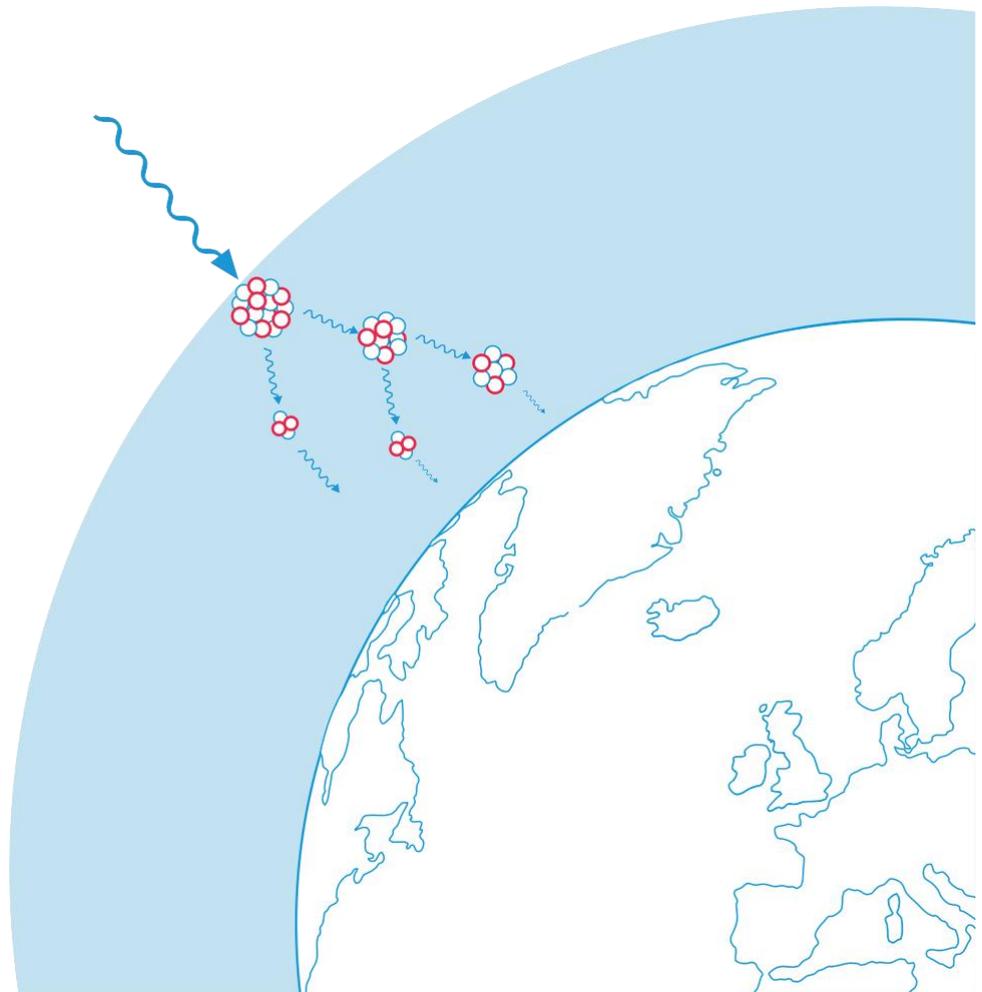


teach with space

→ NEBELKAMMER

Radioaktivität in einer kosmischen Umgebung





Die wichtigster

Seite 3

Hintergrund

Seite 4

Versuchsvorbereitung

Seite 6

Antworten zu den Diskussionsfragen

Seite 8

Antworten zu den Arbeitsblättern
für Schüler

Seite 11

Links

Seite 12

→ NEBELKAMMER

Radioaktivität in einer kosmischen Umgebung

DIE WICHTIGSTEN FAKTEN

Altersgruppe: 14-18 Jahre

Art: Demonstration durch den Lehrer/praktische Gruppenarbeit

Schwierigkeitsgrad: mittel

Vorbereitungszeit für den Lehrer: 5 Minuten je Nebelkammer

Zeitbedarf für den Unterricht: 1 Stunde

Kosten je Kit: mittel (5-25 Euro je Nebelkammer)

