powers_supernova_remnant

Fer radioactif : www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Integral/Radioactive_iron_a_window_to_the_stars

teach with space – chambre à brouillard | P03a
www.esa.int/education

Faites part de vos réactions et de vos commentaires à
l'ESA Education Office
teachers@esa.int

Une production ESA Education
Copyright © European Space Agency 2016