

Fachdidaktik Physik: 2.2.4. Kernphysik in 12

Hans-Otto Carmesin

Gymnasium Athenaeum Stade, Studienseminar Stade

Hans-Otto.Carmesin@t-online.de

16. März 2021

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	2
2 Kernzerfälle	2
3 Energie im Atomkern	14
4 Aufgaben	32
5 Zusammenfassung	35



Abbildung 1: Wie setzt die Sonne ihre lebenserhaltende Energie frei? Der Atomkern ist im Alltag zwar selten direkt bemerkbar. Dennoch spielen Atomkerne in vielen Lebensbereichen eine wichtige Rolle.

1 Einleitung

Den SuS ist die Bedeutsamkeit der Kernphysik bekannt. Sie wissen, dass Kernumwandlungen viel Energie freisetzen. Beispiele sind das Kernkraftwerk, die Atombombe und die lebenswichtige Sonne. In der Medizin werden Atomkerne für Diagnose- und Therapieverfahren genutzt. Die SuS kennen die Kernphysik bereits aus der Sekundarstufe eins (Carmesin u. a. (2015)). Sie kennen beispielsweise die Alpha-, Beta- und Gammastrahlung, die stochastische Natur radioaktiver Strahlung und verschiedene Isotope Beime u. a. (2012); Brüning u. a. (2010); Frenzel (2017); Gehmann (2015).

Diese Modelle werden hier mit der Quantenphysik kombiniert und so wird ein modernes Modell des Atomkerns konstituiert (Carmesin u. a. (2020)). Damit verstehen die Lernenden verschiedene auch spektrale Nachweismöglichkeiten für radioaktive Strahlen. So können sie zeitliche und energetische Eigenschaften von Kernreaktionen qualitativ und quantitativ erkunden Beime u. a. (2012); Brüning u. a. (2010); Frenzel (2017); Gehmann (2015).

2 Kernzerfälle

Die Unterrichtseinheit lässt sich gut in zwei Sequenzen aufteilen: Zunächst werden Kernzerfälle, deren Nachweis, deren Zeitverhalten und deren Kettenbildung untersucht. Sodann werden Energien in Atomkernen, deren Nachweis, Modellierung und Konsequenzen behandelt.

Inhaltsbezogene Kompetenzen: SuS ...	Prozessbezogene Kompetenzen: SuS ...
... erläutern das grundlegende Funktionsprinzip eines Geiger-Müller- Zählrohrs als Messgerät für Zählraten.	
... erläutern das Zerfallsgesetz .	<p>... stellen Zerfallsvorgänge grafisch dar und werten sie unter Verwendung der Eigenschaften einer Exponentialfunktion (eA: zur Basis e) aus.</p> <p>... eA: übertragen dieses Vorgehen auf andere Abklingvorgänge.</p> <p>... eA: beurteilen Gültigkeitsgrenzen der mathematischen Beschreibung aufgrund der stochastischen Natur der Strahlung.</p> <p>... erläutern das Prinzip des C-14-Verfahrens zur Altersbestimmung.</p> <p>... eA: modellieren einen radioaktiven Zerfall mit dem Differenzenverfahren unter Einsatz einer Tabellenkalkulation oder eines Modellbildungssystems.</p> <p>... eA: wenden dieses Verfahren auf einen Mutter-Tochter-Zerfall an</p>
... stellen Zerfallsreihen anhand einer Nuklidkarte auf.	<p>... ermitteln aus einer Nuklidkarte die kennzeichnenden Größen eines Nuklids und die von ihm emittierte Strahlungsart.</p> <p>... beschreiben grundlegende Eigenschaften von α-, β- und γ- Strahlung.</p>

Tabelle 1: Curriculum zur Unterrichtssequenz Kernzerfälle [Beime u. a. \(2012\)](#); [Brüning u. a. \(2010\)](#); [Frenzel \(2017\)](#); [Gehmann \(2015\)](#).

Für die UE kann man beispielsweise den Kontext der Radonbelastung einsetzen. Denn hieran lassen sich die wesentlichen physikalischen Zusammenhänge der UE entdecken.

Nr.	Stundenthema	Stundenlernziel
1	Nachweis radioaktiver Strahlen	Die SuS sollen radioaktive Strahlen nachweisen können.
2	Anwendung des Geiger-Müller-Zählrohrs	Die SuS sollen das GMZ anwenden können.
3	Erklärung des Geiger-Müller-Zählrohrs	Die SuS sollen das GMZ erklären können.
4	Unterscheidung der Strahlungsarten durch Abschirmung und Ablenkung im Feld	Die SuS sollen die Strahlungsarten erläutern und experimentell analysieren können.
5	Entdecken des Zerfallsgesetzes	Die SuS sollen das Zerfallsgesetz begründen und anwenden können.
6	Modellieren des Zerfallsgesetzes	Die SuS sollen ein Modell zum Zerfallsgesetz erläutern, anwenden und übertragen können.
7	Entdecken der Zerfallsreihen	Die SuS sollen die Zerfallsreihen anhand der Nuklidkarte ermitteln können.

Tabelle 2: Mögliche Stundenabfolge zur Unterrichtssequenz Kernzerfälle.

Für die zentralen Stunden der Sequenz mache ich konkrete Vorschläge in Form von Kurzentwürfen.

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Thema der Unterrichtseinheit: Kernphysik

Nachweis radioaktiver Strahlen

Didaktik: SLZ: Die SuS sollen radioaktive Strahlen nachweisen können.

Akzent: Radonbelastung und Bedeutung der Strahlenmesstechnik

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Elektroskop	Erläutern, Anwenden
LV: Leuchten (Bildschirm, Fluoreszenz)	Erläutern, Experimentelles Darstellen
LV: Ionisation	Erläutern
TLZ: Entdeckung der Schneeberger Krankheit	Beschreiben
TLZ: Szintillation	Erläutern, Experimentelles Begründen
TLZ: Entladung durch Radioaktivität	Erläutern, Experimentelles Begründen
TLZ: Ionisation durch Radioaktivität	Erläutern, Experimentelles Begründen

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Problemlösend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Hinführung:</u> Entdeckung der Schneeberger Krankheit & der Radioaktivität	Einstiegsfolie	LV
10	<u>Problemstellung:</u>	SuS fassen zusammen → Leitfrage	LSG
20	<u>Analyse:</u> Ideen, Zweck: Vernetzung, Transfer, Brainstorming	Oszilloskop, Bildschirm, Elektroskop, Geldschein (UV-Lampe) → SuS vermuten; erläutern mögliche Analogien; planen Kontrollversuche; DE, minimale LH	MuG
27	<u>Lösung 1:</u> Szintillation	DE, TA, Skizze	LSG
35	<u>Lösung 2:</u> Elektroskop	DE zur Entladung	LSG/ MuG
	Alternatives Stundenende		
45	<u>Lösung 2b:</u> Deutung der Entladung des Elektroskops	DE zum Versuch der Aufladung; DE zur Entladung durch Kerze	LSG/ MuG

Geplanter TA

Schneeberger Krankheit: Bergleute hatten Lungenkrebs. Sehr spät entdeckte Ursache: Radongas strömt aus dem Gestein und strahlt radioaktiv.

Problem: Radioaktive Strahlung ist nicht wahrnehmbar.

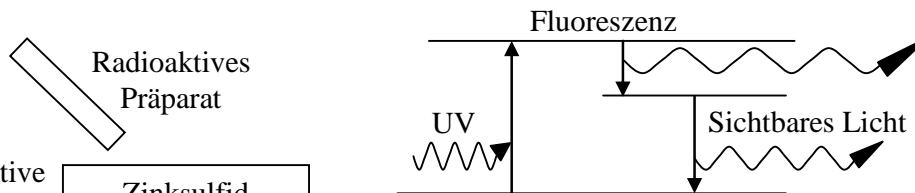
Wie können wir radioaktive Strahlen nachweisen?

Ideen:

- Geiger-Müller-Zählrohr: Zählt einzelne Quantenobjekte
- Becquerels Entdeckung: Eine neuartige „radioaktive“ Strahlung schwärzt eine Fotoplatte.
- Farbstoff: Strahlen lassen Farbstoff leuchten, analog Fluoreszenz (Vermutung 1)
- Elektroskop: Strahlen (Ladung/Energie) entladen Elektroskop (Vermutung 2)

Versuchsskizze 1:

Beobachtung:
Zinksulfid leuchtet.



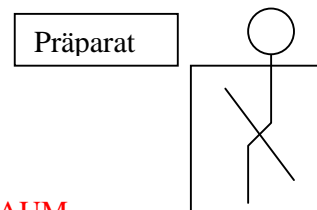
Ergebnis 1: Radioaktive Strahlen bringen Zinksulfid zum Leuchten.

Vergleich 1: Zinksulfid war schon im Mittelalter bekannt.

Versuchsskizze 2:

Beobachtung 2/Ergebnis 2:

Radioaktive Strahlen entladen ein Elektroskop.



Deutungen 2:

- Die Strahlen neutralisieren durch ihre elektrische Ladung. **KAUM**
- Die Strahlen ionisieren Luft. Diese entlädt das Elektroskop. **MÖGLICH**

Kontrollversuche:

- Wir versuchen das Elektroskop durch radioaktive Strahlen zu laden. → Das geht nicht.
- Wir ionisieren Luft durch eine Kerze. → Beobachtung: Eine Kerzenflamme entlädt ein Elektroskop.

Vergleiche 2:

- Tatsächlich entdeckten Marie und Pierre Curie 1898 mit dem Elektroskop die chemischen Elemente Radium und Polonium an ihren radioaktiven Strahlen.
- Schon Guericke experimentierte 1663 mit Elektrizität.

Schneeberger Krankheit



- Seit 1237 Silberabbau
- 1530 beschreibt Paracelsus die „Bergsucht“
- 1850: Arzt Härting: 3 von 4 Bergleuten sterben an der „Schneeberger Krankheit“, an „Lungenkrebs“



- 1896: Becquerel entdeckt die radioaktive Strahlung an einer geschwärzten Fotoplatte
- 1913: Bergdirektor Müller nennt aus dem Gestein ausströmendes Radongas und dessen radioaktive Strahlung als Ursache



Fluoreszenz: Geldschein mit UV bestrahlt.



Radon:

Gefahr aus dem Boden

Radon gilt nach dem Rauchen als zweithäufigste Ursache für Lungenkrebs. So können Sie sich schützen

Im Erdgeschoss eines alten Bauernhauses hat sich Daniela Niederbuchner ein Büro für Grafik und Design eingerichtet. In Taping am bayerischen Chiemsee ist die Heimat der 40-Jährigen. Hier lebt sie mit ihrem Partner und ihren zwei Kindern. Der Niederbuchner-Hof ist schon seit 150 Jahren im Besitz der Familie. Eigentlich haben die Bewohner viel Raum und Luft zum Atmen.

Doch gerade hier liegt das Problem. „Im November 2002 bekamen wir vom Bayerischen Umweltministerium einen Brief. Darin wurden wir gefragt, ob wir Interesse an einer kostenlosen Radon-Messung im Haus hätten“, erzählt Niederbuchner. „Bis dahin hatte ich noch nie etwas von Radon gehört. Ich informierte mich im Internet darüber und erfuhr, dass in unserer Umgebung überdurchschnittlich viel Radon aus dem Erdreich in Gebäude strömt, besonders wenn diese so alt sind wie unseres.“

Das Erschreckende daran: Radon kann Lungenkrebs verursachen. Wir stimmten deshalb der Messung zu und bekamen per Post zwei so genannte Radon-Dosimeter geschickt. Das sind kleine schwarze Döschen, etwa so groß wie ein Badewannenstopfen. Wir haben sie nach Anleitung platziert: Einer kam im Keller an die Wand, der andere ins Bücherregal im Büro. Nach der Frist von einem Jahr haben wir die Döschen wieder verpackt und an ein Messbüro zurückgeschickt.“

Die Auswertung in dem Labor ergab Beängstigendes: Im Büro betrug der Radon-Wert 710 Becquerel pro Kubikmeter Atemluft (Bq/m³), im Keller 1100 Bq/m³. Ein Gesundheitsrisiko besteht ab einem Wert von 150 Bq/m³. (Die Maßeinheit Becquerel bezeichnet die Zahl der Zerfälle radioaktiver Atomkerne pro Sekunde.)

