

<u>Veranstaltung</u>	<i>Klausurübung: Physikdidaktik für Lehramtskandidaten der Grund-, Haupt- und Realschule (Vorbereitung zum 1. Staatsexamen)</i>
<u>Dozent</u>	AR Dr. Thomas Wilhelm
<u>Referent</u>	Realschullehramtsstudent für Physik und Mathematik im 11. Semester

Eine Lösung zur Staatsexamensprüfung (44019) Herbst 2008, Thema 3

Radioaktivität

1. Erklären Sie fachlich die Begriffe „Radioaktivität“, „natürliche Radioaktivität“ und „künstliche Radioaktivität“.
2. Welche Strahlungsarten unterscheidet man und worum handelt es sich dabei jeweils? Beschreiben Sie Experimente, die geeignet sind, die Art der vorliegenden radioaktiven Strahlung festzustellen.
3. Konzipieren Sie eine Unterrichtseinheit zum Thema „Worin besteht die schädigende Wirkung radioaktiver Strahlung für den Menschen und wie kann man sich davor schützen?“. Formulieren Sie die notwendigen Lernvoraussetzungen und die angestrebten Lernziele.

1. Erklären Sie fachlich die Begriffe „Radioaktivität“, „natürliche Radioaktivität“ und „künstliche Radioaktivität“.

Bei der Radioaktivität betrachtet man die Kerne von Atomen. Diese bestehen aus zweierlei Nukleonen (Kernteilchen), nämlich den Protonen und den Neutronen. Da die Elektronen die Radioaktivität nicht beeinflussen, betrachtet man lediglich den Atomkern und nennt ihn, vom lateinischen *nucleus*, Nuklid.

Beispiel zweier Nuklide: ${}^7\text{Be}$ und ${}^{22}\text{Ne}$

Da jedes Element durch seine Protonenzahl (auch Kernladungszahl und Ordnungszahl) bekannt ist, muss sie nicht notiert werden. Wenn wichtig, wird sie unten vor dem Elementsymbol angegeben. Aus der Summe der Protonen und Neutronen ergibt sich die Massenzahl des Kerns, die oben vor dem Elementsymbol steht.

Isotope sind Nuklide mit gleicher Protonenzahl, aber unterschiedlicher Neutronenzahl und somit unterschiedlicher Massen. Sie verhalten sich chemisch nahezu gleich, ihre Stabilität ist aber verschieden.

Beispiel zweier Isotope: ${}^{12}\text{C}$ und ${}^{14}\text{C}$

Beides sind Nuklide des Kohlenstoffs mit 6 Protonen. Die Anzahl der Neutronen ist verschieden. Daraus resultieren unterschiedliche Massezahlen, nämlich 12 und 14. C-12 ist stabil. C-14 ist nicht stabil, es zerfällt spontan und sendet dabei Strahlung aus.

Dieses Phänomen – spontaner Kernzerfall und Strahlenausendung – nennt man **Radioaktivität**. Gleichbedeutend verwendet man auch den Begriff *radioaktiver Zerfall*, wobei *radioaktiv* strahlend bedeutet.

Nach heutigem Kenntnisstand ist dieses Phänomen durch äußere Einwirkung wie etwa Temperatur oder Druck nicht beeinflussbar.

Die Radioaktivität wurde 1896 von dem französischen Physiker Antoine Henri Becquerel entdeckt. Die Bezeichnung selbst stammt von Marie Curie, die sich ebenfalls damit beschäftigte. Die Einheit der *Aktivität* A wurde nach ihnen, zuerst nach Curie Ci, dann nach Becquerel Bq benannt.

In instabilen (also radioaktiven) Nukliden genügt die anziehend wirkende *starke Wechselwirkung* nicht um sie stabil zu halten. Sie zerfallen ohne äußerlich sichtbare Hinweise spontan. Das Zerfallsgesetz $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$ beschreibt hierfür einen exponentiellen Abfall strahlungsfähiger Kerne.

Die durch radioaktiven Zerfall entstehende ionisierende Strahlung kann zellschädigend wirken. Beispiele aus der Geschichte wie etwa die Atombombenabwürfe über Hiroshima und Nagasaki und der Zwischenfall im Kernkraftwerk bei Chernobyl führten zu vielen Toten und Krebskranken.

Die drei klassischen Strahlungsarten der Radioaktivität werden mit griechischen Buchstaben entsprechend der Reihenfolge ihrer Entdeckung benannt. Alpha- und Beta-Strahlung sind Teilchenstrahlungen, bei Gammastrahlung entsteht elektromagnetische Strahlung. Hierzu mehr in Aufgabe 2.

