Inhaltsverzeichnis

Sicherheit
§6 der Strahlenschutzverordnung 2

Allgemeines
Geschichte 3
Was ist Strahlung? 4
Was ist Radioaktivität? 4
Elektromagnetische Strahlung 5
Übersicht: α-, β- und γ-Strahlung 6
Der Betazerfall 7

Geräte und Präparate
Der Digitalzähler 8
Das Geiger-Müller-Zählrohr 9
Diätsalz 10
Kalium 11
Der Radiumstrahlerstift 12
Der U-238/Pa-234m-Isotopengenerator 13

Auch gut zu wissen…
Die Lorentzkraft 14
Magnetfelder 15
Streuung 16
Normierung von Messreihen 17
Halbwertszeit 18
Natürliche Zerfallsreihen 20

Glossar

§6 der Strahlenschutzverordnung

1. Wer radioaktive Materialien erwirbt, verwahrt oder mit ihnen umgeht, ist verpflichtet, jede unnötige Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt zu vermeiden.

2. Wer radioaktive Materialien erwirbt, verwahrt oder mit ihnen umgeht, ist verpflichtet, jede Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalls auch unterhalb der Grenzwerte so gering wie möglich zu halten.

Geschichte

1895 Entdeckung der Röntgenstrahlung durch W.C. Röntgen

1896 Henri Becquerel beobachtet, dass Uransalz Strahlung emittiert unabhängig von der Sonne.

ab 1896 Marie und Pierre Curie untersuchen alle bekannten Elemente und stellen fest, dass nur Thorium ähnliche Strahlung wie Uran emittiert. Marie Curie gibt diesem Phänomen den Namen Radioaktivität.

1898 Die Curies vermuten die Existenz noch unbekannter, stärker radioaktiver Elemente und entdecken daraufhin Polonium und Radium.

1898 Rutherford weißt unterschiedliche Strahlungsarten bei Uran nach, die er Alpha- und Betastrahlung nennt.

1900 Villard entdeckt eine weitere Strahlenart, die Gammastrahlung, die in ihren Eigenschaften der Röntgenstrahlung entspricht.

1903 Marie und Pierre Curie sowie Henri Becquerel erhalten Nobelpreise für ihre Arbeiten zur Radioaktivität.

1908 Rutherford erhält den Nobelpreis für Chemie und weist noch im gleichen Jahr nach, dass Alphateilchen doppelt positiv geladene Heliumkerne sind.

1911 Marie Curie erhält den Nobelpreis für Chemie für die Entdeckung der radioaktiven Elemente Polonium und Radium.

1911 Nach Streuversuchen an einer dünnen Goldfolie entwickelt Rutherford ein Atommodell: Um einen Kern im Zentrum des Atoms, in dem sich fast die gesamte Masse befindet, kreisen die negativ geladenen Elektronen.

1913 Niels Bohr erweitert das Atommodell zum Bohr‘schen Atommodell.

Was ist Strahlung?

Strahlung ist eine Energieform, die sich als elektromagnetische Welle oder als Teilchenstrom durch Raum und Materie ausbreitet.

Dabei haben Wärme-, Radio-, IR-Strahlung, sichtbares Licht, UV-, Röntgen- und auch Gammastrahlung die gleiche grundsätzliche physikalische Natur: sie gehören alle zu den elektromagnetischen Wellen. Sie unterscheiden sich jedoch in ihren Wellenlängen und somit in ihren Energien, was zur Folge hat, dass Unterschiede in den Wirkungen auf Materie zu beobachten sind.

Teilchenstrahlungsarten (wie z. B. Alpha- und Beta-Strahlung oder auch Neutronenstrahlung) unterscheiden sich dagegen in der Teilchenmasse und Energie, was sich letztendlich auch wieder in der Wechselwirkung der Strahlung mit Materie zeigt.