Was ist Radon? Für wen wird es gefährlich? Überall dort, wo Uran in der Erde steckt, entweicht Radon. Das radioaktive Edelgas ist ein natürliches Abbauprodukt des Urans, das in die Atmosphäre gelangt. Durch Fundamente und Keller dringt Radon auch in unsere Häuser und sammelt sich dort an. Wie viel, hängt von der Region und der Bauweise des Hauses ab.

In den ehemaligen Bergbaugebieten von Thüringen und Sachsen, aber auch in Teilen von Bayern und Baden-Württemberg enthält die Erde besonders viel Uran. Moderne Bauten mit Betonbodenplatten sind isoliert und deshalb weniger belastet als alte und nicht oder nur teilweise unterkellerte Häuser.

- 1) Fassen Sie zusammen, warum im Bergbau und in Kellern eine Gesundheitsgefahr entstehen kann.
- 2) Nennen Sie den Grenzwert.
- 3) Nennen Sie Vor- und Nachteile eines Kellers für die Radonbelastung.



Tabelle 1: Freigrenzen für typische Nuklide in Schulquellen

		Aus: StrlSchV- 1989 Tab. IV 1 Spalte 4	Aus: StrlSchV- 2001 Anl. III Tabelle 1 Spalte 2	Aus: StrlSchV- 2001 Anl. III Tabelle 1 Spalte 3
Ordnungs- zahl	Radionuklid	Aktivität in kBq	Aktivität in kBq	Spezifische Aktivität in Bq/g
1	H-3	5.000	1.000.000	1.000.000
11	Na-22	500	1.000	10
19	K-40*)	5.000	1.000	100
27	Co-60	50	100	100
36	Kr-85	5.000	10	100.000
38	Sr-90+ (Y-90)	50	10	100
55	Cs-137+ (Ba-137m)	500	10	10
81	Tl-204	500	10	10.000
84	Po-210	5	10	10
88	Ra-226++ (Rn-222, Po-218, Pb-214, Bi-214, Pb-210, Bi-210, Po-210, Po-214)	5	10	10
90	Th-232sec (Ra-228, Ac-228, Th-228, Ra-224, Rn-220, Po-216, Pb-212, Bi-212, Tl-208, Po-212)	50	1	1
92	U-238sec (Th-234, Pa-234m, U-234, Th-230, Ra-226, Rn-222, Po-218, Pb-214, Bi-214, Pb-210, Po-210, Po-214)	5.000	1	1
94	Pu-238	5	10	1
94	Pu-239	5	10	1
95	Am-241	5	10	1

K-40*) als natürlich vorkommendes Radionuklid nicht beschränkt

Zur Umrechnung von Aktivitätseinheiten: 1 µCi = 37 kBq

Die Schneeberger Krankheit wird durch das chemische Element Radon (²²⁰Rn und ²²²Rn) ausgelöst. Beurteilen Sie anhand der Freigrenzen, ob die biologische Strahlenwirkung der entsprechenden Isotope besonders hoch oder niedrig ist.

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Thema der Unterrichtseinheit: Kernphysik

Nachweis radioaktiver Strahlen

Anwendung des Geiger-Müller-Zählrohrs

Didaktik: SLZ: Die SuS sollen das Geiger-Müller-Zählrohr anwenden können.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Radioaktive Strahlen	Erläutern, Nachweisen
TLZ: Entdeckung der Schneeberger Krankheit	Beschreiben
TLZ: Zählrohr	Beschreiben, Anwenden
TLZ: Nulleffekt	Erläutern, Messen
TLZ: Impulsrate	Erläutern, Messen, Berechnen

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Interaktiv erarbeitend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Einstieg:</u> Besprechung der HA, Materialien	Einstiegsfolie	SV, LSG
8	<u>Stundenfrage:</u> s.u.	Leitfrage	LSG
20	<u>Erarbeitung:</u> Versuch	Planen, Durchführen, Auswerten	SSG
30	<u>Erarbeitung 2:</u> Bezeichnungen	TA	LSG
35	<u>Sicherung:</u> Ergebnis	Formulierung	SV
	<u>Festigung:</u> Folgestunde		LSG/EA

Geplanter TA

Was gibt die meisten radioaktiven Strahlen ab?

Beispiele:

Omas Wecker

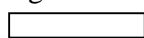
Marmelade aus Tschernobyl

Glühstrumpf

Stein aus dem Erzgebirge

Versuchsskizze:

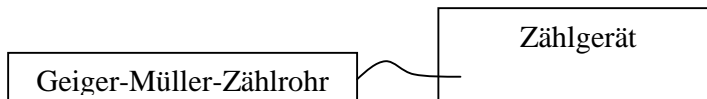
Gegenstand



Vermutungen/Schätzungen

a

b ...



Messwerte:

Ohne Gegenstand: x Impuls/min

Gegenstand y : z Impuls/min

...

Bezeichnungen:

Die Anzahl der Impulse pro Zeit wird Zählrate oder Impulsrate.

Die Zählrate, die das Zählrohr nur durch die Umgebung aufzeichnet, heißt Nulleffekt.

Ergebnisse:

Der Geiger Müller-Zähler zählt einzelne Ereignisse.

Schon die Umgebung führt zu einer Zählrate.

Die Zählereignisse treten zu zufälligen Zeitpunkten auf.

Die größte Zählrate wurde bei dem Stein aus dem Erzgebirge gemessen.

Deutungen

Der Nulleffekt kommt durch überall vorhandene schwach radioaktiv strahlende Gegenstände und durch kosmische Strahlung zustande.

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Thema der Unterrichtseinheit: Kernphysik
... Erklärung des Geiger-Müller-Zählrohrs

Didaktik: SLZ: Die SuS sollen das Geiger-Müller-Zählrohr erklären können.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Geiger-Müller-Zählrohr	Beschreiben, Anwenden
LV: Ionisation	Erläutern
TLZ: Modellversuch Funkenzähler	Planen, Durchführen, Deuten
TLZ: Ladungslawine	Deuten
TLZ: Funktionsweise des GMZ	Erklären durch Strukturgleichheit zum Modellversuch

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Problemlösend

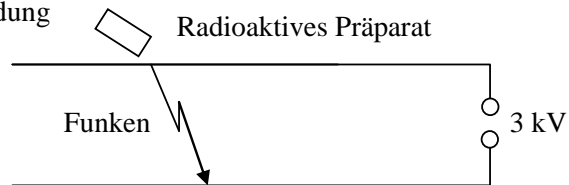
Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Einstieg:</u> Geiger-Müller-Zählrohr	DE	LSG
7	<u>Problemstellung:</u>	Leitfrage	LSG
20	<u>Analyse:</u> Ideen, Vermutung, Modellversuch	Brainstorming, Planen, TA	MuG
30	<u>Lösung 1:</u> Modellversuch	DE, Beschreiben, Beobachten, Deuten durch Ladungslawine	LSG
45	<u>Lösung 2:</u> GMZ-Skizze, Funktionsweise GMZ	Erklären durch Strukturgleichheit zum Modellversuch	GA
55	<u>Sicherung:</u> Funktionsweise, Reflexion, Rückkopplung	SV Ergebnis, erstmals einzelne Quantenobjekte gemessen	SV
	<u>Reserven, Festigung, HA:</u> AB		LSG/EA

Geplanter TA

Wie funktioniert das Geiger-Müller-Zählrohr?

Ideen: Hochspannung, Ionisation, Entladung

Modellversuch:

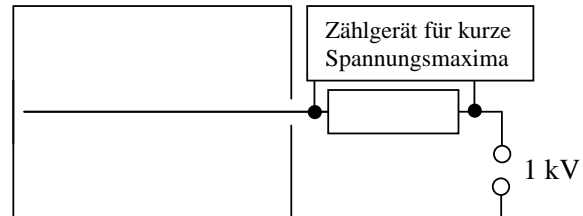


Beobachtung: Wenn radioaktive Strahlen auf die Drähte treffen, dann springen Funken über.

Deutung: Die radioaktive Strahlen ionisieren einzelne Moleküle der Luft. Diese entstandenen Ionen werden durch das elektrische Feld zwischen den Drähten beschleunigt. Sie werden so schnell, dass sie weitere Moleküle der Luft ionisieren. So entsteht durch wenige radioaktive Strahlen eine Ladungslawine. Diese erkennen wir als Funken.

Prinzipieller Aufbau des Geiger-Müller-Zählrohrs

Ergebnis: Beim Geiger-Müller-Zählrohr erzeugt ein radioaktives Teilchen eine Ladungslawine. Diese Ladungslawinen werden gezählt.



Geplante Schülerfolie

Funktionsweise des Geiger-Müller-Zählrohrs

1. Draht und Dose laden sich auf.
2. Radioaktives Teilchen trifft in das Zählrohr.
3. Ladungslawine entsteht, Strom fließt kurzzeitig durch Widerstand, $U=I \cdot R$ kurzzeitiger Spannungsimpuls am Widerstand, Zählung, Draht und Dose sind entladen, Ionen neutralisieren sich.

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Thema der Unterrichtseinheit: Kernphysik

... **Entdecken des Zerfallsgesetzes**

Didaktik: SLZ: Die SuS sollen das Zerfallsgesetz begründen und anwenden können.

Akzent: Radonzerfall und die Bedeutung in der aktuellen Strahlenbelastung.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Ionisierende Strahlen beim Radonzerfall	Erläutern
LV: Stromstärkemessung	Erläutern
TLZ: Versuch	Planen, Durchführen, Auswerten
TLZ: Zerfallsgesetz	Erläutern, Experimentelles Begründen

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Entdeckenlassend

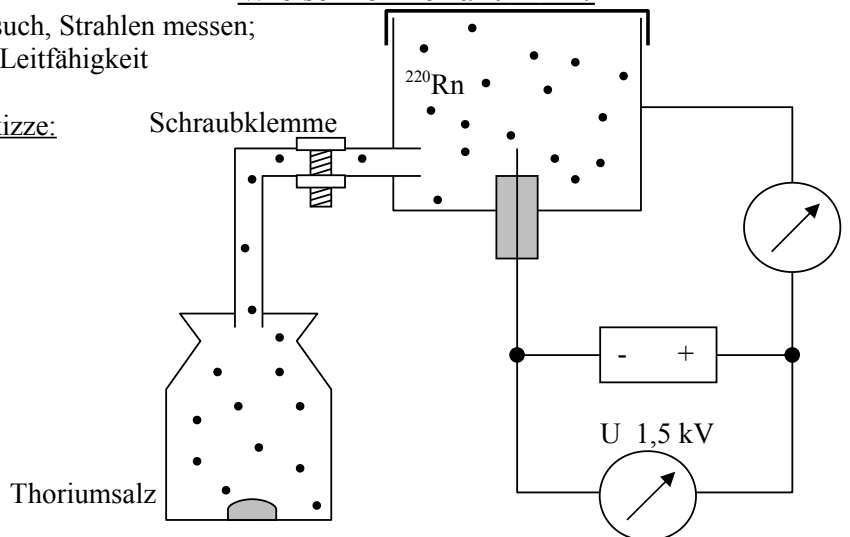
Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Hinführung:</u> Radon im Keller, HA	Besprechen	LV
10	<u>Problemstellung:</u>	Wie oft abpumpen → Leitfrage	LSG
20	<u>Analyse:</u> Versuch	Material, Planen	MuG/LSG
50	<u>Lösung:</u> Versuch	DE, Durchführen, Auswerten	GA
60	<u>Sicherung:</u> Reflexion	Folien, Rückkopplung	SV
90	<u>Festigung:</u> AB2	Auch HA	LSG/EA

Geplanter TA

Wie schnell zerfällt ²²⁰Rn?