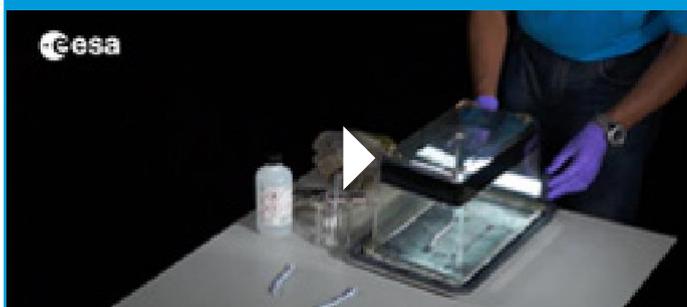
Ort: kleiner Innenraum

Einschließlich der Verwendung von: Low-Level-Strahlungsquelle, Trockeneis (festes CO₂), Alkohol

Die Schüler lernen

- Elementarteilchen
- Interaktionen zwischen den Teilchen
- Atomnummer, Massezahl
- Strahlung und radioaktiver Zerfall
- Radioaktiver Zerfall als Energiequelle für Raumfahrzeuge
- Die negativen Auswirkungen ionisierender Strahlung auf die Elektronik
- Interaktionen zwischen geladenen Teilchen und Magnetfeldern
- Kosmische Strahlen einschließlich ihrer Interaktionen mit der Atmosphäre

Ferner wird benötigt



↑ [Nebelkammer-Video \(VP03\)](#). Siehe Abschnitt Links.

Kurzfassung

Nebelkammern sind eigens für das Aufspüren von geladenen Teilchen und Strahlung hergestellte Kästen. Bei dieser Aufgabe wird eine Nebelkammer zur Beobachtung von Alpha- und Beta-Teilchen, den geladenen Produkten des radioaktiven Zerfalls von Thorium-232, genutzt. Die Schüler sollten bereits mit dem Begriff radioaktiver Zerfall und den Unterschieden zwischen Alpha- und Beta-Strahlung vertraut sein. Dieser Versuch unterstützt die Schüler bei ihrem Verständnis durch eine physikalische Demonstration des radioaktiven Zerfalls.

Die Schüler beobachten die Kondensstreifen, die geladene Teilchen in ihrem Nachlauf in einer Nebelkammer hinterlassen, und lernen, wie man Teilchen anhand der Streifen-Eigenschaften ermittelt. Durch kosmische Strahlen verursachte Streifen lassen sich in der Nebelkammer beobachten, was als Ausgangspunkt für die Einführung kosmischer Strahlen und deren Ablenkung durch das Magnetfeld der Erde dienen könnte. Die Schüler nehmen die Berechnung und die Formulierung von Gleichungen des radioaktiven Zerfalls vor. Ferner werden die Auswirkungen der Strahlung für die ESA, einschließlich der nachteiligen Auswirkungen der Strahlung auf Schaltkreise, und die Nutzung des radioaktiven Zerfalls als Energiequelle, erörtert.

Die Schüler verbessern

- allgemeine Versuchsfähigkeiten, einschließlich der sachgemäßen Nutzung des Versuchsmaterials und der Durchführung und Aufzeichnung von Beobachtungen.
- die Kommunikation und Erörterung der Ergebnisse durch einschlägige Fragen zur Erweiterung des Verständnisses und Wissens zu einem Thema.
- ihre Anwendung des durch experimentelle Beobachtungen erworbenen Wissens zur Lösung theoretischer Probleme.

→ HINTERGRUND

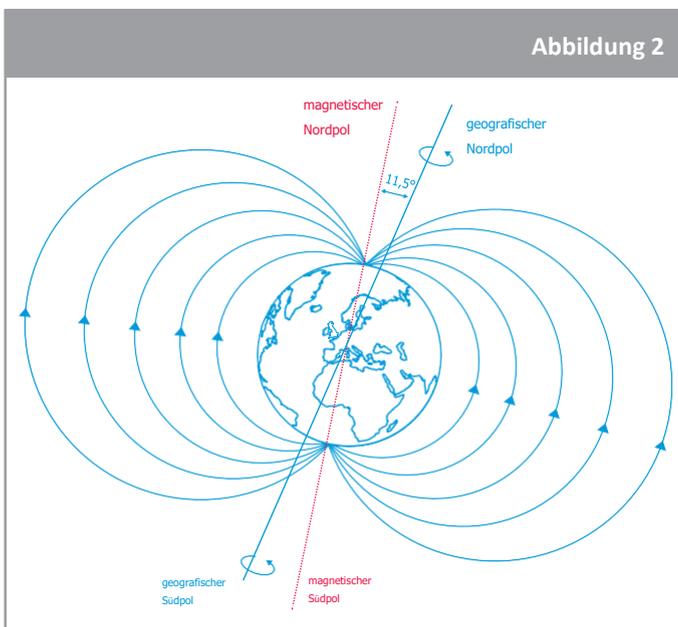
Mit der Erfindung der ersten Nebelkammer entstand ein neuer Zweig der Physik: die Untersuchung von Teilchen und deren Interaktionen. Mit Nebelkammern können wir geladene Teilchen beobachten, um deren Eigenschaften zu ermitteln, so dass wir sie besser verstehen können.