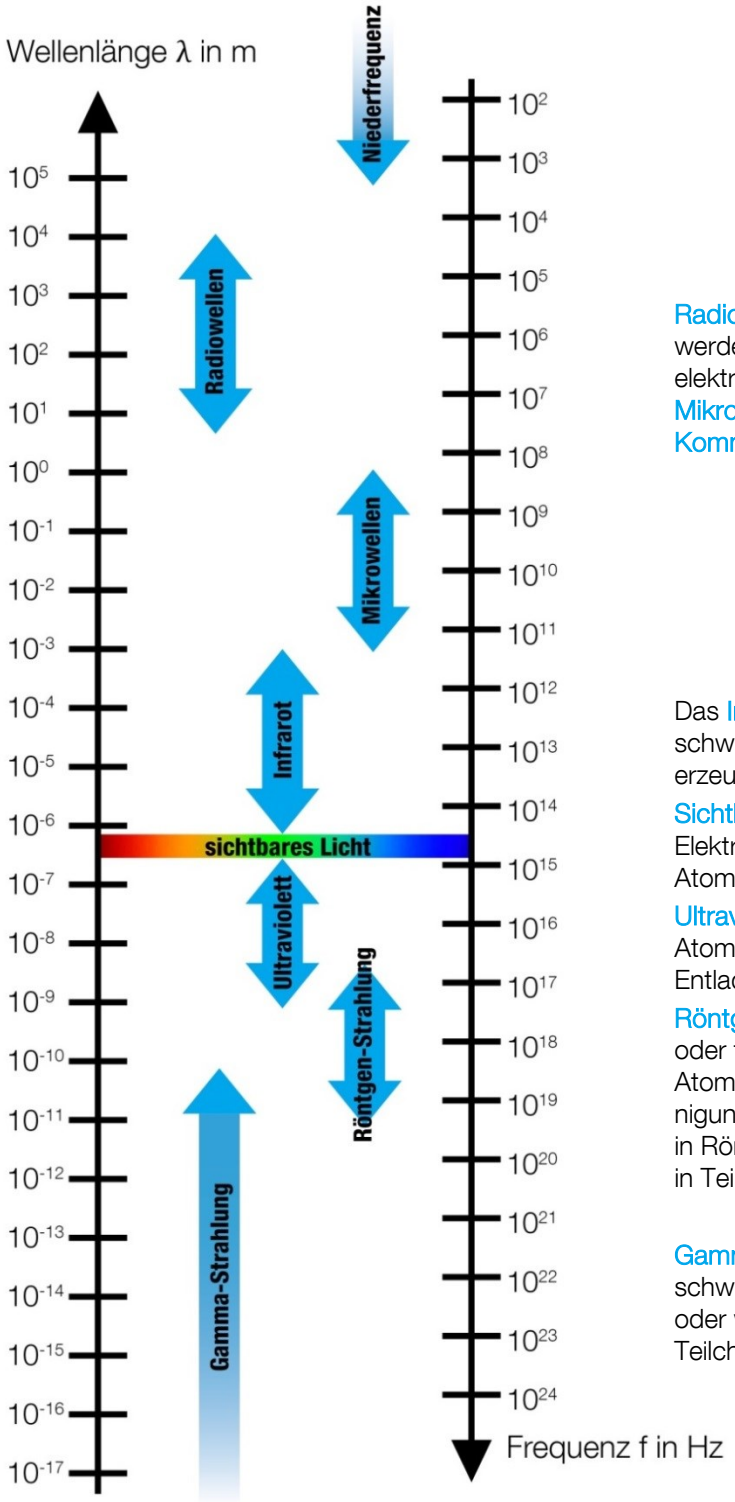
Man teilt die Strahlungsarten entsprechend ihrer Wirkung auf Atome und Moleküle in *nicht ionisierende* und *ionisierende* Strahlung ein.

Was ist Radioaktivität?

Radioaktivität ist eine natürliche Eigenschaft einiger Atome. Beim radioaktiven Zerfall instabiler Atomkerne handelt es sich um eine Kernumwandlung, bei der ionisierende Strahlung freigesetzt wird. Der Begriff ionisierende Strahlung umfasst unterschiedliche Strahlungsarten, sowohl Teilchen- als auch elektromagnetische Strahlung. Sie besitzt die Eigenschaft, Atome zu ionisieren. Die wichtigsten Arten der von Atomen ausgesandten ionisierenden Strahlungen sind Alpha-, Beta- und Gammastrahlung.

Auch Röntgenstrahlen sind – wie Gammastrahlen – eine Form von elektromagnetischer Strahlung ohne Masse oder Ladung (Photonen). Sie werden in einem speziellen Gerät (Röntgenanlage, Beschleuniger) durch Beschuss einer Elektrode mit beschleunigten Elektronen erzeugt und entstehen nicht bei der Umwandlung eines Atomkerns.

Elektromagnetische Strahlung



Radiowellen für Funk und Fernsehen werden durch Schwingkreise elektronisch erzeugt, genauso wie die Mikrowellen, Radar und andere Kommunikationssysteme.

Das Infrarotspektrum wird durch schwingende Moleküle und Atome erzeugt (Wärmestrahlung).