Natürliche Radioaktivität ist Strahlung von in der Natur vorkommenden (nicht künstlich erzeugten) radioaktiven Isotopen.

Beispiel:

${}_{86}^{222}\text{Rn}$ (Radon) ist ein in der Natur vorkommendes, nicht künstlich erzeugtes, radioaktives Isotop. Seine Radioaktivität zählt zur natürlichen Radioaktivität.

Zufälligerweise sind alle Isotope des Radons radioaktiv. Da aber z. B. ${}_{86}^{221}\text{Rn}$ nur künstlich hergestellt existiert, gehört die Strahlung dieses Isotops nicht zur natürlichen Radioaktivität.

Uran (U) ist das Element mit der höchsten Protonenzahl (92 *), das noch natürlich vorkommende Isotope besitzt. Das ist die Grenze für natürliche Radioaktivität. Alle Elemente mit größeren Protonenzahlen sind künstlichen Ursprungs (und somit auch ausnahmslos radioaktiv) und zählen deshalb nicht mehr zur natürlichen Radioaktivität.

Entdecker der natürlichen Radioaktivität ist Antoine Henri Becquerel (1896).

Nebenbei:

Die **künstliche Strahlenbelastung** durch Kernkraftwerke wird durch natürliche Radioaktivität (U-235 ist ein natürliches, radioaktives Isotop) verursacht.

Künstliche Radioaktivität ist Strahlung von künstlich erzeugten Isotopen.

Alle künstlich erzeugten Isotope sind radioaktiv.

Beispiel für ein künstlich erzeugtes Isotop mit weniger als 92 Protonen: ${}_{86}^{221}\text{Rn}$.

Alle Isotope von Nukliden mit mehr als 92 Protonen * (Transurane genannt) existieren nur künstlich hergestellt. Sie sind deshalb alle radioaktiv.

Künstliche Radioaktivität entsteht durch Kernschmelze, wenn Atomkerne mit Neutronen oder anderen Atomkernen beschossen werden.

Entdeckerin der künstlichen Radioaktivität ist die Tochter von Marie Curie (1934).

Anmerkung:

Die Bezeichnung „radioaktives Nuklid“ ist verwirrend, da es z. B. von dem Kohlenstoffnuklid (${}_6\text{C}$) radioaktive und auch stabile Variationen (Isotope) gibt.

* nach Hammer/Hammer: Physikalische Formeln und Tabellen, 6. Auflage, 1997, S. 86f.

Zusammenfassende Graphik:



2. Welche Strahlungsarten unterscheidet man und worum handelt es sich dabei jeweils? Beschreiben Sie Experimente, die geeignet sind, die Art der vorliegenden radioaktiven Strahlung festzustellen.

Es gibt drei klassische, zuerst entdeckte und am häufigsten auftretende Strahlungsarten mit ihren charakteristischen Strahlen.

Alpha-Strahlung

Die Alpha-Strahlung besteht aus Helium-Atomkernen. Da es sich um Kerne handelt, also keine Elektronen im Spiel sind, sind die Teilchen 2-fach positiv geladen. Man schreibt ${}^4_2\text{He}^{2+}$ und nennt sie Alphateilchen nach dem Namen der Strahlung.

Reaktionsgleichung am Beispiel eines Kernzerfalls eines Alphastrahlers:



Ein Radon-Kern zerfällt unter Abgabe eines Alphateilchens und weiterer Energie in einen Polonium-Kern.

Experiment zur Feststellung von Alpha-Strahlung

In der Nebelkammer, einem Teilchendetektor, können energiereiche Alpha-Teilchen anhand der Kondensation eines übersättigten Alkohol-Wasser-Dampfes indirekt sichtbar gemacht werden. Fliegt nun ein Alpha-Teilchen durch den Dampf, ionisiert es die Atome des Dampfes auf seinem Weg. Diese dienen als Kondensationskerne für eine Kondensation, die den Weg des Alpha-Teilchens als Kondensationsstreifen zeigt. Aufgrund ihrer großen Masse werden die Alpha-Teilchen auch durch ein angelegtes Magnetfeld nicht sonderlich abgelenkt. Es entstehen also fast gerade Streifen im Gegensatz zur Streifenbildung durch Beta-Teilchen.