In der Kammer werden Alkoholmoleküle in Dampfform ionisiert, wenn geladene Teilchen in ihre Nähe kommen. Dadurch kondensiert der Alkoholdampf zu flüssigen Tröpfchen, was zu einem sichtbaren Kondensstreifen führt, wobei das geladene Teilchen mit dem Alkohol interagiert. Die Länge und Dicke dieses Streifens richtet sich nach der Masse des Teilchens.

Diese geladenen, ionisierenden Teilchen stammen aus einer Vielzahl von Quellen, einschließlich von Stoffen, die einen radioaktiven Zerfall erfahren. Während des radioaktiven Zerfalls zerfallen instabile Atome in kleinere, stabilere Atome, die entweder Alpha-Strahlung (ein aus zwei Neutronen und zwei Protonen bestehendes Teilchen) oder Beta-Strahlung (ein Elektron oder ein **Positron***) freisetzen.



↑ Die Swarm-Satelliten der ESA umkreisen die Erde und untersuchen deren Magnetfeld.



↑ Magnetfeld der Erde. Beachten Sie, dass die Drehachse und die Magnetfeldachse unterschiedlich ausgerichtet sind und dass sie sich nicht im Erdmittelpunkt schneiden

Ebenfalls aufgrund des radioaktiven Zerfalls befindet sich viel ionisierende Strahlung im Weltraum, die aus Quellen wie **kosmische Strahlen***, dem **Sonnenwind*** und dem **Koronalen Massenauswurf*** stammt. Fliegende geladene Teilchen werden durch Magnetfelder abgelenkt, so dass die Erde weitgehend durch ihr eigenes Magnetfeld, die Magnetosphäre, vor ionisierender Strahlung aus dem Weltraum geschützt ist; diese wird derzeit durch die Swarm-Satelliten der ESA (Abbildung 1) und Cluster-Satelliten untersucht. Die Magnetosphäre wird durch die Bewegung der magnetischen Elemente Eisen und Nickel im Erdkern erzeugt. Die Magnetfeldlinien der Erde zeigt Abbildung 2.

* **Positron:** ein Teilchen mit derselben Masse wie ein Elektron, jedoch mit entgegengesetzter Ladung.

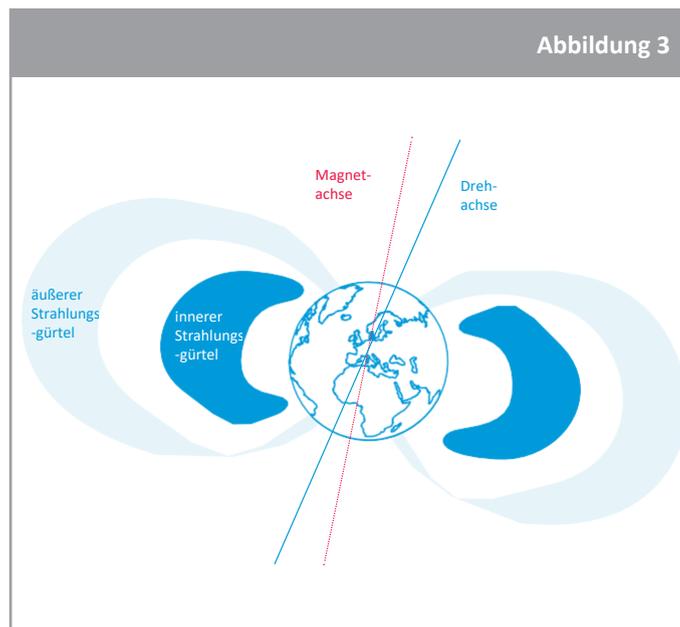
Kosmische Strahlen: sehr energiereiche Teilchen, meist Protonen und Atomkerne, die von der Sonne und Objekten außerhalb des Sonnensystems stammen.

Sonnenwind: ein Strom von der Sonne emittierter geladener Teilchen – hauptsächlich Elektronen und Protonen.

Koronaler Massenauswurf: ein Ausbruch elektromagnetischer Strahlung, von Teilchen und Magnetfeldern, die von der Sonnenkorona in den Weltraum geschleudert werden.