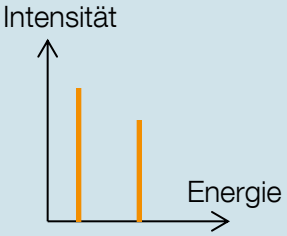
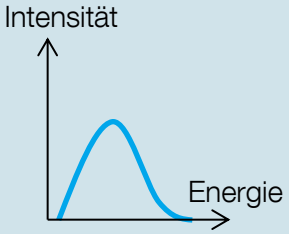
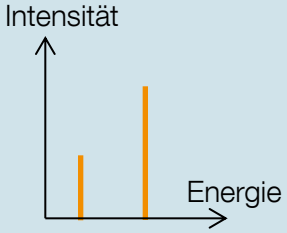
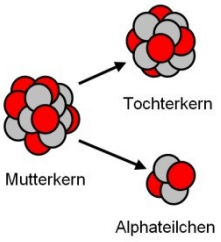
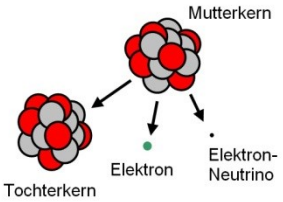
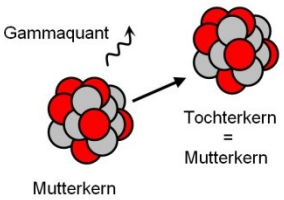
Sichtbares Licht entsteht bei Elektronenübergängen in der äußeren Atomhülle.

Ultraviolette Strahlen werden von Atomen und Molekülen in elektrischen Entladungen erzeugt.

Röntgenstrahlen werden von inneren oder fest gebundenen Elektronen in Atomen erzeugt oder durch Beschleunigung und Abbremsung von Elektronen in Röntgenröhren (Bremsstrahlung) oder in Teilchenbeschleunigern wie bei DESY.

Gammastrahlen folgen aus Kernschwingungen beim radioaktiven Zerfall oder werden wie die Röntgenstrahlen in Teilchenbeschleunigern erzeugt.

Übersicht: α-, β- und γ-Strahlung

	α-Strahlung	β^--Strahlung	γ-Strahlung
Identität	Heliumkerne	Elektronen	Elektromagnetische Strahlung
Entstehung	Zwei Neutronen und zwei Protonen bilden ein α-Teilchen, das aus dem Kern emittiert wird.	1 Neutron wandelt sich in 1 Proton um. Dabei entstehen außerdem ein Elektron und ein Neutrino, die beide emittiert werden.	Ein angeregter Kern geht in einen niederenergetischeren Zustand über und gibt dabei Energie in Form eines γ-Quants ab.
Beispiel	${}^{226}_{88}\mathrm{Ra} \rightarrow {}^{222}_{86}\mathrm{Ra} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$	${}^{137}_{55}\mathrm{Cs} \rightarrow {}^{137}_{56}\mathrm{Ba} + e^- + \bar{\nu}_e$	${}^{218}_{84}\mathrm{Po} \rightarrow {}^{218}_{84}\mathrm{Po} + \gamma$
Geschwindigkeit	ca. 0,10 c	ca. 0,90 c	c
elektrische Ladung	+2e	-1e	keine
spezifisches Ionisationsvermögen	sehr hoch	mäßig	gering
Reichweite in Luft	einige Zentimeter	einige Dezimeter	einige Meter
Abschirmung möglich durch	1 Blatt Papier	ca. 4 mm Aluminium	ca. 20 cm Blei
Energiespektrum	diskret 	kontinuierlich 	diskret 
Grafische Darstellung			

Der Betazerfall

Beim Betazerfall wird aus dem Kern eines Radionuklids ein Elektron herausgeschleudert. Das Elektron entsteht, wenn sich im Kern ein Neutron (n) in ein Proton (p), ein Elektron (e^-) und ein Anti-Elektronneutrino ($\bar{\nu}_e$) umwandelt. In diesem Fall spricht man auch von einem **β^--Zerfall**.

Beispiel für einen Betastrahler

Cäsium-137 wandelt sich unter Aussendung eines Elektrons in Barium-137 um.

$$^{137}_{55}\mathrm{Cs} \rightarrow {}^{137}_{56}\mathrm{Ba} + e^- + \bar{\nu}_e$$

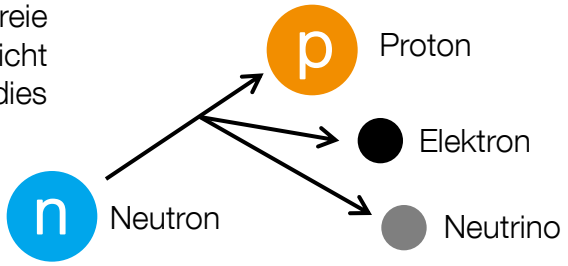
Es gibt jedoch noch eine andere Variante des Betazerfalls: Wenn sich im Kern ein Proton in ein Neutron, ein Positron (e^+) und ein Elektronneutrino (ν_e) umwandelt, spricht man von einem **β^+-Zerfall**.