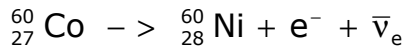
Beta-Strahlung

Hierbei unterscheidet man zwei Arten abhängig von dem abgestrahlten Teilchen. Klassisch und am häufigsten vorkommend ist der Beta-Minus-Zerfall.

β^- – Zerfall (Elektronenemission)

In Nukliden mit Neutronenüberschuss wandelt sich ein *Neutron in ein Proton* um. Dabei verlässt ein Elektron e^- und ein Elektron-Antineutrino $\bar{\nu}_e$ den Kern.

Reaktionsgleichung am Beispiel eines Kernzerfalls eines Beta-Minus-Strahlers:



(Hammer/Hammer S. 94)

Ein Kobalt-Kern wandelt sich unter Abgabe eines Elektrons und Antineutrinos in einen Nickel-Kern um.

Beim Beta-Zerfall besitzen die Elektronen ein *kontinuierliches Energiespektrum*, da die Zerfallsenergie zwischen dem Elektron und dem Neutrino aufgeteilt wird.

Experiment zur Feststellung von Beta-Strahlung

Wie beim Nachweis der Alpha-Strahlung auch wird nun die zu untersuchende Substanz an die Nebelkammer gestellt. Treten Beta-Teilchen in das Innere der Kammer, hinterlassen sie ebenfalls Kondensationsstreifen. Zur Unterscheidung zwischen beiden Strahlungsarten wird ein Magnetfeld angelegt. Da die Beta-Teilchen deutlich weniger Masse haben, werden diese dadurch deutlich abgelenkt und ihre Bahnen erscheinen sichtbar gekrümmt. Zusätzlich erscheinen die Streifen schwächer als die der Alpha-Teilchen, da Beta-Strahlung nur wenig Ionisationsenergie besitzt. Anhand der Richtung des Magnetfelds lässt sich zwischen Elektron und Positron (beim Beta-Plus-Zerfall) unterscheiden.

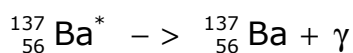
Gamma-Strahlung

Der Gamma-Zerfall ist der Übergang eines bereits durch z. B. Alpha- oder Beta-Strahlung angeregten Kerns zu einem Kern mit Zustand niedrigerer Energie unter Emission eines Gamma-Photons. Protonen- und Neutronenzahl bleiben gleich. „Zerfall“ ist deshalb irreführend, aber die übliche Bezeichnung. Man grenzt diesen Strahlungstyp als elektromagnetische Strahlung von den beiden anderen Typen, die eine Teilchenstrahlung darstellen, ab.

${}_{55}^{137}\text{Cs}$ (Cäsium) zerfällt zu einem Teil zu ${}_{56}^{137}\text{Ba}$ (Barium). Dies entspricht dem bereits beschriebenen Beta-Minus-Zerfall.

Zu einem anderen Teil zerfällt Cs-137 zuerst ebenfalls durch einen Beta-Minus-Zerfall in einen energetisch hohen Zustand nämlich Ba^* -137 und anschließend unter Abgabe von Gamma-Strahlung in den energetisch niedrigen Zustand des gleichen Isotops.

Beispiel:



Auch wenn Ba^* -137 die Gamma-Strahlung abgibt, wird Cs-137 als der Gamma-Strahler bezeichnet.

Experiment zur Feststellung von Gamma-Strahlung

Gamma-Strahlung kann durch ihre Wechselwirkung mit Materie nachgewiesen werden. Hierfür eignet sich neben der Ionisationskammer z. B. das Geiger-Müller-Zählrohr. Um sicher zu stellen, dass keine Teilchenstrahlung durch den Zähler registriert wird, erhält das Zählrohr einen Mantel aus Metall. Diesen können nur die Gamma-Quanten durchdringen, wodurch sie dabei Elektronen aus dem Metall herauslösen, die in das

Innere des Zählrohres gelangen und dort durch Stoßionisation eine Ladungsträgerlawine auslösen, die wiederum die Entladung zündet.

Eigenschaften der Strahlungsarten:

	Reichweite	Abschirmung	Ablenkung
Alpha	~cm	Papier	im elektr. Feld wegen pos. Ladung
Beta	~m	dünnes Metall	im el. Feld wegen pos. o. neg. Ladung
Gamma	ungeschirmt: ∞	dicke Bleiplatten	keine, da Gamma-Quant elektr. neutral

3.
Konzipieren Sie eine Unterrichtseinheit zum Thema „Worin besteht die schädigende Wirkung radioaktiver Strahlung für den Menschen und wie kann man sich davor schützen?“. Formulieren Sie die notwendigen Lernvoraussetzungen und die angestrebten Lernziele.