Ideen: Versuch, Strahlen messen;
Ionisation, Leitfähigkeit

Versuchsskizze:



Vermutung: I nimmt ab, weil anfangs Radongas hinzugefügt wird und da es dann zerfällt.

Durchführung: Gas wird in die Kammer gepumpt. Die Schraubklemme wird geschlossen.

Beobachtung: I nimmt ab.

t in s	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
I in pA	102	89	79	72	63	54	47	43	37	34	30	27	24	20	18

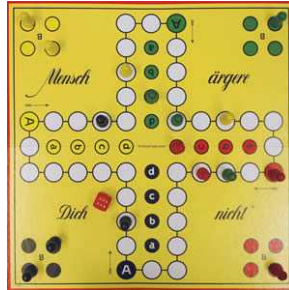
Ergebnisse: Die Stromstärke I nimmt exponentiell mit der Zeit ab: $I(t) = I(0) \cdot 2^{-t/55s}$

Die Halbwertszeit beträgt 55 s.

Deutung: Das Radongas erzeugt ionisierende Strahlen und Leitfähigkeit. Da I exponentiell mit der Zeit abnimmt, nimmt die Anzahl N der Radonkerne exponentiell mit der Zeit ab:

$$N(t) = N(0) \cdot 2^{-t/55s}$$

Jeder Radonkern der Probe kann sich umwandeln. Die Wahrscheinlichkeit, dass sich ein Kern während der Halbwertszeit 55 s umwandelt, ist 0,5. Denn dann wandeln sich im Mittel während der Halbwertszeit die Hälfte der Kerne um.



- 1) Bei „Mensch ärgere dich nicht“ kommen Sie nur dann mit einer Figur aus Ihrer Startposition, wenn Sie eine 6 würfeln. Wir nehmen an, Sie haben nur noch eine Figur, und diese soll herauskommen.
 - a. Berechnen Sie die Wahrscheinlichkeit $P(k)$, dass diese Figur beim k -ten Wurf noch drin ist für $k = 1, 2, \dots, 4!$
 - b. Charakterisieren Sie die Zahlenfolge der $P(k)$!
 - c. Bestimmen Sie die Halbwertszeit!
 - d. Deuten Sie den radioaktiven Zerfall mit Hilfe des Spiels „Mensch ärgere dich nicht“!

- 2) In einem Lebewesen befindet sich Kohlenstoff. Es gibt drei Isotope, ^{12}C , ^{13}C und ^{14}C . ^{14}C hat den Anteil $10^{-10} \%$ und zerfällt mit der Halbwertszeit 5700 Jahre.



Als Ötzi 1996 in den Alpen entdeckt wurde, hat man den Anteil von $\text{C}14$ gemessen. Er betrug $0,46 \cdot 10^{-10} \%$. Bestimmen Sie das Alter von Ötzi?

3 Energie im Atomkern

Die Sonne kann nur leuchten, weil in ihrem Inneren durch Kernreaktionen gigantische Energien freigesetzt werden. Das macht die Analyse nuklearer Energien besonders relevant. Die SuS entdecken zunächst den Zusammenhang zwischen Masse und Energie (s. Audi u. a. (2003)). Anschließend entwickeln sie das Potentialtopfmodell des Kerns als relativ grundlegende Erklärungen für die Kernreaktionen.

Inhaltsbezogene Kompetenzen: SuS ...	Prozessbezogene Kompetenzen: SuS ...
<p>... erläutern das grundlegende Funktionsprinzip eines Halbleiterdetektors für die Energiemessung von Kernstrahlung.</p> <p>... interpretieren ein α-Spektrum auf der Basis der zugehörigen Zerfallsreihe.</p>	<p>... beschreiben die in Energiespektren verwendete Darstellungsform (Energie-Häufigkeits-Diagramm).</p> <p>... ziehen die Nuklidkarte zur Interpretation eines α-Spektrums heran.</p> <p>... erläutern den Einsatz von Radionukliden in der Medizin.</p>
<p>... beschreiben die Quantisierung der Gesamtenergie von Nukleonen im eindimensionalen Potenzialtopf.</p>	<p>... begründen die Größenordnung der Energie bei Kernprozessen mithilfe des Potenzialtopfmodells.</p>

Tabelle 3: Curriculum zur Unterrichtssequenz Energie im Atomkern Beime u. a. (2012); Brüning u. a. (2010); Frenzel (2017); Gehmann (2015).

Nr.	Stundenthema	Stundenlernziel
1	Entdeckung der Energiefreisetzung beim Kernzerfall	Die SuS sollen den Massenverlust beim Kernzerfall bestimmen können.
2	Bestimmung der maximalen Brenndauer der Sonne	Die SuS sollen die maximale Brenndauer der Sonne mit Hilfe des Massenverlusts bestimmen und den Massendefekt erklären können.
3	Messung der Energiefreisetzung beim α -Zerfall	Die SuS sollen die Energiefreisetzung beim α -Zerfall messen können.
4	Bestimmung eines Kerndurchmessers	Die SuS sollen einen Kernradius mit dem Rutherfordversuch bestimmen können.
5	Entwicklung des Potentialtopfmodells	Die SuS sollen das Modell erläutern und anwenden können.
6	Nachweis von Cäsium in Pilzen durch Gammaspektroskopie	Die SuS sollen den Nachweis erklären und anwenden können.
7	Analyse der PET	Die SuS sollen die PET erklären können.

Tabelle 4: Mögliche Stundenabfolge zur Unterrichtssequenz Energie im Atomkern.

Für die zentralen Stunden der Sequenz mache ich konkrete Vorschläge in Form von Kurzentwürfen. Die letzte Stunde geht über das Kerncurriculum hinaus, rundet das Thema Radonbelastung ab und gibt einen interessanten Einblick in den Tunneleffekt. Erst dieser ermöglicht eine quantitative energetische Erklärung des Alphazerfalls. Auch ist er in der Mikroelektronik wichtig.

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Thema der Unterrichtseinheit: Kernphysik

... Entdeckung des Massenverlustes beim Kernzerfall

Didaktik: SLZ: Die SuS sollen den Massenverlust beim Kernzerfall bestimmen können.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Nuklidkarte	Erläutern, Anwenden
LV: Zerfälle	Erläutern
LV: Allgemeinwissen $E = m \cdot c^2$	Erläutern, Deuten
TLZ: Massenverlust	Erläutern, Berechnen
TLZ: Massenverlust entspricht Energiefreisetzung	Erklären

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Entdeckenlassend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Hinführung:</u> Einstiegsfolie	Beschreiben	LSG
8	<u>Problemstellung:</u>	Leitfrage	LSG
15	<u>Analyse:</u> Ideen	Vorschlagen	MuG
30	<u>Lösung:</u> Massenverlust	Berechnen	GA
40	<u>Sicherung:</u> s.u. Rückkopplung	SV Ergebnis	SV
45	<u>Festigung:</u> $^{220}\text{Rn} \rightarrow ^{216}\text{Po} + ^4\text{He} + E$	Berechnen von E, HA	EA

Geplanter TA

Wie wird beim Kernzerfall so viel Energie frei?

Ideen: Exotherm, $E = m \cdot c^2$,

Vermutung: Beim Kernzerfall müsste Masse verloren gehen.

Überprüfung: Berechnen für Beispiel Uran ^{238}U : Daten:

$M(^{234}\text{Th}) = 234,0436 \text{ u}$; $M(^4\text{H}) = 4,0026 \text{ u}$; $M(^{238}\text{U}) = 238,0508 \text{ u}$; Freigesetzte Energie 4,3 MeV

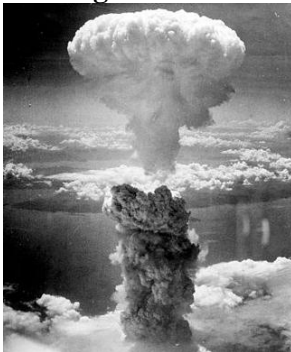
Ergebnisse: Uran zerfällt von alleine, weil die Reaktion exotherm ist.

Beim Zerfall wird viel Energie E freigesetzt, indem sich die Masse um $m = E/c^2$ verringert.

Geplante Schülerfolie:

$$\begin{aligned}
 ^{238}\text{U} &\rightarrow ^{234}\text{Th} + ^4\text{He} + E && \text{mit } E = 4,3 \text{ MeV} \\
 M(^{238}\text{U}) &= M(^{234}\text{Th}) + M(^4\text{H}) + E/c^2 \\
 E &= [M(^{238}\text{U}) - M(^{234}\text{Th}) - M(^4\text{H})] \cdot c^2 \\
 E &= [238,0508 - 238,0436 - 4,0026] \cdot \text{u} \cdot c^2 = \Delta m \cdot c^2 \quad \text{mit } \Delta m = 0,0046 \text{ u} \\
 E &= 0,0046 \cdot \text{u} \cdot c^2 && | \text{u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \\
 E &= 4,295 \text{ MeV}
 \end{aligned}$$

Einstiegsfolie



Info zur Festigung: $M(^{216}\text{Po}) = 216,0019 \text{ u}$; $M(^4\text{H}) = 4,0026 \text{ u}$; $M(^{220}\text{Rn}) = 220,0114 \text{ u}$

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Thema der Unterrichtseinheit: Kernphysik

... Bestimmung der maximalen Brenndauer der Sonne

Didaktik: SLZ: Die SuS sollen die maximale Brenndauer der Sonne mit Hilfe des Massenverlusts bestimmen und den Massendefekt erklären können.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Fusion von Helium	Erläutern, Anwenden
LV: Massenverlust	Erläutern, Berechnen
LV: Kugeloberfläche, Solarkonstante	Erläutern, Berechnen
TLZ: Massenverlust bei Fusion von Helium	Berechnen
TLZ: Leistung der Sonne	Erläutern, Berechnen
TLZ: Massendefekt, Bindungsenergie	Erläutern, Berechnen, Deuten

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Problemlösend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Hinführung:</u> Energie von der Sonne	Einstiegsfolie	LV
8	<u>Problemstellung:</u>	Leitfrage	LSG
20	<u>Analyse:</u> Ideen	Reaktionsgleichung	MuG
60	<u>Lösung:</u> s.u.		GA
80	<u>Sicherung:</u> s.u.	OHP, Reflexion, Bezeichnungen, Deutungen	SV
90	<u>Festigung:</u> AB	HA	EA

Geplanter TA

Wann erlischt die Sonne?

Ideen: Solarkonstante \rightarrow Leistung P,

Fusion \rightarrow Energie pro Reaktion \rightarrow freisetzbare Energie E

Maximale Brenndauer $t = E/P$

Daten: $A_E = 150 \text{ Mio km}$ $S_E = 1370 \text{ W/m}^2$ $\rightarrow 4 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot S_E$

Die Sonne hat die Masse $2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ und besteht hauptsächlich aus Wasserstoff.

Ergebnis: Die maximale Brenndauer beträgt 110 Milliarden Jahre.

Literatur: Tatsächlich wird sie deutlich kürzer sein.

Bezeichnungen: Die Differenz der Massen der Nukleonen eines Kerns minus die Kernmasse heißt Massendefekt Δm .

Beispielsweise beträgt der Massendefekt des Heliumkerns ungefähr $5 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$.

Deutung: Die Energie $E = \Delta m \cdot c^2$ ist die Energie, mit der die Nukleonen am Kern gebunden sind. Wir deuten diese Energie negativ im Sinne einer Energiemulde. Diese Energie heißt Bindungsenergie.

Folgerung: Weil sowohl beim Zerfall schwerer Kerne als auch bei der Fusion leichter Kerne Energie freigesetzt wird, muss die Bindungsenergie pro Nukleon für mittlere Kerne am größten sein.