Da nach dem Aussenden eines Betateilchens der Kern ein Proton mehr bzw. weniger besitzt, muss auch die Kernladungszahl des neu entstandenen Elements um eins höher bzw. niedriger liegen. Die Gesamtanzahl der Kernteilchen bleibt aber unverändert.

Freie Neutronen und Protonen

Freie Neutronen zerfallen ebenfalls auf die oben beschriebene Art und Weise. Sie haben eine mittlere Lebensdauer von etwa 15 Minuten, bevor sie sich unter Aussendung eines Elektrons und eines Neutrinos in ein Proton umwandeln.

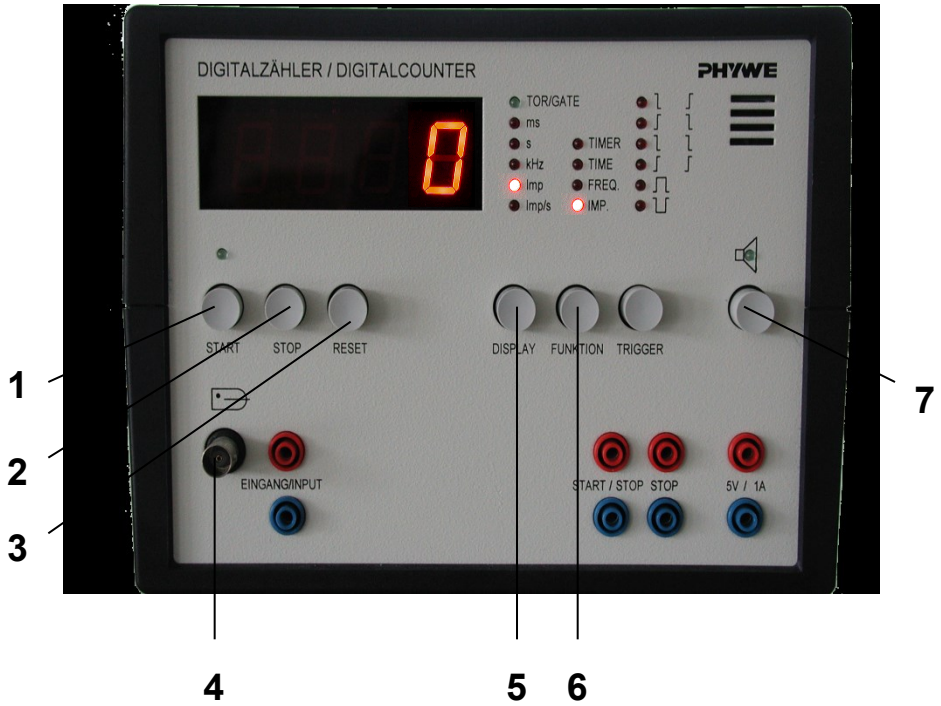
Anders als die Neutronen sind freie Protonen stabil und können sich nicht in Neutronen umwandeln, da dies energetisch ungünstig für sie wäre.



Neutrinos – die Geisterteilchen

Neutrinos sind Elementarteilchen, die keine elektrische Ladung und eine verschwindend kleine Masse besitzen. Wenn sie überhaupt mal mit anderer Materie wechselwirken, dann geschieht dies in der Regel über die sogenannte schwache Kernkraft. Das macht ihren Nachweis natürlich sehr schwierig! Man braucht einen möglichst großen Detektor und sehr viel Geduld.