Lernvoraussetzungen

Die Schüler kennen bereits Alpha-, Beta- und Gammastrahlung mit ihrer Schreibweise in griechischen Buchstaben als die Strahlungsarten der Radioaktivität sowie ihre Reichweiten, Ablenk- und Abschirmmöglichkeiten in Luft.

Lernziele

Grobziel:

Die Schüler sollen die schädigende Wirkung der Radioaktivität und Schutzmöglichkeiten kennenlernen.

Feinziele:

Die Schüler sollen:

- zwischen künstlicher und natürlicher Radioaktivität unterscheiden können.
- die Herkunft der Radioaktivität kennenlernen.
- die unterschiedlichen Wirkungen der unterschiedlichen Strahlungstypen der Radioaktivität auf den menschlichen Körper kennenlernen.
- abhängig von der Strahlungsart der Radioaktivität geeignete Schutzmaßnahmen kennenlernen.
- Kernkraftwerke als Sicherheitsrisiko bei Austritt radioaktiver Substanzen verstehen

Geplanter Unterrichtsverlauf der Unterrichtseinheit

Einstieg:

Die Unterrichtseinheit beginnt damit, dass der Lehrer ein Bild der Medaille der Liquidatoren von Chernobyl für alle Schüler sichtbar projiziert und fragt was das ist (Lehrer-Schüler-Gespräch beginnt).

Die griechischen Buchstaben (α , β , γ) auf der Medaille erinnern die Schüler an die letzte Physikstunde, nach der diese Buchstaben die drei Strahlungsarten bezeichnen. Weiter werden die gestrichelten Linien als ebenfalls schon bekannte Ablenkmöglichkeiten gedeutet. Sollte den Schülern die stärker gekrümmte Linie der Alpha-Strahlung gegenüber der Beta-Strahlung nicht auffallen, weist der Lehrer

darauf hin, dass es sich hier vielleicht um einen Fehler handelt (Beta-Strahlung lässt sich wegen geringerer Masse leichter ablenken => kleinerer Krümmungsradius).

Weiter erkennen die Schüler kyrillische Buchstaben.

Die Vermutung, dass die Medaille in Zusammenhang mit dem Kernkraftwerksunfall bei Chernobyl steht, ist spätestens nach der Beschreibung des roten Tropfens in der Mitte als Blutstropfen der Liquidatoren klar.

Der Lehrer sagt, dass Liquidatoren nach dem Unfall Aufräumarbeiten beim Reaktor durchgeführt haben, zeigt ein Bild eines dieser Arbeiter in Ausrüstung und bittet um eine Bildbeschreibung. (Ziel: Schutzausrüstungsbeschreibung)

Die Schüler kommen idealerweise auf Atemschutz und Ganzkörperschutz vor direkter Bestrahlung.

Der Lehrer beendet die Einstiegsphase mit der Frage, ob das ein ausreichender Schutz gegen die Radioaktivität war.

Erarbeitung:

Die letzte Frage leitet zur Erarbeitungsphase über, in der die Schüler herausfinden sollen wie man sich vor Radioaktivität schützt. Dazu liest jeder Schüler für sich alleine eine Textstelle im Physikbuch oder einem anderen geeigneten Text (Einzelarbeit mit Text) über die Aufnahmewege radioaktiver Substanzen in den Körper und mögliche Schutzmaßnahmen davor und macht sich kurz Notizen.

Nach einer angemessenen Bearbeitungszeit werden die gefundenen Aufnahmewege und der jeweilige Schutz abhängig von der Art der Radioaktivität gesammelt und in ein vom Lehrer vorgefertigtes Arbeitsblatt, das mittels OHP projiziert wird, eingetragen.

Die Schüler übernehmen zeitgleich ebenfalls auf dem davor ausgeteilten Arbeitsblatt die von den Schülern genannten und vom Lehrer notierten Erarbeitungen, so dass jeder Schüler am Ende der Unterrichtseinheit gleiche Notizen hat.

Punkte zum Schutz sollten sein: Abstand (bes. bei Gamma-Strahlung), nicht essen, nicht einatmen, geringe Einwirkzeit, zeitlich verteilte Strahlungsmenge, Schutzkleidung gegen direkte Bestrahlung, Messgeräte.