Geplante Schülerfolien:

$S = 1,37 \text{ kW/m}^2$ $\rightarrow R = 150 \text{ Mio km} \rightarrow A = 4\pi R^2 \rightarrow P = S \cdot A = 3,87 \cdot 10^{26} \text{ W}$

Reaktionsgleichung: $4p + 2e \rightarrow {}^4_2\text{He} + E$

Massenverlust: $\Delta m = 4 m_{\text{Proton}} + 2 m_{\text{Elektron}} - m_{\text{Atom}} = 5 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$;

Energiefreisetzung: $E = \Delta m c^2 = 4,5 \text{ pJ}$

Je H-Atom freigesetzte Energie: $E_1 = 1,1 \text{ pJ}$

Anzahl H-Atome: $N = M_{\text{Sonne}} / m_{\text{H}} = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg} / 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 1,2 \cdot 10^{57}$

Freisetzbare Bindungsenergie: $E_{\text{gesamt}} = N \cdot E_1 = 1,32 \cdot 10^{45} \text{ J}$

Brenndauer t: $P = E_{\text{gesamt}}/t \rightarrow t = E_{\text{gesamt}}/P = 3,4 \cdot 10^{18} \text{ s} = 1,1 \cdot 10^{11} \text{ a}$

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Thema der Unterrichtseinheit: Kernphysik

... Entdeckung der Größe des Atomkerns

Didaktik: Stundenlernziel: Die SuS sollen die Größe des Atomkerns nennen und experimentell begründen können.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Coulomb-Gesetz	Erläutern, Anwenden
LV: Kernladung	Erläutern, Berechnen
TLZ: Versuch	Beschreiben, Erklären
TLZ: Kernradius	Erläutern, Berechnen

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Entdeckenlassend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Einstieg:</u> Kernfusion	Einstiegsfolie	LSG
8	<u>Problemstellung:</u>	Leitfrage	LSG
15	<u>Analyse:</u> Ideen, Kernradius	Entwickeln	MuG, LSG
25	<u>Lösung 1:</u> DE	Erklären	SSG
50	<u>Lösung 2:</u> DE	Durchführen, Auswerten, themendifferenziert, AB	GA
65	<u>Sicherung:</u> s.u.	Ergebnis, Reflexion, Rückkopplung	SV
90	<u>Festigung:</u> Applet	Auch HA	PA

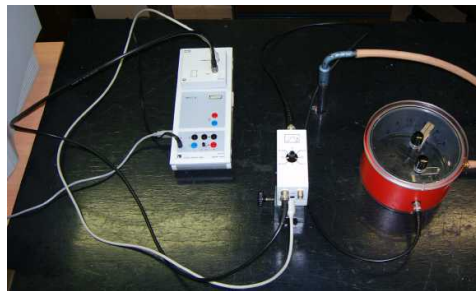
Geplanter TA

Können zwei Protonen mit 1 MeV fusionieren?

Ideen: Coulomb-Kraft, $E_{\text{pot}} = \frac{1}{4\pi \epsilon_0 r} \cdot e^2 \rightarrow r = ?$

Wie groß ist ein Atomkern?

Versuchsskizze: ...



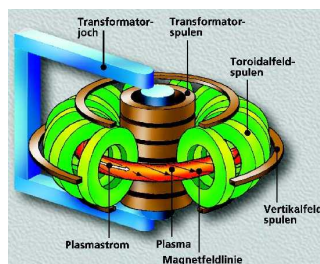
$$E_{\alpha} = 27 \text{ MeV} = E_{\text{pot}} = \frac{1}{4\pi \epsilon_0 r} \cdot 79 \cdot 2 \cdot e^2 \rightarrow r = \frac{1}{4\pi \epsilon_0 \cdot 27 \cdot \text{MeV}} \cdot 79 \cdot 2 \cdot e^2 = 8,4 \text{ fm}$$

Ergebnis: Der Durchmesser des Kerns eines Goldatoms ist 8,4 fm.

Info: Solche Streuveruche lieferten für ein Atom mit der Massenzahl A den Kernradius

$$R = 1,46 \text{ fm} \cdot A^{1/3}$$

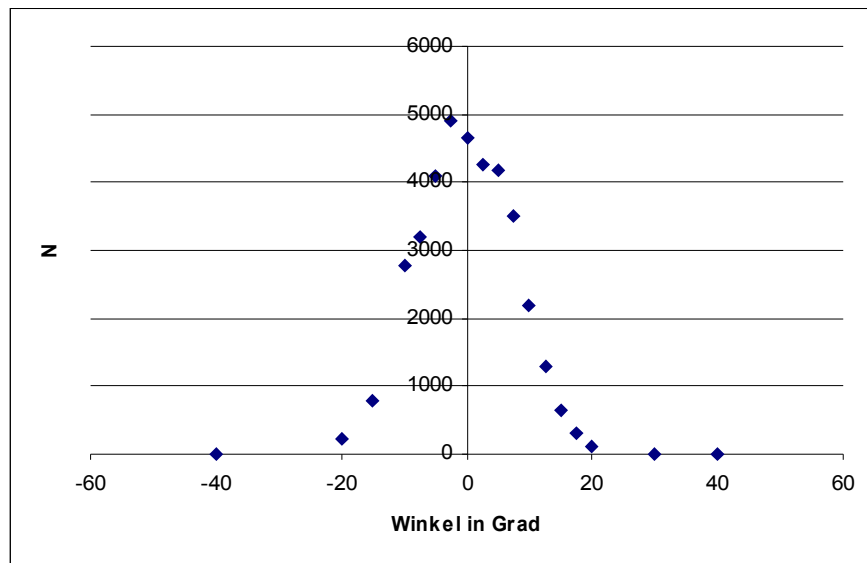
Einstiegsfolie:



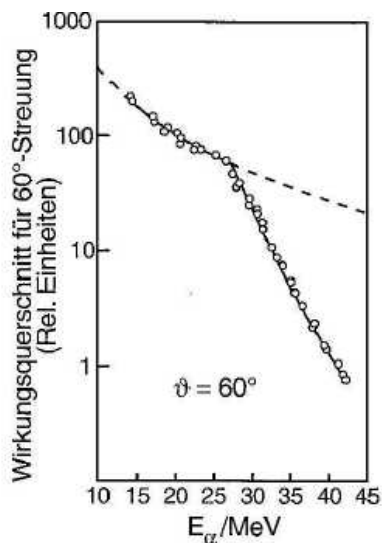
Größe von Atomkernen



Rutherford untersuchte 1911 die Streuung von α -Teilchen an einer Goldfolie.



Er stellte fest, dass die meisten α -Teilchen nur wenige Grad abgelenkt wurden, hier Versuchsergebnisse des Athenaeums. Er folgerte, dass Atomkerne sehr klein sind.



Beim Ablenkwinkel 60° werden α -Teilchen mit einer Energie über 27 MeV relativ wenig selten abgelenkt, man sagt der Wirkungsquerschnitt ist relativ klein. Rutherford deutete das so, dass α -Teilchen mit einer Energie über 27 MeV in den Atomkern eindringen können, während α -Teilchen mit einer Energie unter 27 MeV durch die elektrische Kraft abgestoßen werden, ohne den Atomkern zu erreichen. Berechnen Sie den Radius des Kerns von Goldatomen.

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Thema der Unterrichtseinheit: Kernphysik

... Entwicklung des Potentialtopfmodells

Didaktik: Stundenlernziel: Die SuS sollen das Modell erläutern und anwenden können.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Nuklidkarte	Erläutern, Anwenden
LV: Zerfälle	Erläutern
LV: Massendefekt & Bindungsenergie	Erläutern, Deuten
LV: Coulombkraft, lineares Potentialtopfmodell	Erläutern, Berechnen
TLZ: Entwicklung des Potentialtopfmodells	Erläutern, Berechnen
TLZ: Anwendungen, s. AB	Erklären

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Fragend erarbeitendes Lehrverfahren

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Einstieg:</u> Bindungsenergien	z. B. Zerfall	EA
9	<u>Entwicklung der Stundenfrage:</u>	Leitfrage	LSG
15	<u>Erarbeitung 1:</u> Ideen	Vorschlagen	MuG
25	<u>Erarbeitung 2:</u> Skizze	Entwickeln	LSG
50	<u>Erarbeitung 3:</u> Erklärungen	Anwenden, TD GA, AB	GA
70	<u>Sicherung:</u> s.u.	SV Ergebnis	SV
90	<u>Festigung:</u> Warum entstehen α -Teilchen beim natürlichen Zerfall?	AB 2	PA, SV

Geplanter TA:

Welche Form hat der Potentialtopf des Urans?

Ideen: Abstoßendes Coulomb-Potential, anziehende Kernkraft

Skizze, s. AB

Ergebnis: Im Kern ist $E_{\text{pot}} < 0$ aufgrund der anziehenden Kernkräfte. Für Protonen ist außerhalb des Kerns $E_{\text{pot}} > 0$ wegen der Coulombabstoßung.

Geplante Schülerfolien

Zu 1) Protonen haben zusätzlich zum negativen Kernpotential das positive Coulombpotential.

Zu 2) Das negative Kernpotential reicht nur bis zu den nächsten Nachbarnukleonen (wenige fm Reichweite). Dagegen reicht das Coulombpotential sehr weit. Bei vielen Protonen überwiegt daher die abstoßende Coulombenergie.

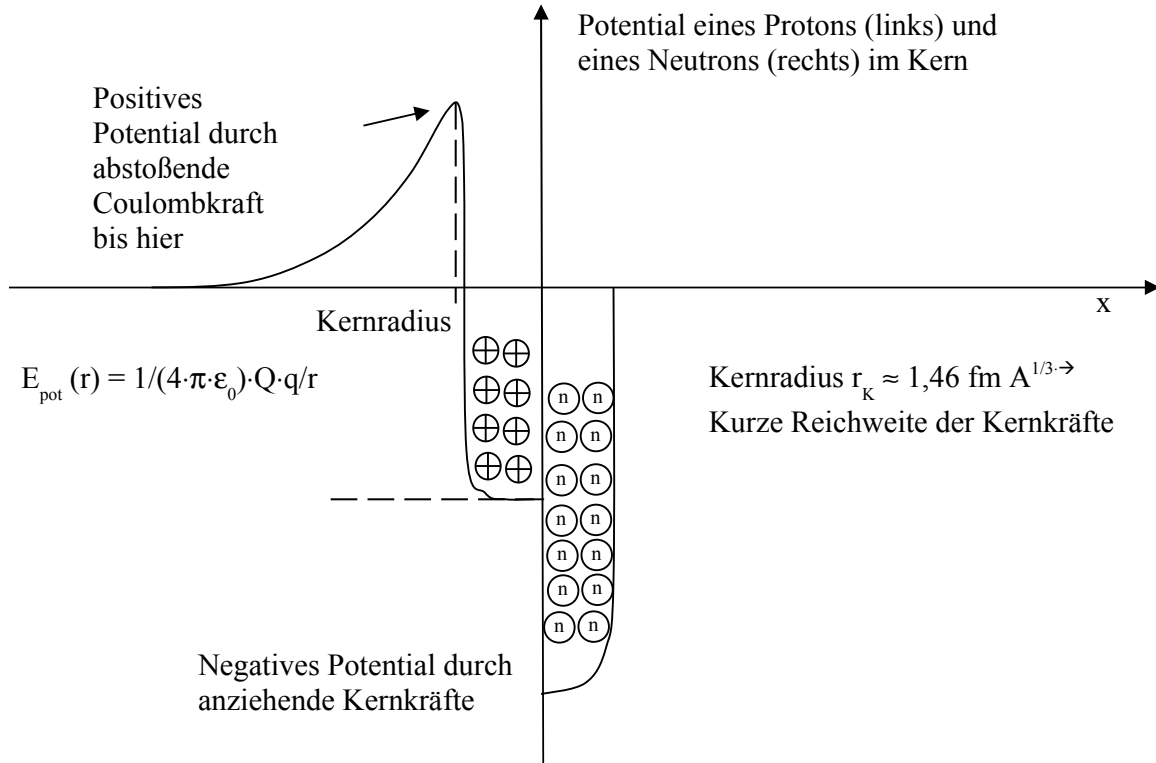
Zu 3) Bei kleinen Kernen führt ein hinzukommendes Nukleon zu einer Energieabsenkung bei allen Nukleonen, weil das negative Kernpotential überwiegt im Vergleich zum positiven Coulombpotential. Bei großen Kernen ist es umgekehrt. Dazwischen ist ein Optimum.