Geladene Teilchen und Strahlung lassen sich innerhalb der Magnetfeldlinien der Erde einfangen, die sich in dem in Abbildung 3 gezeigten inneren und äußeren **Van-Allen-Strahlungsgürtel*** konzentrieren. Dies kann nachteilige Auswirkungen auf die elektronische Ausrüstung an Bord der Raumsonden haben, die die Erde umkreisen. Allerdings lässt sich die Strahlung auch zunutze machen. Raumfahrzeuge lassen sich durch den Seebeck-Effekt antreiben; ein Temperaturunterschied zwischen zwei elektrischen Leitern (hervorgerufen durch die Erwärmung des einen Leiters mit Strahlung) kann einen Spannungsunterschied zwischen den beiden Leitern erzeugen, wodurch ein Strom fließt.

Eine Nebelkammer lässt sich durch die Einbeziehung eines Magnetfelds weiterentwickeln, das fliegende geladene Teilchen ablenkt. Richtung und Betrag der Ablenkung richten sich nach der Ladung des Teilchens. Diese Tatsache war von grundlegender Bedeutung bei der Entdeckung von Antimaterie im Jahr 1932, als Carl Anderson eine Nebelkammer mit einem Magnetfeld zur Beobachtung kosmischer Strahlen, geladener Teilchen aus dem Weltraum, nutzte und herausfand, dass einige der Teilchen entgegengesetzt zu der Richtung abgelenkt wurden, die von ihnen erwartet wurde.



↑ Van-Allen-Strahlungsgürtel. Zwei schlauchförmige Ringe, die die Erde umringen und eingefangene geladene Teilchen enthalten.

* **Van-Allen-Strahlungsgürtel:** Schichten energetisch geladener Teilchen, die durch das Magnetfeld um die Erde herum stabil gehalten werden. Die Höhe reicht von etwa 1.000 bis 60.000 km über der Erdoberfläche.

→ VERSUCHSVORBEREITUNG

Das auf der Website von ESA Education verfügbare Video *teach with space - Nebelkammer | VP03* zeigt die vollständige Anordnung und die Nutzung der Nebelkammer. Dieses Video kann dazu genutzt werden, den Schülern bei der Anordnung ihrer Kammern Hilfestellung zu leisten, zu erklären, was sie beobachten, oder einfach als Alternative zum Aufbau von Nebelkammern in der Klasse.

Versuchsmaterial

Im Voraus vorzubereiten

- Mittelgroßes Kunststoff-Aquarium
- Filz mit selbstklebender Rückseite (oder normaler Filz und für Filz und Kunststoff geeigneter Klebstoff)

Zur Durchführung des Versuchs

- Zwei Wolfram-Schweißstäbe mit Thoriumzusatz (oder eine andere Alpha- bzw. Beta-Quelle)
- Etwa 2,5 kg Trockeneis (festes CO₂)
- 20 ml Isopropylalkohol, auch als Isopropanol bekannt (bzw. Ethanol, falls dies nicht verfügbar ist)
- Ein Kunststoff-Aquarium mit im Voraus befestigten Filzstreifen
- Zwei Metallbleche (Backbleche sind gut geeignet)
- Ein Stück schwarzer Karton oder laminiertes schwarzes Papier (zum Auskleiden der Bleche, wenn sie nicht dunkel sind)
- Eine oder zwei intensive Lichtquellen (beispielsweise LED-Lichtband, Taschenlampe oder Licht aus einem Diaprojektor)
- Ein Blatt Papier zum Umwickeln eines der Stäbe
- Haftmasse für Plakate oder wiederverwendbares Klebeband
- Eine Pipette
- Wärmeschutzhandschuhe
- Schutzbrille (eine je Person)

Anordnung

1. Schneiden Sie Filzstreifen mit einer Breite von etwa 4 cm und der Länge der Aquariumsseiten aus.
2. Mit der offenen Seite des Aquariums nach oben kleben Sie auf jede der vier Seiten des Aquariums die Filzstreifen (sie sollten sich beim Gebrauch am oberen Teil der Kammer befinden – siehe Abbildung auf dem Arbeitsblatt für Schüler). Am einfachsten ist Filz mit einer selbstklebenden Rückseite, aber der Filz lässt sich auch mit Klebstoff befestigen. Da Alkohol als Lösungsmittel fungiert, sollte das Klebematerial vor Gebrauch getestet werden.
3. Anweisungen zur Durchführung des Versuchs befinden sich in der Unterlage *Aufgaben für Schüler (teach with space - Nebelkammer | P03b)*.

Sicherheit und Gesundheitsschutz

Richten Sie sich nach den Vorgaben Ihrer Schule und den für Ihr Land geltenden Sicherheitsleitlinien und führen Sie eine Risikobewertung durch.