Arbeitsblatt:

z. B. (kursiv: Schüler)

	Alpha-Strahlung	Beta-Strahlung	Gamma-Strahlung
<i>Atmung</i>			
<i>Nahrung</i>			
<i>Direkte Bestrahlung</i>	<i>Abstand, Papier</i>	<i>Abstand, Alu</i>	<i>Abstand, Bleischutz</i>
<i>Oberflächenkontamination</i>			

Bestrahlungsdauer reduzieren

Nach diesen Erkenntnissen sollte die Antwort der Schüler auf die die Einstiegsphase abschließende Frage des Lehrers mit –nicht ausreichender Schutz- beantwortet werden.

Daraufhin stellt sich die Frage, was denn die Folgen waren, ob die Liquidatoren krank wurden, starben.

Diese Schülerfrage leitet den zweiten Teil der Unterrichtseinheit, nämlich die Frage nach der schädigenden Wirkung der Radioaktivität, ein.

Dazu werden in Partnerarbeit dem Computer, auf dem eine geeignete Software läuft, die die Wirkung der Radioaktivität auf den Menschen erklärt, Informationen entnommen. Diesmal liegt kein Arbeitsblatt vor. Lediglich an einen Erwartungshorizont, der die Richtung, Qualität und Quantität der zu findenden Informationen vorgibt, soll nach Interessenlage gelehrt werden. Ziel der Schüler soll es sein, ohne weitere Hilfestellung zu zweit gesuchte Informationen aus einer multimedialen Informationsquelle zu gewinnen und diese so aufzubereiten, damit sie später den anderen präsentiert werden kann. Damit nicht jeder gleich viel zu jedem Punkt bringt, wird die Bitte bei der Suche nach Interessengebieten vorzugehen deutlich gemacht. Durch diese Bitte soll keine Muss-Situation entstehen, in der die Schüler nur nach dem suchen was der Lehrer wissen wollen könnte, sondern für den Lehrer deutlich werden, wofür sich die Schüler interessieren. Auch wird deshalb auf eine lebendigere Präsentation gehofft.

Die Software soll den Schülern auch die Möglichkeit geben über das aus dem ersten Teil der Unterrichtseinheit Gelernte nochmals nachlesen zu können sowie Informationen zu folgenden Punkten bereitstellen:

Strahlungsempfindlichkeit verschiedener Körperteile abhängig von der Strahlungsart (Äquivalentdosis), ionisierende Wirkung der Radioaktivität auf Zellen des Körpers, Unterscheidung zwischen Körper- und Keimzellen, Somatische- (früh und spät) und genetische Schäden, Reparaturmechanismus der Zellen und biologische und physikalische Halbwertszeit.

Zur Präsentation gibt nun der Lehrer wichtige Stichpunkte (siehe eben aufgezählte) vor und bittet die Schüler ebenfalls in Partnerarbeit (gemeinsam) kurz um Vorstellung. Ziel der Präsentation für die präsentierenden Schüler soll es sein selbst aufbereitete physikalische Themen anderen verständlich weiterzugeben. Bei Unklarheiten, nicht richtigen Aussagen oder detaillierteren Informationen soll sich das Schüler-Publikum dazu äußern und im besten Fall ein Schüler-Schüler-Gespräch entstehen (Schüler sind nun sich gegenseitig „Experten“ auf dem Gebiet).

Währenddessen notiert sich der Lehrer welche Punkte großes Interesse finden, welche weniger um später sein Handout entsprechende Gewichtung geben zu können. Spätestens am nächsten Tag soll den Schülern das Handout zur Verfügung stehen, damit der Stoff gesichert ist und neben dem individuell Gelernten aus der Partnerarbeit auch das Grundwissen zu diesem Thema jedem Schüler bekannt ist.

Vertiefung:

Um nochmal auf den Einstieg zu kommen und somit die Stunde abzurunden, projiziert der Lehrer eine Tortengraphik zur gesamten durchschnittlichen Strahlenbelastung (nicht nur durch Radioaktivität) des Menschen, auf der auch der Anteil der Belastung durch Fallout (also z. B. durch Chernobyl) zu sehen ist. Die Schüler sehen eine Belastung, die sich unausweichlich durch die Natur ergibt, aber einen eben so großen Teil aus der durch Menschen gemachten Strahlung. Da die Medizin hier den größten Teil einnimmt, könnte eine weitere Diskussion zwischen den Schüler etwa so beginnen, ob es sinnvoll ist Röntgen bewusster einzusetzen oder gar den Wunsch Flugzeugpilot zu werden zu überdenken (Physikunterricht soll befähigen Entscheidungen für die Zukunft treffen zu können).