Zu 4) Beim β -Zerfall kann ein Neutron einen freien niederenergetischen Protonzustand durch Umwandlung erreichen. Beim β^+ -Zerfall kann ein Proton einen freien niederenergetischen Neutronzustand durch Umwandlung erreichen.

Zu 5) Im Potentialtopf der anziehenden Kernkraft bilden sich Nukleonenwellen. Übergänge können zur Abgabe hochenergetischer Photonen führen.

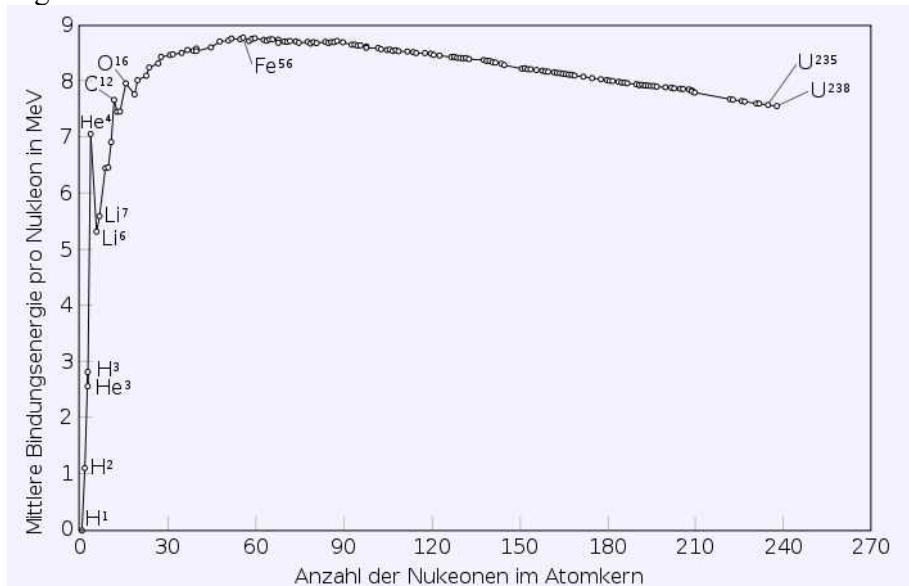
Zu 6) Bei Kernen mit gerader Massenzahl können die Zustände gemäß dem Pauliprinzip doppelt besetzt sein. Das kann zu einem niedrigen Energiezustand führen. Das entspricht einer hohen Bindungsenergie.

Zu 7) $r_K = 9\text{ fm}$; $L = 18\text{ fm}$; $\lambda = 36\text{ fm}$; $E = p^2/2m = h^2/(2 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27}\text{ kg} \cdot 36^2\text{ fm}^2) = 0,64\text{ MeV}$. Das entspricht typischen Energien im Kern.



Erklären Sie mit dem Modell:

1. Ein stabiler Kern hat in der Regel mehr Neutronen als Protonen.
2. Kerne mit sehr vielen Nukleonen werden instabil.
3. Kerne mittlerer Massenzahl haben eine hohe Bindungsenergie pro Nukleon (s. Abb.).
4. β -Zerfall und β^+ -Zerfall
5. In Kernen gibt es diskrete Energiezustände. Es gibt γ -Zerfall.
6. Kerne mit gerader Neutronenzahl und Ordnungszahl haben oft eine besonders hohe Bindungsenergie pro Nukleon (s. Abb.).
7. Berechnen Sie die kinetische Energie eines Neutrons im linearen Potentialtopf der Länge $2r_K$ für ^{238}U für die Grundschwingung und vergleichen Sie mit typischen Energien im Kern.



Kurzentwurf für eine Physikstunde

Thema der Unterrichtseinheit: Kernphysik

... Entdeckung des Tunneleffekts

Didaktik: Stundenlernziel: Die SuS können den Effekt erläutern und begründen.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Nuklidkarte, Zerfälle	Erläutern, Anwenden
LV: Potentialtopfmodell	Erläutern, Anwenden
LV: Coulombkraft, Bindungsenergie	Erläutern, Berechnen
TLZ: Bindungsenergieunterschied beim Am-Zerfall	Berechnen
TLZ: E_{pot} beim Am-Zerfall	Berechnen
TLZ: Kognitiver Konflikt	Erläutern
TLZ: E_{alpha}	Messen
TLZ: Tunneleffekt	Erläutern

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Entdeckenlassend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
	<u>Hinführung:</u> Alphastrahlung, HA	Schadenswirkung	EA
	<u>Problemstellung:</u> E_{alpha}	Leitfrage	LSG
	<u>Analyse:</u> Ideen	Vorschlagen	MuG
	<u>Lösung 1:</u> E_{pot} , E_{Bindung} , E_{beta}	Berechnen, TD	GA, SV
	<u>Lösung 2:</u> E_{alpha}	Messen, DE	SSG
	<u>Lösung 3:</u> Tunneleffekt		LV
	<u>Sicherung:</u> s.u.	Zusammenfassung	SV
	<u>Festigung:</u> $R_{\text{auftauchen}}$	Berechnen, AB	MuG

Warum ist α -Strahlung so gefährlich?

Vermutung: Alphateilchen des Alphazerfalls haben sehr große Energie. \checkmark

Welche Energie haben α -Teilchen beim α -Zerfall von ^{241}Am ?

Ideen: E_{kin} aus Kernradius & E_{Coulomb} , Massendefekt; $^{241}\text{Am} \rightarrow ^{237}\text{Np} + ^4\text{He}^{++}$

Vergleich mit β -Zerfall: $^{234}\text{Th} \rightarrow ^{234}\text{Pa}^+ + e^- = ^{234}\text{Pa}$; Messung

Ergebnisse: $E_{\text{kin}} = 20,82 \text{ MeV}$; $E_{\text{B}} = 5,648 \text{ MeV}$; $E_{\text{beta}} = 278 \text{ keV}$; $E_{\text{alpha}} = 5,48 \text{ MeV}$.

α -Teilchen sind u. a. wegen ihrer großen Energie besonders gefährlich.

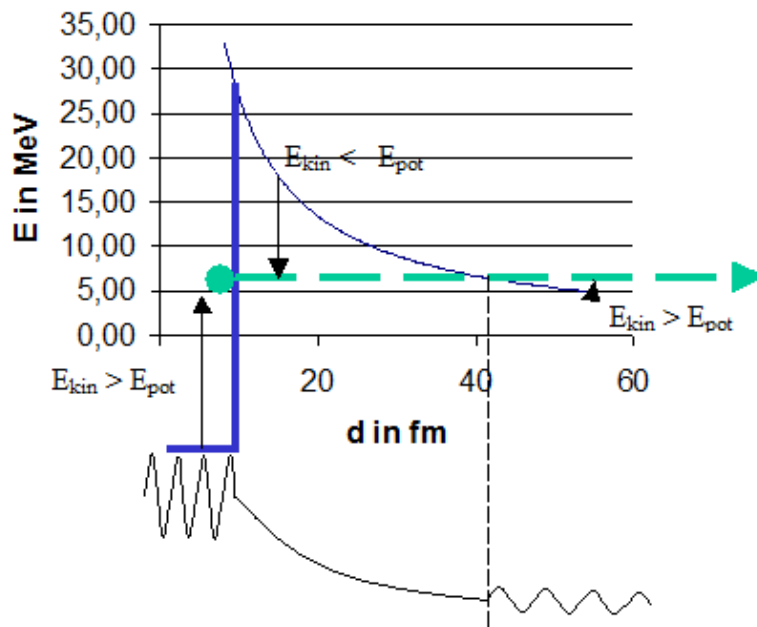
Deutung: Das α -Teilchen hat nur eine Energie von unter 5,648 MeV. Daher hat es nicht genug Energie um den Kernradius zu passieren. Aufgrund seiner Welleneigenschaft ist die Antreffwahrscheinlichkeit jenseits des Potentialwalls nicht null. Daher taucht es zufällig irgendwann jenseits des Potentialwalls auf. Dann tritt der Zerfall ein. Wegen des hohen Potentialwalls ist die Antreffwahrscheinlichkeit dahinter sehr gering und die Halbwertszeit sehr groß. Diese Erscheinung heißt Tunneleffekt.

Geplante Schülerfolien:

Zu 1) $\Delta m = m(^{241}\text{Am}) - [m(^{237}\text{Np}) + m(^4\text{He})] = 1,004 \cdot 10^{-29} \text{ kg} \rightarrow E = \Delta m \cdot c^2 = 5,648 \text{ MeV}$

Zu 2) $R_{\alpha} = 2,32 \text{ fm}$ und $R_{\text{Np}} = 9,03 \text{ fm} \rightarrow$ Das α -Teilchen löst sich vom Kern bei $d = 2,32 \text{ fm} + 1,5 \text{ fm} + 9,03 \text{ fm} = 12,85 \text{ fm} \rightarrow E_{\text{pot}}(12,85 \text{ fm}) = 1/(4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0) \cdot 93e \cdot 2e/d = 20,82 \text{ MeV}$

Zu 3) $\Delta m = m(^{234}\text{Th}) - m(^{234}\text{Pa}) = 4,943 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \rightarrow E = \Delta m \cdot c^2 = 278 \text{ keV}$



Arbeitsblatt, PH 12 eA, Dr. Carmesin

2010

Warum ist α -Strahlung so gefährlich?

Beispiel: $^{241}\text{Am} \rightarrow ^{237}\text{Np} + ^4\text{He}^{++}$



Americium



Neptunium

Teillösung 1: Bestimmen Sie die Bindungsenergie

$$m(^{241}\text{Am}) = 241,0568229\text{u}$$

$$m(^{237}\text{Np}) = 237,0481734\text{u}$$

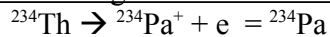
$$m(^4\text{He}) = 4,00260325415\text{u}$$

$$u = 1,660\,538\,782 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Teillösung 2: Bestimmen Sie die kinetische Energie aus dem Coulombpotential

$$\text{Kernradien: } R = 1,46 \text{ fm} \cdot A^{1/3}$$

Teillösung 3: Bestimmen Sie die Bindungsenergie eines typischen β -Zerfalls



$$m(^{234}\text{Th}) = 234,0436\text{u}$$

$$m(^{234}\text{Pa}) = 234,0433023\text{u}$$

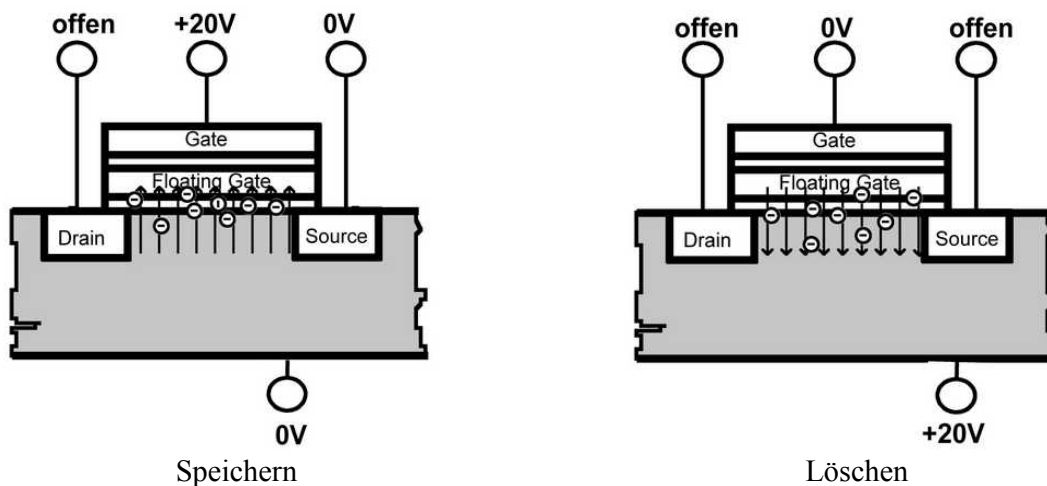


Der Weihnachtsmann hat ein neues Handy mit einem riesigen Flashspeicher. Er hat gehört, dass der Flashspeicher mit dem Tunneleffekt funktioniert, genau wie der Alphazerfall.