Der Digitalzähler

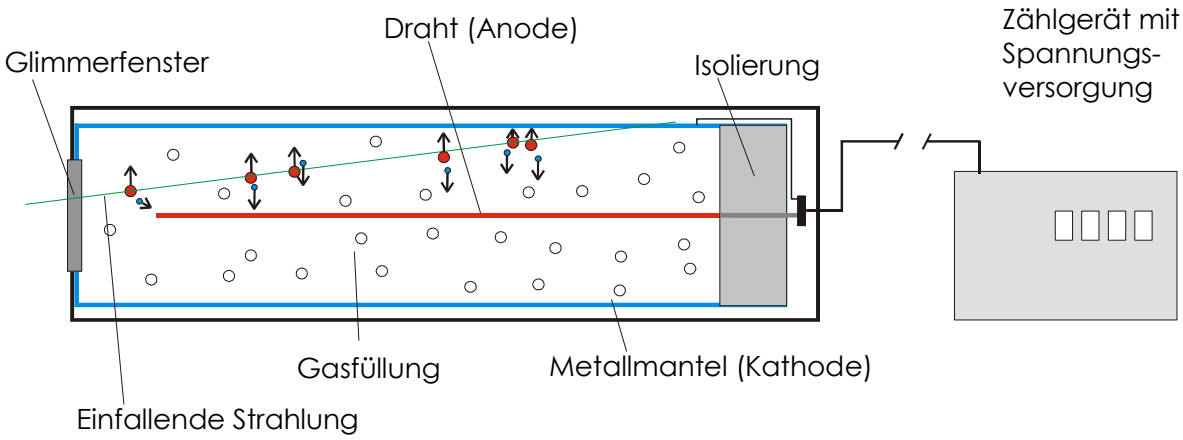


Die wichtigsten Funktions- und Bedienelemente des Digitalzählers:

1. Taste START zum Starten einer Messung. Die Anzeige wird dabei automatisch auf 0 zurückgesetzt.
2. Taste STOP zum Beenden einer Messung.
3. Taste RESET zum Zurücksetzen der Einstellung auf die Anfangswerte. Sie muss auch gedrückt werden, wenn der Zählbereich überschritten wurde.
4. BNC-Buchse, der Zählrohranschluss.
5. Taste DISPLAY hält bei laufender Messung den zum Zeitpunkt des Drückens gültigen Messwert fest ohne die Messung zu unterbrechen. Nochmaliges Drücken setzt die Messwertausgabe fort. Außerdem lassen sich über diese Taste feste Torzeiten einstellen.
6. Taste FUNKTION zur Auswahl der Betriebsart. Für diesen Praktikumstag muss die Betriebsart IMP eingestellt werden.
7. Taste LAUTSPRECHER schaltet den internen Lautsprecher ein und aus.

Das Geiger-Müller-Zählrohr

Der Geiger-Müller-Zähler ist das am häufigsten verwendete Gerät zum Nachweis ionisierender Strahlung. Es wurde 1928 entwickelt und besteht aus einem mit Gas gefüllten Rohr, in dessen Mitte ein Draht gespannt ist. Zwischen Rohrwand (-) und Draht (+) liegt eine hohe Spannung. Dazwischengeschaltet ist die Anzeige-Elektronik. Als Gase verwendet man bei dem hier benutzten Zählrohr die Edelgase Argon und Neon mit einem Halogen als Löschgas.



Fliegt z. B. ein Betateilchen durch das Rohr, stößt es mit den Gasatomen zusammen. Dabei werden Elektronen aus den Gasatomen herausgeschlagen. Es entstehen positiv geladene Gasatome (Ionen) und freie Elektronen. Im elektrischen Feld des Zählrohrs wandern die Elektronen zum positiven Draht und ionisieren dabei weitere Gasatome. Die positiv geladenen Gasionen bewegen sich zur Rohrwand. Dadurch verändert sich die Spannung zwischen Rohrwand und Draht. Das dazwischengeschaltete Messinstrument registriert diese Spannungs-änderung.

Diätsalz

Diätsalz wird bei einer vorzugsweise natriumarmen Ernährung als Ersatzmittel für normales Speisesalz verwendet – beispielsweise bei Bluthochdruck oder bei Nierenerkrankungen. Erhältlich ist es in Drogerien, Apotheken oder auch in Supermärkten.

Während normales Kochsalz aus Natriumchlorid besteht, enthält Diätsalz neben einem verringerten Anteil an Natriumchlorid vor allem Bestandteile wie Kaliumchlorid oder Kalzium- und Magnesiumsalze. Organische Säuren wie Weinsäure, Adipinsäure, Glutaminsäure, Zitronensäure oder andere Säuren, können ebenfalls enthalten sein.

Industriell hergestellte Lebensmittel, die Diätsalze enthalten, müssen entsprechend gekennzeichnet sein.

Geschmacklich unterscheidet sich der Salzersatz insofern von normalem Speisesalz, als dass es einen leicht metallischen und teilweise bitteren Beigeschmack aufweist. Für die bittere Note sorgen Magnesium- und Kaliumchlorid ab einem Anteil von etwa 25 Prozent. Kalziumchlorid hingegen ruft ein eher seifenartiges Aroma hervor.