Isopropanol (oder sonstiger verwendeter Alkohol):

- Isopropanol ist leicht entzündlich und ein Reizstoff. Benutzen Sie ihn nicht in der Nähe von Feuer und tragen Sie eine Schutzbrille.
- Achten Sie darauf, dass der Raum gut belüftet und die Propanolflasche sofort wieder verschlossen wird.

Trockeneis:

- Achten Sie darauf, dass der Raum gut belüftet ist, um eine hohe Konzentration von Kohlendioxid zu vermeiden.
- Anhaltendes Einatmen kalter Dämpfe kann zu Lungenschäden bzw. Asthmaanfällen führen.
- Tragen Sie einen Augenschutz und wärmeisolierte Handschuhe zur Vermeidung von Kälteschäden durch den direkten Kontakt mit Trockeneis oder kaltem Versuchsmaterial. Kommt es zu einer Verbrennung durch Trockeneis diese wie eine normale Verbrennung behandeln – unter kaltem Wasser 10 Minuten lang benetzen und ärztliche Hilfe in Anspruch nehmen, falls erforderlich.
- Trockeneis darf NICHT in einem vollständig verschlossenen Behälter aufbewahrt werden, da sich Kohlendioxidgas bildet. Der Behälter ist eindeutig zu kennzeichnen.

Wolframstäbe mit Thoriumzusatz – Strahlungsquelle:

- Die Wolframstäbe mit Thoriumzusatz enthalten Thoriumoxid, eine Emissionsquelle von Alpha-Teilchen. Die Eindringung in den Organismus ist sehr gering, weshalb sie sicher im Umgang sind, wenn die geeigneten Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden.
- Es wird empfohlen, größere Mengen an Stäben in einer Metalldose mit einem Warnhinweis vor Radioaktivität und zusammen mit anderen radioaktiven Quellen in Ihrer Schule aufzubewahren.
- Weist ein Stab Anzeichen eines Abblätterns oder einer Zersetzung auf, ist er in geeigneter Weise zu entsorgen.
- Kein Teil des Stabes darf eingenommen werden. Auch wenn dies sehr unwahrscheinlich ist, nehmen Sie in diesem Fall ärztliche Hilfe in Anspruch, bevor Sie sich nach den Vorgaben Ihrer Schule für den Umgang mit radioaktiven Substanzen richten.

→ ANTWORTEN ZU DEN DISKUSSIONSFRAGEN

1. Woher scheinen die meisten Kondensstreifen zu stammen?

Meist stammen sie von den beiden Wolframstäben mit Thoriumzusatz.

2. Wir beobachten den radioaktiven Zerfall von Stäben mit Thoriumzusatz. Was könnten die Kondensstreifen andeuten?

Die Kondensstreifen deuten die Pfade an, die die Alpha- und Beta-Teilchen genommen haben, die beim radioaktiven Zerfall von Thorium-232 in den Schweißstäben entstanden.

3. Gibt es Unterschiede zwischen den Kondensstreifen von jedem der Stäbe mit Thoriumzusatz?

Von dem nicht umwickelten Stab sind sowohl lange dünne als kurze dicke Spuren zu sehen. Von dem umwickelten Stab sind nur lange dünne Spuren zu sehen.

4. Was ist der Unterschied zwischen Alpha- und Beta-Zerfall?

Radioaktiver Zerfall ist der Prozess, bei dem der Kern eines instabilen Atoms Energie durch die Abgabe ionisierender Strahlung verliert, um das Verhältnis von Protonen zu Neutronen in seinem Kern zu korrigieren. Es gibt zwei Hauptarten von radioaktivem Zerfall: Alpha und Beta.

Beim Alpha-Zerfall werden zwei Protonen und zwei Neutronen emittiert. Dabei entsteht ein Tochterteilchen mit einer Massezahl, die vier niedriger, und einer Atomnummer, die zwei niedriger als das Originalatom ist. So zerfällt beispielsweise Uranium-238 durch Alpha-Emission, wobei zwei Protonen und zwei Neutronen verloren gehen, zu Thorium-234.

Für den Beta-Zerfall gibt es zwei Möglichkeiten:

β^- : Ein Neutron verwandelt sich in ein Proton und emittiert dabei ein Elektron.

β^+ : Ein Proton verwandelt sich in ein Neutron und emittiert dabei ein Positron.

5. Könnten sich die Unterschiede zwischen dem Alpha- und dem Beta-Zerfall auf die Kondensstreifen auswirken, die ihr seht?