Er hat schon eine Erläuterung zum Flash-Speicher:

Flash-Speicherzellen sind nichtflüchtige Speicherzellen. Die einzelne Speicherzelle ähnelt einem MOS-Transistor. Zusätzlich ist zwischen dem Steuergate (Gate) und dem Leitungskanal eine elektrisch isolierte Halbleiterschicht, das Floating Gate eingebracht. Im spannungslosen Zustand des Speicherchips behält die Speicherzelle ihre Information in Form einer elektrischen Ladung auf diesem Floating Gate. Durch Einbringen bzw. Entfernen der Ladung kann der Transistor ein- bzw. ausgeschaltet werden.

Um den Speicherinhalt einer Zelle auszulesen, wird an das Gate des "MOS-Transistors" eine positive Spannung angelegt. Der dann zwischen dem Drain- und dem Sourceanschluss fließende Strom wird gemessen und führt nach seiner Auswertung zur Festlegung des digitalen High oder Low Pegels.



Aber er würde gerne so ein schönes Potentialmodell haben, wie beim Alphazerfall, und darin das Speichern und das Löschen darstellen, mit den hübschen Wellenfunktionen und Antreffwahrscheinlichkeiten. Können Sie ihm da weiterhelfen?

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Thema der Unterrichtseinheit: Kernphysik

... Nachweis von Cäsium in Pilzen durch Gammaskopie

Didaktik: Stundenlernziel: Die SuS sollen den Nachweis erklären und anwenden können.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Nuklidkarte	Erläutern, Anwenden
LV: Gammazerfall	Erläutern
LV: Kernreaktionen	Erläutern, Deuten
LV: Szintillationszähler	Erläutern
TLZ: Nachweisverfahren für ^{137}Cs	Entwickeln, Erläutern, Begründen, Anwenden

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Problemlösen

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Einstieg:</u> Pilzverstrahlung	Einstiegsfolie, Infoblatt	LV
10	<u>Problemstellung:</u>	SuS fassen zusammen → Leitfrage	LSG
20	<u>Analyse:</u> Ideen, Vermutung, Szintillationszähler	TA	MuG
27	<u>Lösung:</u> Kernreaktion, Szintillationszähler	DE, Nachweis	LSG
45	<u>Festigung:</u> AB	EA	EA

Geplanter TA:

Wie kann man Cäsium 137 nachweisen?

Ideen: Spektroskopie, welcher Zerfall, Chemie

Vermutung: Mit dem Szintillationszähler kann man die Energie der Gammastrahlung messen und so ^{137}Cs identifizieren.

Beobachtung: Wir können mit Hilfe des Gammaskopie Beispielsweise ^{241}Am von ^{137}Cs unterscheiden.

Ergebnis: Cäsium 137 wird anhand seines Gammaskopie nachgewiesen.

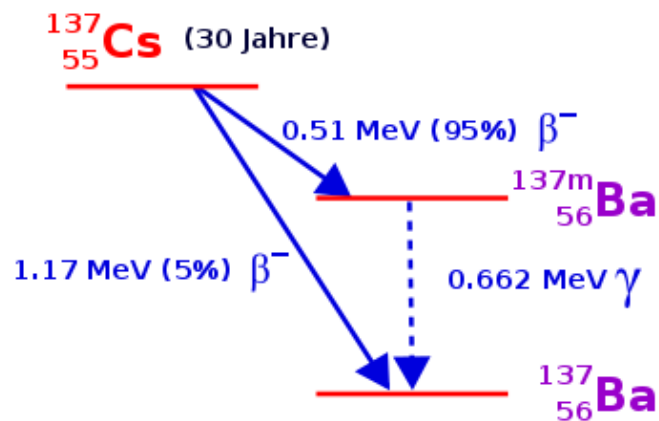


Pilze und Wildbret im süddeutschen Raum noch immer mit Cs-137 belastet

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) weist darauf hin, dass bestimmte Pilzarten und Wild in einigen Gegenden Deutschlands durch die Reaktorkatastrophe in Tschernobyl noch immer hoch belastet sind. In Deutschland ist es zwar nicht erlaubt, Lebensmittel mit einem Radiocäsiumgehalt von mehr als 600 Becquerel pro Kilogramm in den Handel zu bringen, für den Eigenverzehr gilt diese Beschränkung jedoch nicht.

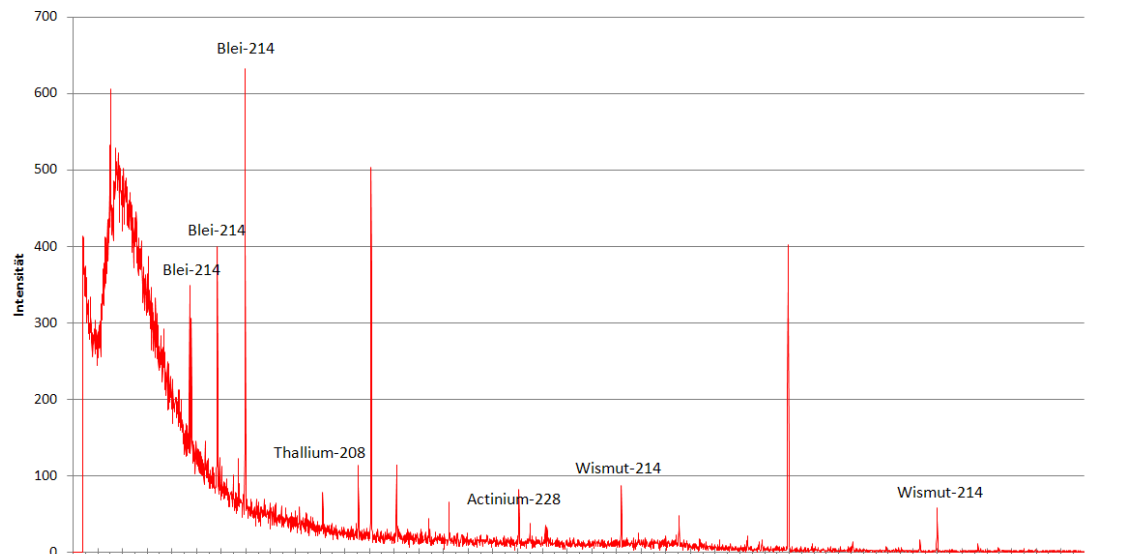
(Bundesamt für Strahlenschutz 23.11.2010.

http://www.bfs.de/de/ion/nahrungsmittel/pilze_wildbret.html)





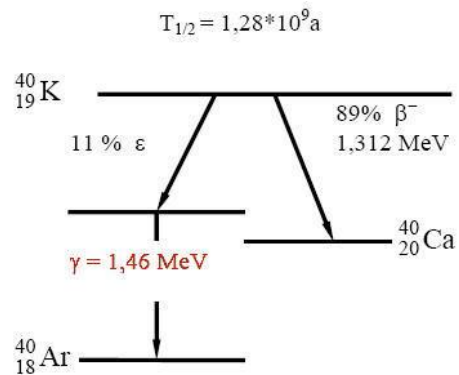
Gamma-Spektrum am Messpunkt xxx, 2008



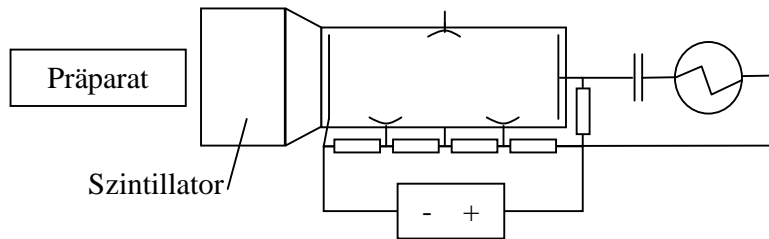
Das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie hat in Situ-Messungen mit einem Gammaskop durchgeföhrt. (Quelle: Kurzadresse zu der Seite: <http://www.hlug.de/?id=6282>)

- 1) Untersuchen Sie, ob ^{137}Cs festgestellt wurde.
- 2) Ordnen Sie den höchsten Maxima die Kernreaktionen zu.

Hinweis:

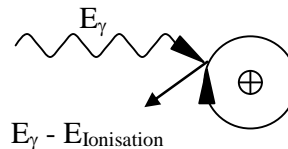


Funktionsweise des Szintillationszählers

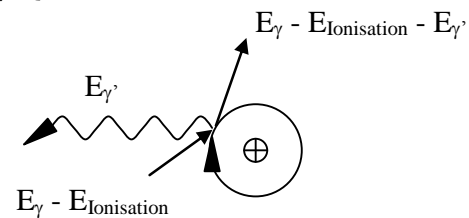


1. Im Szintillator stattfindende Prozesse

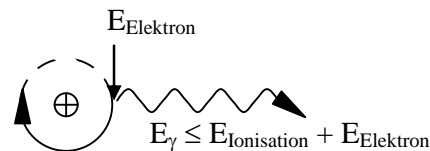
Fotoeffekt: Das γ -Quant ionisiert ein Atom



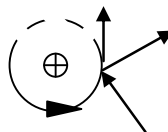
Bremsstrahlung: Das freigesetzte Elektron erzeugt ein γ -Quant



Rekombination: Das Ionisierte Atom wird neutralisiert



Herausgestoßenes Elektron:



Kaskade: Ein γ -Quant wandelt sich durch die 3 Prozesse in einen Lichtblitz.

2. Erzeugung von Primärelektronen durch Fotoeffekt an der negativen Elektrode

3. Elektronenvervielfacher

3. Proportionalitäten

Energie des γ -Quants

\propto Anzahl der Lichtquanten

\propto Anzahl ausgelöster Primärelektronen

\propto Anzahl der Sekundärelektronen

\propto Ladung

\propto angezeigten Maximalspannung: Ein γ -Quant ergibt einen Puls am Oszilloskop

Erläutern Sie die Funktionsweise des Szintillationszählers.

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Thema der Unterrichtseinheit: Kernphysik

... Entdeckung der Paarvernichtung

Didaktik: SLZ: Die SuS sollen die Paarvernichtung begründen können.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Nuklidkarte	Erläutern, Anwenden
LV: Gammazerfall	Erläutern
LV: Kernreaktionen	Erläutern, Deuten
LV: Szintillationszähler	Erläutern
LV: $E=mc^2$	Anwenden
LV: Ladungserhaltung	Anwenden
LV: Impulserhaltung	Anwenden
TLZ: Zerfallsreaktion für ^{22}Na	Entwickeln, Erläutern, Begründen, Anwenden
TLZ: Energie des 511keV-Maximums	Bestimmen
TLZ: Umwandlung Elektron in E_γ	Begründen durch E_γ
TLZ: Umwandlung von e^- und e^+	Begründen durch Ladungserhaltung
TLZ: Umwandlung in 2 E_γ	Begründen durch Impulserhaltung und Koinzidenzmessung

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Problemlösen

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Einstieg:</u> Medizin, Marker	Einstiegsfolie, Infoblatt	LV
10	<u>Problemstellung:</u>	SuS fassen zusammen \rightarrow Leitfrage	LSG
30	<u>Analyse:</u> Ideen, Kernreaktion, E_γ	TA, AB	MuG, GA
60	<u>Lösung:</u> Vermutungen, Kontrollversuch, Ergebnis, Bezeichnung	Vermuten, Entwickeln Planen Lehrerinfo	MuG, LSG
65	<u>Sicherung:</u>	Zusammenfassen	LSG
90	<u>Festigung:</u> AB2	PA	PA

Geplanter TA:

Woher kommt das große Maximum im Gammaskpektrum von Na-22?