Folgende Bestandteile enthält das im Praktikum verwendete Diätsalz:

Kaliumchlorid 84%, Geschmacksverstärker: Calciumdiglutamat und Glutaminsäure; Trennmittel: Siliciumoxid.

Kalium

Kalium (K) ist ein biologisch sehr interessantes Element. Es ist ein wichtiger Nährstoff für Pflanzen und in vielen Düngemitteln enthalten. Das Wort Kalium stammt von dem arabischen Wort *Kali* für Pflanzenasche. Englisch heißt Kalium *Potassium* vom Wort Pottasche, weil man früher Kaliumkarbonat in Töpfen („Pötten“) aus verbrannten Pflanzen herstellte.

Elementares Kalium verbrennt dramatisch im Chemieunterricht, wenn es mit Wasser in Berührung kommt. Als positives Ion ist es aber sehr gut wasserlöslich. In menschlichen Körper regeln K^+-Ionen gemeinsam mit Na^+-Ionen die elektrische Spannung der Nervenzellen. Jeder erwachsene Mensch hat deshalb etwa 140 g Kalium in seinem Körper. Jeden Tag nimmt man etwa 3 g neu mit der Nahrung auf und scheidet etwa genauso viel mit dem Urin wieder aus. Die Unterschiede im Kaliumgehalt verschiedener Nahrungsmittel gleicht der Körper aus.

Das natürliche Kalium ist ein Gemisch aus drei Isotopen:

Isotop	Nukleonen	Häufigkeit	Stabilität
^{39}K	19 Protonen 20 Neutronen	93,26 %	stabil
^{40}K	19 Protonen 21 Neutronen	0,01 %	Etwa 90 % der ^{40}K-Kerne durchlaufen irgendwann einen β^--Zerfall und können dann ein Elektron maximal 5 mm weit in das Gewebe schießen. Dabei wandeln sie sich in ^{40}Ca-Kerne um. Die anderen 10 % wandeln sich durch Elektroneneinfang in ^{40}Ar-Kerne um. Die Halbwertszeit von ^{40}K beträgt 1,3 Milliarden Jahre.
^{41}K	19 Protonen 22 Neutronen	6,73 %	stabil

In 1 kg Kalium zerfallen pro Sekunde 30 346 ^{40}K-Kerne! In einem menschlichen Körper sind es etwa 4000 pro Sekunde. Diese Radioaktivität (4 kBq) verursacht über 80 % unserer inneren Strahlenbelastung!

Der Radiumstrahlerstift

Der Radiumstrahlerstift emittiert α-, β- und γ-Strahlen. An der Spitze befindet sich ein in Metall eingewalztes Radiumsalz, das vollkommen dicht umschlossen ist. Radium ist ein α-Strahler, aber die Folgeprodukte, die dabei entstehen, senden auch die anderen Strahlenarten aus.

Auf dem Glas, in dem der Strahlerstift aufbewahrt wird, ist die Aktivität mit 3,3 kBq angegeben (also 3300 Zerfälle pro Sekunde). Dies bezieht sich jedoch nur auf die Ausgangssubstanz – die Strahlung der Zerfallsprodukte kommt noch dazu, sodass die Aktivität insgesamt etwa doppelt so hoch ist.

Beim Umgang mit dem Strahlerstift ist besondere Sorgfalt geboten. Er wird euch an den Tisch gebracht und bleibt dort auch, bis er von einem „physik.begreifen“-Mitarbeiter wieder abgeholt wird.

Denkt an die Sicherheitsmaßnahmen: Ihr solltet den Bereich bis 30 cm vor dem Strahlenaustritt möglichst meiden und natürlich nicht in den Strahlenaustritt hineinsehen oder den Strahler auf andere Personen richten! Wenn ihr gerade keine Messung durchführt, stellt den Stift bitte wieder in das Glas zurück.