Alpha-Teilchen sind physisch größer und stärker ionisierend als Beta-Teilchen, weil sie eine Ladung von +2 von den beiden Protonen aufweisen. Sie legen eine relativ kurze Strecke zurück, bevor ihre gesamte kinetische Energie übertragen ist. Dies bedeutet, dass Kondensstreifen von Alpha-Teilchen die kürzeren, dickeren Spuren mit etwa 2-5 cm Länge sind. Da Beta-Teilchen eine geringere Ladung aufweisen, sind sie weniger ionisierend und bewegen sich so weiter, bevor sie ihre gesamte Energie verlieren. Sie erzeugen längere Spuren von bis zu 10 cm.

Von dem mit Papier umwickelten Stab lassen sich nur Beta-Teilchen beobachten. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Alpha-Teilchen ihre gesamte Energie durch Ionisierung an die Papierteilchen abgeben, bevor sie den Alkoholdampf erreichen. Beta-Teilchen sind weniger stark ionisierend und bewegen sich daher direkt durch das Papier, das den Stab umgibt, ohne mit ihm zu interagieren. Die sehr kurze Eindringungsdistanz von Alpha-Strahlung ist klar – Alpha-Teilchen verlieren ihre gesamte Energie auf kurzer Entfernung.

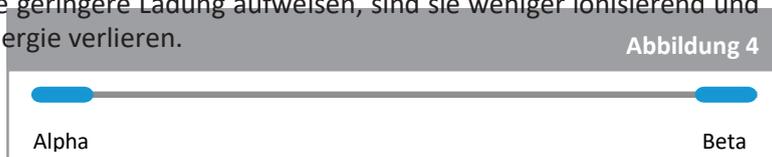


Abbildung 4

↑ Ein Stab mit Thoriumzusatz, der Alpha- und Beta-Strahlung emittiert.

6. Wie bilden sich Kondensstreifen in einer Nebelkammer?

Der Alkohol im Filz ist sehr flüchtig und bildet rasch einen Dampf an der Oberseite der Nebelkammer. Da der Boden der Nebelkammer wegen des Trockeneises eine niedrige Temperatur erreicht, kühlt sich der Alkoholdampf beim Absinken rasch ab. Bei dieser niedrigeren Temperatur würde der Alkohol natürlich zu einer Flüssigkeit kondensieren, da sie unter seinem Siedepunkt liegt.

Um allerdings kondensieren zu können, benötigen Gasteilchen ein „Saatelement“, ein kleines Teilchen oder eine Störung, auf der sie wachsen können. Da sich in der Kammer keine Saatelemente befinden, sammelt sich am Boden der Nebelkammer eine dünne übersättigte Alkoholschicht an, die nicht kondensieren kann.

Ein geladenes Teilchen (wie ein durch radioaktiven Zerfall entstandenes Alpha-Teilchen), das die Kammer durchläuft, ionisiert auf seinem Weg Alkoholmoleküle. Diese ionisierten Alkoholmoleküle fungieren als Saatelement für die neutralen Alkoholmoleküle in der Umgebung, wodurch sie zu Tröpfchen kondensieren, die den in der Kammer sichtbaren Kondensstreifen bilden. Kurz nach der Bildung der Tröpfchen sinken sie auf den Boden der Nebelkammer und verteilen sich; der Kondensstreifen ist nur einige Sekunden lang sichtbar.

7. Kosmische Strahlen sind energiereiche Teilchen aus dem Weltraum. Wie können wir sie beobachten?

Gelegentlich könnt ihr Kondensstreifen sehen, die nicht von den Wolframstäben mit Thoriumzusatz zu stammen scheinen. Zwar können diese die Produkte zufallsbedingter radioaktiver Zerfallsvorgänge außerhalb der Kammer sein, üblicherweise sind sie aber das Ergebnis kosmischer Strahlen von der Sonne und anderer Objekte im Weltall wie Sterne und Galaxien. Kosmische Strahlen aus dem Weltraum dringen in die Atmosphäre und interagieren mit atmosphärischen Teilchen. Diese Interaktionen erzeugen zunächst Teilchen mit der Bezeichnung **Pione***. Pione zerfallen sehr rasch, oft zu **Myonen***. Diese Myonen lassen sich in der Nebelkammer als außerordentlich lange, dünne, direkte Spuren beobachten.