Ideen: Kernreaktion, $E=m \cdot c^2$



$$E = 1273\text{keV} \cdot 2170/5400 = 512 \text{ keV} \rightarrow m = 512 \text{ keV}/c^2 = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} = m_e$$

Vermutungen: Das Positron wird in ein Gammaquant mit 512keV umgewandelt.

Ladungserhaltung $\rightarrow e^+ + e^- \rightarrow 2 E_\gamma (512 \text{ keV})$

Die beiden Gammaquanten fliegen wegen der Impulserhaltung in entgegengesetzte Richtungen.

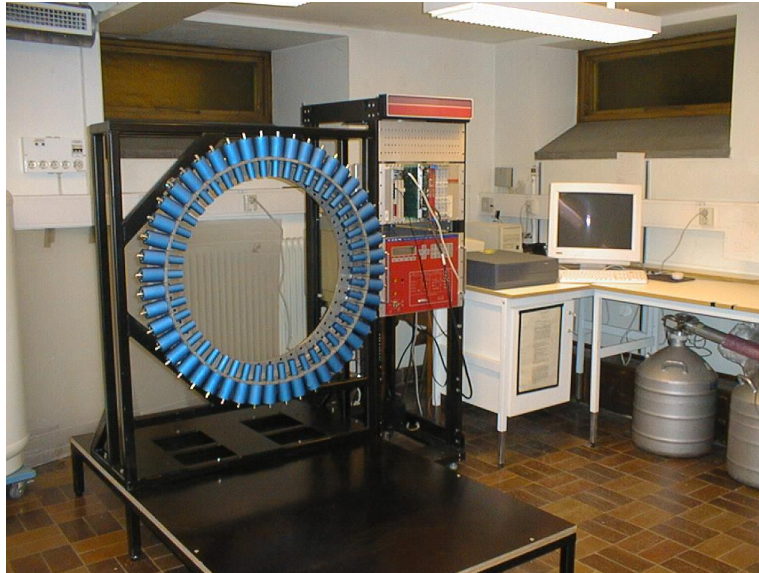
Kontrollversuch: Beobachtung gegenüberliegender Szintillationszähler:

Diese zeigen praktisch gleichzeitig 512 keV an.

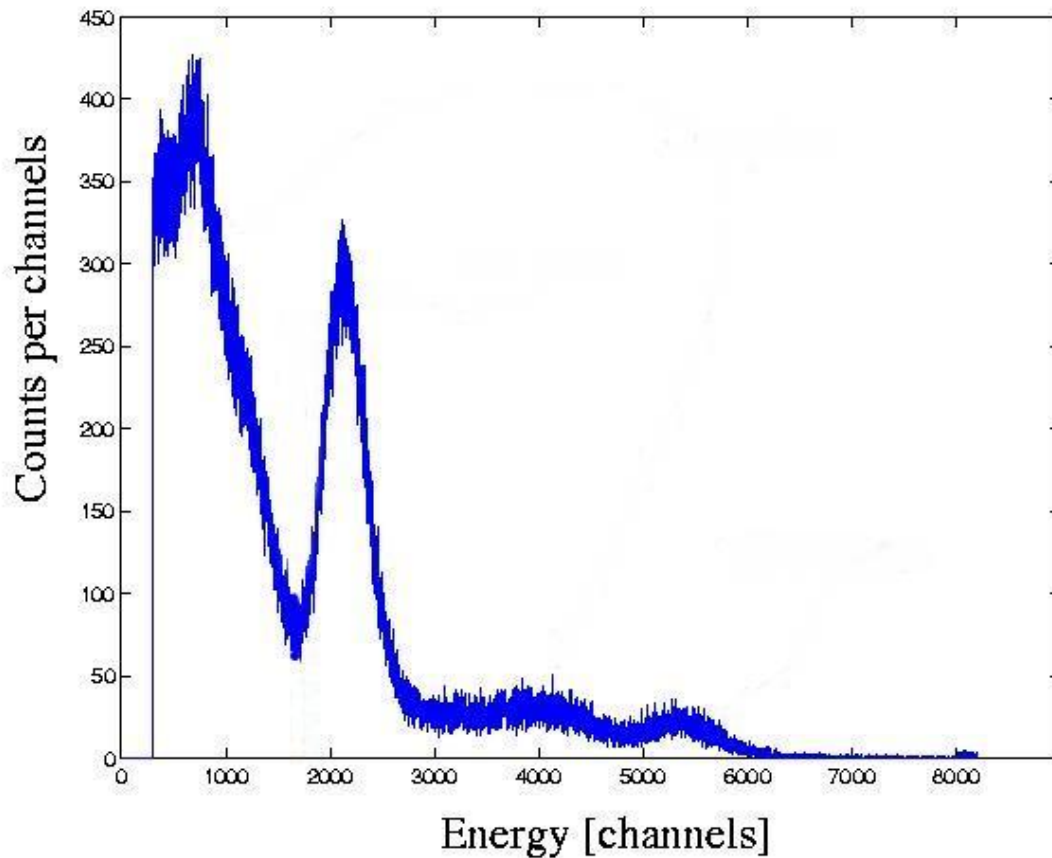
Bezeichnung: Die Umwandlung eines Positrons und eines Elektrons in zwei Gammaquanten mit je 512 keV heißt Paarvernichtung. In der Medizin werden nach diesem Prinzip Schnittbilder erzeugt, das Verfahren heißt Positronen-Emissions-Tomographie, kurz PET.

Ergebnis: Das Maximum entsteht durch die Gammaquanten der Paarvernichtung des Positrons, das beim β^+ -Zerfall entsteht, mit einem Elektron.

Der Marker ^{22}Na in der Medizin



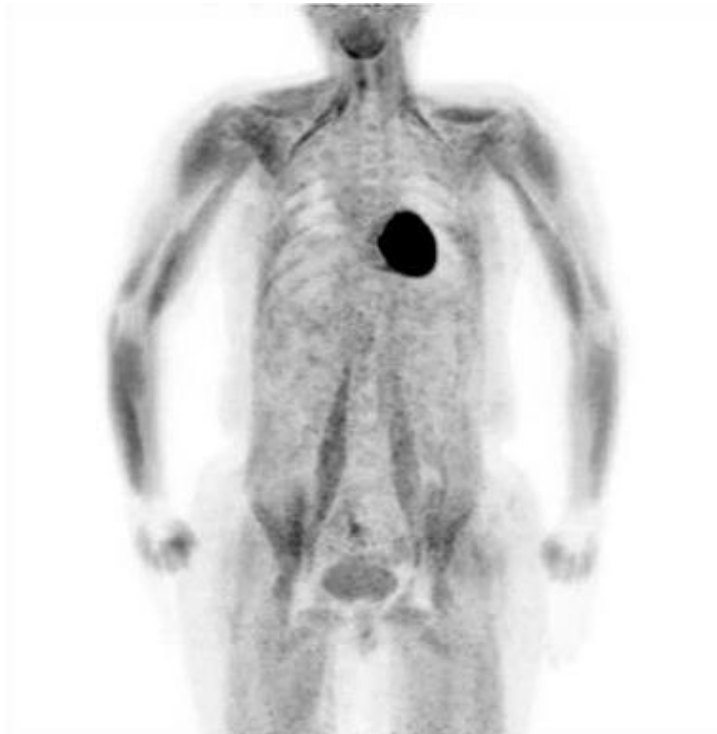
Ortsbestimmung durch Ring von Szintillationszählern



Gammapektrum: 1273 keV bei Kanal 5400; Maximum bei Kanal 2170.

- 1) Bei der PET werden hauptsächlich die Nuklide ^{15}O und ^{18}F eingesetzt.
 - a) Bestimmen Sie die Reaktionen.
 - b) Erörtern Sie Vor- und Nachteile dieser beiden Nuklide gegenüber ^{22}Na .

- 2) Ein Patient liegt in einem Ring aus Szintillationszählern und erhielt den Marker F-18. Zwei Detektoren befinden sich bei A(0|0|0) sowie bei B(0|0|1m). A fängt ein Photon 0,5 ns vor B auf.
 - a) Bestimmen Sie den Ort, an dem ^{18}F zerfallen ist!
 - b) Erläutern Sie, wie man mit dem Ring aus Szintillationszählern ein Schnittbild erzeugen kann.
 - c) Erläutern Sie anhand des Bildes unten, dass und warum man mit einem PET gut biologische Aktivitäten erfassen kann.



Darstellung der Muskelaktivität durch einen PET-Scan.

(Quelle: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=>

Datei:PET_physiologic_muscle_activity.jpg&filetimestamp=20100310072610)

4 Aufgaben

1. Analysieren Sie die vorgeschlagene Stunde zum *Nachweis radioaktiver Strahlen* bezüglich der Anforderungsbereiche.
2. Analysieren Sie mögliche Lernschwierigkeiten zu der Stunde zum *Nachweis radioaktiver Strahlen* und schlagen Sie Lernhilfen vor.
3. Analysieren Sie mögliche Kompetenzerlebnisse, die die SuS bei der Stunde zum *Nachweis radioaktiver Strahlen* erfahren können.
4. Skizzieren Sie eine Konzeptkarte, welche die SuS am Ende der UE entwerfen können sollten.
5. Analysieren Sie, welche Modelle in der UE behandelt werden.
6. Analysieren Sie, welche Anwendungen, Naturerscheinungen und lebensweltlichen Bezüge in der UE behandelt werden.
7. Analysieren Sie, inwieweit die UE auf die vorhergehenden UEs der Kursstufe aufbaut.
8. Erläutern Sie das breite Spektrum an lebensweltlichen kernphysikalischen Fragen anhand der Beispiele zum Wasser in der Asse und zu Lehmhäusern, s. u.

Wohin mit der Asse-Lauge?

Bundesamt für Strahlenschutz sucht neue Deponie für Salzwasser aus marodem Atommülllager

HANNOVER. Rund 126 000 Fässer mit Atommüll liegen im maroden Bergwerk Asse. Seit Januar 2010 arbeiten Experten des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) an einem Plan zur Rückholung. Doch nicht nur der Atommüll stellt das BfS vor Herausforderungen. Auch die Entsorgung des Salzwassers ist alles andere als einfach.

Täglich dringen knapp 12 000 Liter salzhaltiges Grundwasser aus dem Deckgebirge in die mehr als 100 Jahre alte Schachtanlage ein. Seit 2005 wird das Wasser in das stillgelegte Bergwerk Mariagluck bei Celle gepumpt – pro Jahr rund 4000 Kubikmeter. Nach Angaben des dortigen Betreibers, des Düngemittelherstellers K+S, wird dies aber in weniger als zwei Jahren

nicht mehr möglich sein.

„Nach unserem Abschlussbetriebsplan gehen wir davon aus, dass Mariagluck Ende 2013 geflutet sein wird“, sagt K+S-Sprecher Ulrich Göbel. Derzeit stehe noch ein Flutungsvolumen von rund 1,7 Millionen Kubikmetern an. Den Löwenanteil liefert das Flüsschen Aschau, je nach Pegelstand zwischen 600 000 und 800 000 Kubikmeter pro Jahr.

Das verantwortliche BfS ist sich des Problems bewusst. Denn derzeit ist Mariagluck die einzige Möglichkeit, das Salzwasser aus der Asse zu entsorgen. Eine andere Entsorgung – etwa in Flüsse, Seen oder das Meer – ist rechtlich nicht zulässig. Obwohl die gesammelte Salzlauge nach Angaben des BfS mit weniger als zehn

Becquerel Tritium pro Liter kaum radioaktiv belastet ist, ist die Entsorgung somit alles andere als einfach.