Der U-238/Pa-234m-Isotopengenerator

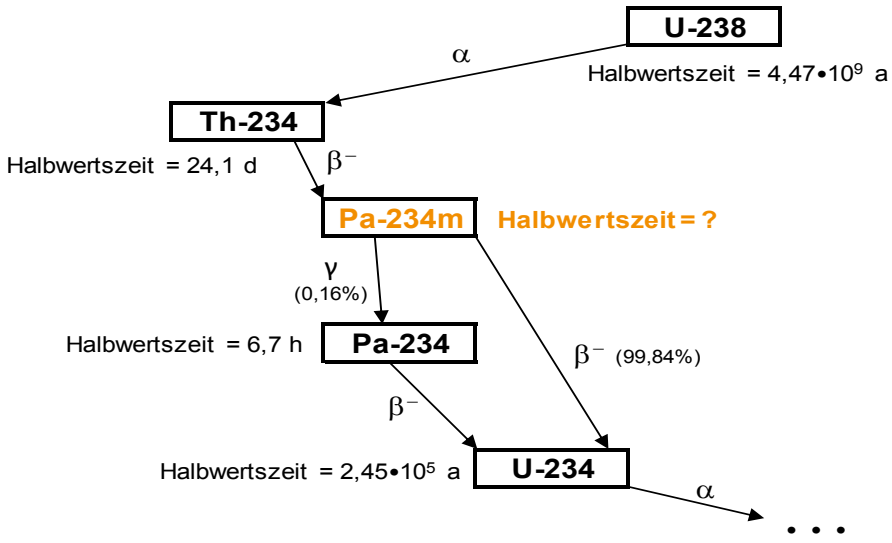
Protactinium (Pa-234m) hat eine derart kurze Halbwertszeit, dass man es nicht lagern kann. Stattdessen verwendet man eine spezielle Einrichtung – den Isotopengenerator – um das Protactinium ständig neu zu erzeugen.

Protactinium-234m ist ein Zerfallsprodukt von Uran-238. Im unteren Teil des Behälters befindet sich deshalb eine wässrige Lösung mit den verschiedenen Nukliden der Uran-238-Zerfallsreihe.

Die zweite Funktion des Isotopengenerators ist es, das Protactinium zu isolieren. Im oberen Teil befindet sich dazu eine organische Flüssigkeit (Keton), die sich mit der schwereren, wässrigen Uranlösung nicht verbindet. Protactinium-234m löst sich dagegen sehr gut in der organischen Flüssigkeit.

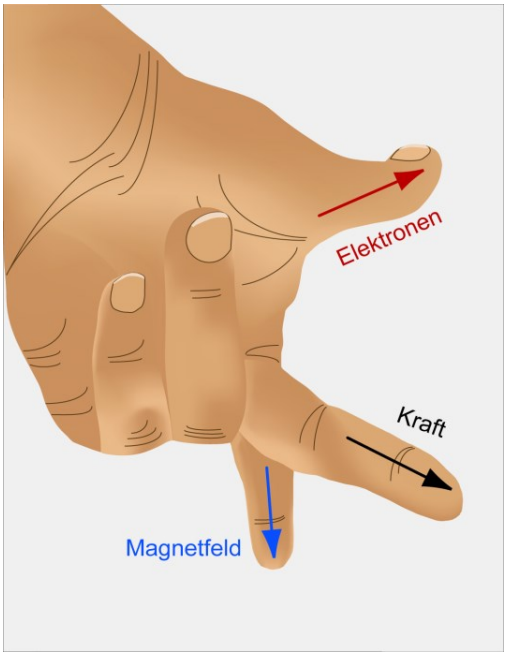
Durch kräftiges Schütteln vermischen sich zunächst alle Flüssigkeiten; das Protactinium löst sich im Keton und steigt, wenn sich die Flüssigkeiten wieder entmischen, mit ihm nach oben. Dieser Vorgang dauert etwa 90 Sekunden. Erst dann kann eine Messreihe zum Abklingen der Aktivität aufgenommen werden.

Ausschnitt aus der Zerfallsreihe von Uran-238



Die Lorentzkraft

Elektrische Ströme erzeugen Magnetfelder. Dadurch ist der Bau von Elektromagneten möglich. Aber auch umgekehrt beeinflussen Magnetfelder bewegte elektrische Ladungen.



Wenn Elektronen durch ein Magnetfeld fliegen, wirkt eine Kraft auf sie, die sie aus der Ausbreitungsrichtung ablenkt: die Lorentzkraft. Die Richtungsänderung erfolgt senkrecht zur ursprünglichen Bewegungsrichtung und senkrecht zu den magnetischen Feldlinien!

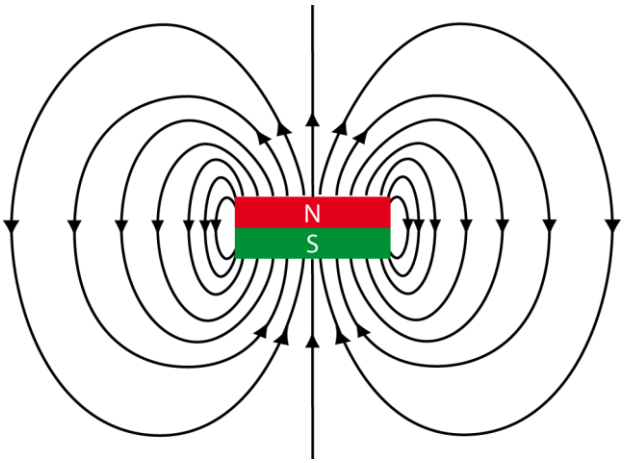
Die Richtung der Ablenkung lässt sich mit der „Linke-Hand“-Regel bestimmen. Wenn dabei der Daumen in die Bewegungsrichtung der Elektronen zeigt und der Zeigefinger in die Richtung der Magnetfeldlinien, gibt der Mittelfinger die Richtung der sich daraus ergebenden Kraft an.