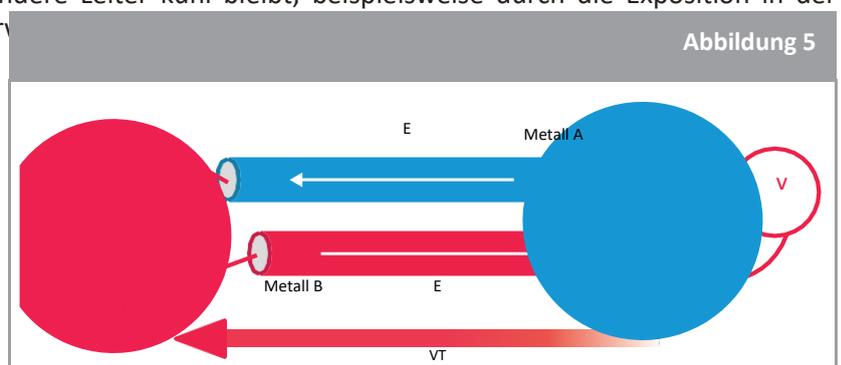
8. Wie könnte sich die Strahlung auf Raumsonden auswirken?

Ionisierende Strahlung kann Elektronen in elektrischen Schaltkreisen loslösen, was zu Interferenzen mit elektrischen Systemen auf Satelliten führt, die die Erde umkreisen. In den meisten Fällen lässt sich dieser Effekt zwar einfach als eine Verringerung der Datenqualität beobachten, jedoch bei Ereignissen wie koronalen Massenauswürfen vergrößern sich die Effekte aufgrund einer erhöhten Intensität ionisierender Teilchen. Dadurch kann es zu einem Überstrom in einem Schaltkreis kommen, was zur Beschädigung oder Zerstörung der Ausrüstung führen kann. Infolgedessen müssen die Ingenieure von Satelliten und Raumsonden die empfindlichen Schaltkreise vor gefährlicher Weltraumstrahlung schützen. Die einfachste Methode hierfür ist die Abschirmung mit einem eigens konzipierten Material, das Atome mit einer hohen Atomnummer und somit viele Protonen und Neutronen enthält, die einen Großteil der Weltraumstrahlung absorbieren können.

9. Wie lässt sich radioaktiver Zerfall als Energiequelle im Weltraum nutzen?

Bei radioaktivem Zerfall entsteht Energie, wodurch sich das Material erwärmt. Dieser Vorgang wird beim Seebeck-Effekt genutzt. Bei diesem Phänomen kann ein Temperaturunterschied zwischen zwei verschiedenen elektrischen Leitern einen Spannungsunterschied zwischen beiden Leitern erzeugen. Ein Leiter erwärmt sich durch radioaktiven Zerfall, während der andere Leiter kühl bleibt, beispielsweise durch die Exposition in der kalten Weltraumumgebung. Dann fließen er

Elektronen von dem wärmeren zu dem kühleren Leiter. Werden die Leiter durch einen elektrischen Schaltkreis miteinander verbunden, fließt darin ein Gleichstrom (Abbildung 5). Diese Methode der Energieerzeugung wurde bei vielen Raumsonden wie der Ulysses-Mission der ESA und der Cassini-Huygens-Mission von ESA/NASA/ASI genutzt.



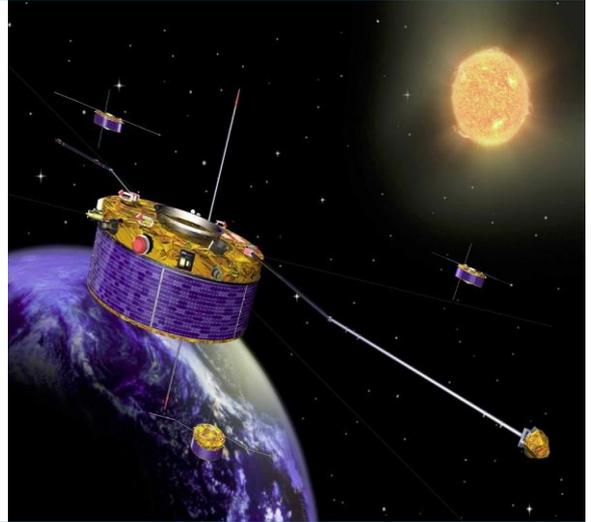
↑ Der Seebeck-Effekt.

* **Pion (Pi-Meson)**: eine Art Teilchen, das kleiner ist als ein Atom. Es gibt drei verschiedene Pionen: π_0 , π^+ und π^- .

Myon: ein Teilchen mit derselben Ladung wie ein Elektron, aber mit sehr viel weniger Masse.

Schon gewusst?