„Es handelt sich dabei nicht um radioaktiv kontaminiertes Salzwasser“, betont BfS-Sprecher Werner Nording. Doch alleine die Erwähnung der Asse sorge bei vielen Menschen für Ablehnung. „Wir informieren deshalb nüchtern und sachlich darüber, dass die Salzwässer aus der Asse unbelastet sind.“

Welche Alternativen im Gespräch sind, will das BfS nicht sagen. Die Behörde hofft aber, dass Mariagluck noch länger als Auffangbecken fungieren kann. Der 2005 abgeschlossene Vertrag mit K+S läuft noch bis Januar 2013 – eine Verlängerung und damit die

weitere Abnahme des Salzwassers wäre die einfachste Lösung.

Hinter den Kulissen suchen Mitarbeiter von BfS-Präsident Wolfram König bundesweit alle Wege, um Salzwasser sachgerecht zu behandeln oder zu entsorgen. Nicht zuletzt aus Kosten- und Logistikgründen wäre eine niedersächsische Lösung zu bevorzugen.

Nach Angaben des Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie befinden sich zur Zeit neben Mariagluck noch zwei weitere Steinsalz- und Kalibergwerke in Flutung. Zum einen das nur wenige Kilometer entfernte Bergwerk Niedersachsen Riedel und zum anderen das südwestlich von Hannover gelegene Bergwerk Bergmannsseggen Hugo. (dpa)

Quelle: Stader Tageblatt 5.3.2012

Radioaktivitätsparameter der EU-Trinkwasserrichtlinie und der Trinkwasserverordnung

Die im Jahr 2001 auf der Grundlage der Europäischen Trinkwasserrichtlinie [3] novellierte Trinkwasserverordnung – TrinkwV 2001 [4] regelt auch den Gehalt von radioaktiven Stoffen im Trinkwasser. Hierbei handelt es sich um die Festlegung von Indikatorparametern für die Tritium-Konzentration in Höhe von 100 Bq/l (Becquerel pro Liter) und der Gesamtrichtdosis (als Ingestionsdosis) in Höhe von 0,1 mSv/a, die durch Aufnahme radioaktiver Nuklide

mit dem Trinkwasser nicht überschritten werden dürfen. Tritium, das in der Atmosphäre unter der Einwirkung von Höhenstrahlung gebildet wird, gelangt über Austauschprozesse ins Regen- und damit auch in Grund- und Trinkwasser.

Zur Ermittlung der Gesamtrichtdosis gemäß EU-Trinkwasserrichtlinie und Trinkwasserverordnung sind alle künstlichen und natürlichen Radionuklide

Quelle: Allinger, Thomas; Ehret, Volker. Hingmann, Hans: Einfluss natürlicher Radionuklide im Trinkwasser auf die Ingestionsdosis – Untersuchungen in Hessen – Jahresbericht 2006. URL: http://www.hlug.de/fileadmin/dokumente/das_hlug/jahresbericht/2006/jb2006_081-085_allinger_et_al.pdf. Download 5.3.2012.

2. Maximal zulässige Aktivitätskonzentration im Wasser, das aus Strahlenschutzbereichen in Abwasserkanäle eingeleitet wird
- 2.1 Ingestion
- Die Aktivität des Radionuklids i im Jahresdurchschnitt im Kubikmeter Wasser darf
- 2.1.1 für Abwassermengen $\leq 10(\text{hoch})^5 \text{ cbm a}(\text{hoch})^{-1}$ nicht höher sein als das Zehnfache der jeweiligen Werte der Tabelle 4 Spalte 3 oder Tabelle 6 Spalte 4 oder
- 2.1.2 für Abwassermengen $> 10(\text{hoch})^5 \text{ cbm a}(\text{hoch})^{-1}$ nicht höher sein als die jeweiligen Werte der Tabelle 4 Spalte 3 oder Tabelle 6 Spalte 4.

Tabelle 4				
Aktivitätskonzentration $C(\text{tief})_i$ aus Strahlenschutzbereichen (zu Anlage VII Teil D Nr. 1.1 und 2)				
Radionuklid	$C(\text{tief})_i$			
	in der Luft	in Bq/cbm		im Wasser
		in Bq/cbm		in Bq/cbm
1	2	3	4	
H-3	A	1 E+2	1 E+7	
H-3	O		7 E+6	

Quelle: Strahlenschutzverordnung. BGBl I 2001, 1714, (2002, 1459)

Textnachweis ab: 1.8.2001 (+++ Stand: Zuletzt geändert durch Art. 2 § 3 Abs. 31 G v. 1.9.2005 I 2618 +++)

- 1) Erläutern Sie Tritium und 1 Becquerel.
- 2) Beurteilen Sie das Wasser aus der Asse anhand der Grenzwerte mit Hilfe von Prozentsätzen.

Kurzentwurf für eine Physikstunde**Thema der Unterrichtseinheit: Kernphysik**

...

Entdeckung der Zerfallsreihen

Didaktik: KUZ: Die SuS können Kernreaktionen und Zerfallsreihen mit der Nuklidkarte bestimmen und bewerten.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Radioaktivität von Radon	Erläutern
LV: Kernreaktion	Erläutern
DS: Radon und Thoron in Räumen	Erklären
DS: Zerfallsreihen und Kernreaktionen	Bestimmen und Darstellen
DS: HWZ und Gesundheit	Bewerten

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Problemlösend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Einstieg:</u> Radon- und Thorongefahr	Infoblatt, Zusammenfassung	LSG
7	<u>Problemstellung:</u>	Leitfrage	LSG
20	<u>Analyse:</u> Ideen, Nuklidkarte	Buch	MuG
30	<u>Lösung:</u> Zerfallsreihen, Kernreaktionen		GA
55	<u>Sicherung:</u> „	Erklären, Deuten, Bewerten	SV
	<u>Reserven, Festigung:</u> weitere Zerfallsreihen		LSG/EA

Geplanter TA

Wie kommen Radon und Thoron in Wohnräume und worin besteht die Gefahr?

Ideen: Thoron ist ^{220}Rn , der Kern besteht aus 86 Protonen und 220 Nukleonen.

Radon ist ^{222}Rn , der Kern besteht aus 86 Protonen und 222 Nukleonen.

Beide Isotope des Radons sind instabil und entstehen ständig aus Uran oder Thorium

Überprüfung:

Zerfallsreihen, Kernreaktionen, HWZen

Gesundheitsgefahr: Einatmen und Zerfälle im Körper

Ergebnisse: Das Radonisotop ^{222}Rn entsteht durch natürlichen Zerfall von metastabilem Uran.

Das Radonisotop ^{220}Rn entsteht durch natürlichen Zerfall von metastabilem Thorium.

^{222}Rn ist besonders gefährlich, weil es mit der langen HWZ von 3,8 d lange in der Luft ist.

^{220}Rn schien lange weniger gefährlich, weil es schneller zerfällt und daher kürzer in der Luft ist. Aber die radioaktiven Zerfallsprodukte sind länger in der Luft, die sie Halbwertszeiten von vielen Minuten haben. Das wird erst seit kurzem erforscht.

Infoblatt, PH 12 eA, Dr. Carmesin

2016

Erforschung der Zusammenhänge zwischen dem Baustoff Lehm und erhöhten Thoron-Konzentrationen

Dem natürlichen Baustoff Lehm werden viele positive Eigenschaften zugeschrieben. Die Arbeitsgruppe Experimentelle Radioökologie am Institut für Strahlenschutz des Helmholtz Zentrums München untersucht allerdings im Moment, ob sich Lehm auch negativ auf die Gesundheit auswirken kann: In verschiedenen Lehmbauten in China und einem alten Fachwerkhaus in Deutschland entdeckten sie hohe Konzentrationen an Thoron.

„Thoron tritt in der Zerfallsreihe des weltweit im Boden vorkommenden Schwermetalls Thorium auf. Es besitzt eine Halbwertszeit von nur 56 Sekunden (bei Radon sind es 3,8 Tage) und kann als Edelgas innerhalb weniger Minuten aus dem Boden oder dem Baumaterial in die Raumluft eintreten. Dort zerfällt es über mehrere metallische Zerfallsprodukte, wobei auch Alphastrahlung emittiert wird. Wie beim Radon trägt das Gas selbst kaum zur Strahlendosis bei. Werden aber die Zerfallsprodukte inhaled, die sich an das Innenraumaerosol anlagern oder Wassercluster bilden, ist es genau die von ihnen ausgehende Alphastrahlung, die in den Atemwegen eine signifikante Strahlendosis verursachen kann.“ (Auszug aus dem Forschungsbericht *Thoron und Radon in Innenräumen* des Instituts für Strahlenschutz am Helmholtz Zentrum München)

Quelle: Baunetz: Erforschung der Zusammenhänge zwischen dem Baustoff Lehm und erhöhten Thoron-Konzentrationen.

http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Gesund-Bauen-Radioaktive-Strahlung-in-Lehmbauten_2565029.html (Heruntergeladen 2016).

5 Zusammenfassung

Bei dieser UE können die SuS entdecken, was die Welt im Innersten zusammenhält, beispielsweise die Kernkräfte mit ihren Bindungsenergien. Auch können sie die solare Kernreaktionen als Grundlage unseres Lebens genauer verstehen und viele lebensweltliche nukleare Phänomene erkunden. Dabei können die SuS vielseitige Versuche durchführen, Vorgänge im Mikrokosmos mit Applets modellhaft veranschaulichen und handelnd erleben [UniversityColorado \(2009\)](#) und ihr gesamtes Kursstufenwissen einsetzen. Ich wünsche Ihnen mit Ihren SuS eine spannende Reise in den Mikrokosmos.

Literatur

- [Audi u. a. 2003] AUDI, G. ; WAPSTRA, A.H. ; THIBAUT, C.: Atomic Mass Adjustment. In: *Nuclear Physics A 729* (2003), S. 337–769
- [Beime u. a. 2012] BEIME, Christa ; HOPPE, Petra ; HUMMES, Klaus-Peter ; VÖPEL, Karl-Heinz ; VOSS, Christine ; ZEMANN, Winfried: *Kerncurriculum für die Integrierte Gesamtschule, Schuljahrgänge 5 - 10, Naturwissenschaften, Niedersachsen*. Hannover : Niedersächsisches Kultusministerium, 2012
- [Brüning u. a. 2010] BRÜNING, Thomas ; DÖTZER, Susanne ; ELSASSER, Wolfgang ; HEIKE, Christina ; JÜTTNER, Horst ; MICHALSKI, Regina ; MOORKAMP, Michael ; SUTTMAYER, Beate: *Rahmenrichtlinien für das Fach Naturwissenschaft in der Klasse 12 der Fachoberschule, Niedersachsen*. Hannover : Niedersächsisches Kultusministerium, 2010
- [Carmesin u. a. 2020] CARMESIN, Hans-Otto ; EMSE, Anneke ; PIEHLER, M. ; PRÖHL, Inka K. ; SALZMANN, Wiebke ; WITTE, Lutz: *Universum Physik Sekundarstufe II Niedersachsen Qualifikationsphase*. Berlin : Cornelsen Verlag, 2020
- [Carmesin u. a. 2015] CARMESIN, Hans-Otto ; KAHLE, Jens ; KONRAD, Ulf ; PRÖHL, Inka ; TRUMME, Torsten ; WITTE, Lutz ; HAGEDORN, Andreas: *Universum Physik 9/10*. Berlin : Cornelsen, 2015
- [Frenzel 2017] FRENZEL, Michael u. a.: *Kerncurriculum für das Gymnasium - gymnasiale Oberstufe, die Gesamtschule - gymnasiale Oberstufe, das Fachgymnasium, das Abendgymnasium, das Kolleg, Physik, Niedersachsen*. Hannover : Niedersächsisches Kultusministerium, 2017
- [Gehmann 2015] GEHMANN, Kurt u. a.: *Kerncurriculum für das Gymnasium, Schuljahrgänge 5 - 10, Naturwissenschaften, Niedersachsen*. Hannover : Niedersächsisches Kultusministerium, 2015
- [UniversityColorado 2009] UNIVERSITYCOLORADO: *Interactive Simulations*. University of Colorado at Boulder, Download 2009. <http://www.phet,colorado.edu>. Version: 2009