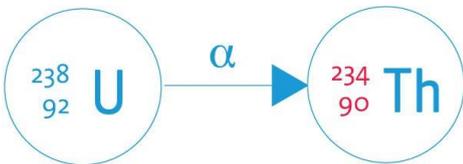
Bei der Cluster-Mission der ESA wird untersucht, wie der konstante Strom geladener Atome und Elektronen von der Sonne die Magnetosphäre der Erde beeinträchtigt. Dieser Teilchenstrom heißt Sonnenwind, und Sonnenwindböen können die Stromversorgung hier auf der Erde beeinträchtigen (eine starke Bö könnte alle elektronischen Geräte ausfallen lassen!). Der Sonnenwind kann auch die Elektronik an Bord von Satelliten schädigen. Die Cluster untersuchen Phänomene, die auf diese Weise Schaden anrichten können – sie unterstützen uns dabei, uns auf plötzliche, gefährliche Ausbrüche von Sonnenenergie vorzubereiten!



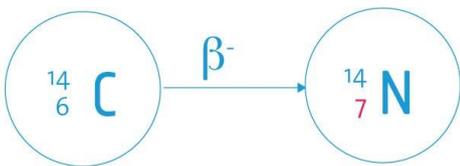
→ ANTWORTEN ZU DEN AUFGABEN FÜR SCHÜLER

1. Zerfallsreaktionen

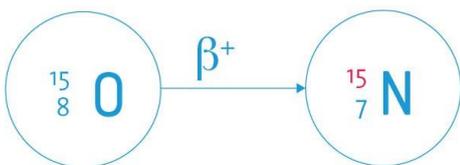
a. α -Zerfall



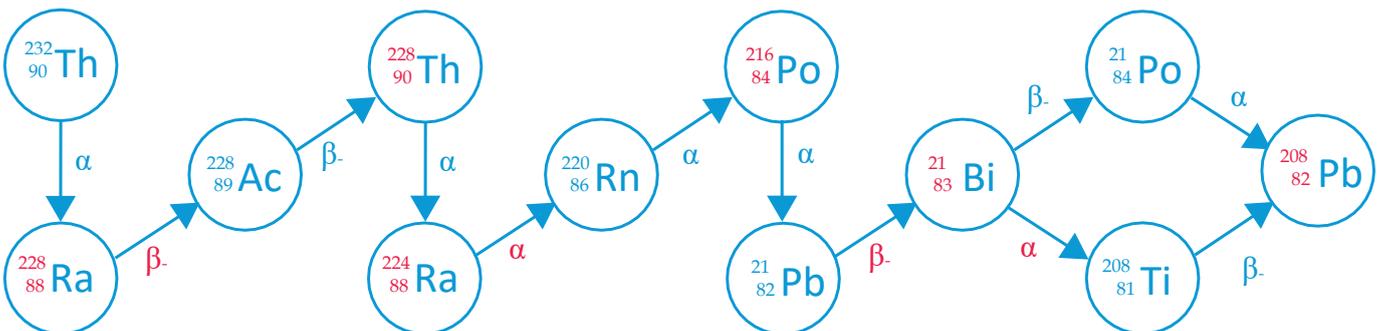
b. β^- -Zerfall (Emission von Elektronen):



c. β^+ -Zerfall (Emission von Positronen):



2. Thorium-Zerfall



3. Das stabile Element, das am Ende der Zerfallsreihe entsteht, ist **Blei**.

Links

Sammlung Teach with space

ESA teach with space – Video Wir backen uns einen Kometen | VP03:

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

Missionen und wissenschaftliche Projekte der ESA

Cassini-Huygens-Mission der ESA: www.esa.int/Our_Activities/Our_Activities/Space_Science/Cassini-Huygens

Solstitium-Mission von Cassini: saturn.jpl.nasa.gov/

Ulysses-Mission der ESA: www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Ulysses_overview

Swarm-Mission der ESA: www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/The_Living_Planet_Programme/Earth_Explorers/Swarm

Cluster-Mission der ESA: www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Cluster/Science_objectives

ESA-Artikel zum radioaktiven Zerfall

Radioaktiver Zerfall von Titan treibt Supernova-Überreste an: www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Radioactive_decay_of_titanium_powers_supernova_remnant

Radioaktives Eisen: www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Integral/Radioactive_iron_a_window_to_the_stars

teach with space – Nebelkammer | P03a

www.esa.int/education

Das ESA Education Office (ESA-Bildungsbüro) freut sich über Rückmeldungen und Kommentare

teachers@esa.int

Eine Produktion von ESA Education (ESA-Bildungsbüro)

Copyright © European Space Agency 2016