In der Natur lässt sich die Wirkung der Lorentzkraft in klaren Nächten am Himmel beobachten: das sogenannte Polarlicht, das infolge der Form des Erdmagnetfelds auftritt. Speicherringe wie bei DESY oder am CERN wären ohne die Lorentzkraft außerdem nicht möglich, da auch dort die Elektronen und Protonen durch Magnetfelder auf ihren Kreisbahnen gehalten werden.

Magnetfelder

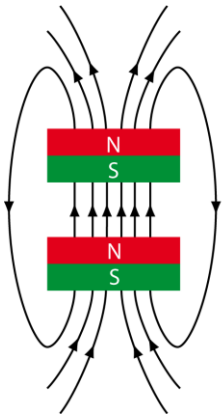
Magnetfeld eines Magneten

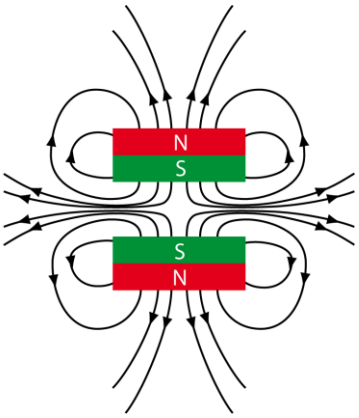
Um die Auswirkung von Magneten auf elektrisch geladene Teilchen zu verstehen, hilft es, die Magnetfeldlinien zu betrachten. Entlang der Magnetfeldlinien richten sich z. B. Kompassnadeln aus. Bei einem einzelnen Magneten treten die Linien am Nordpol aus und verlaufen hin zum Südpol (wie in der Abbildung rechts gezeigt).



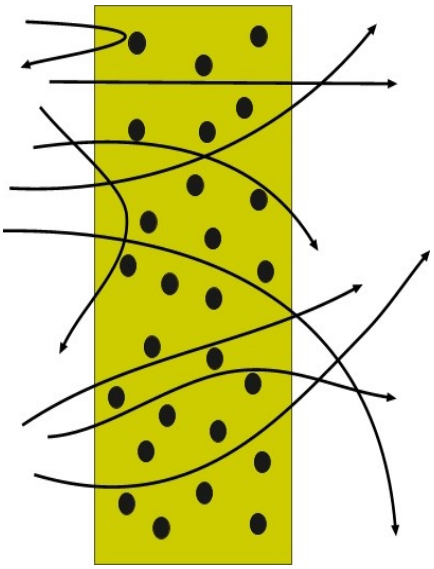
Magnetfeld zweier Magneten

Baut man zwei Magnete nahe beieinander auf, verlaufen die Feldlinien vom Nordpol eines Magneten zum Südpol des anderen. Wenn man also zwei Magnete mit entgegengesetzten Polen übereinander aufbaut, so wird zwischen ihnen ein gleichmäßiges Magnetfeld „aufgespannt“. Dies ist im Bild unten links dargestellt. Richtet man die Magnete jedoch so aus, dass sich die gleichnamigen Pole gegenüberliegen, ergibt sich ein etwas komplizierterer Feldlinienverlauf, wie im Bild unten rechts zu sehen ist.





Streuung



Unter Streuung versteht man in der Physik im Allgemeinen die Ablenkung eines Objekts aus seiner ursprünglichen Richtung beim Durchgang durch Materie infolge der Wechselwirkung mit einem Streuzentrum, z. B. mit einem Atomkern. Dabei kann es sich bei dem gestreuten Objekt prinzipiell sowohl um ein Teilchen als auch um eine (elektromagnetische) Welle handeln.

Die Wechselwirkung eines Objekts mit einem einzelnen Streuzentrum wird als Einzelstreuung bezeichnet.

Beim Durchgang einer Vielzahl von Objekten durch eine dickere Materieschicht unterliegt jedes Objekt vielen Einzelstreuungen, was man dann als Mehrfach- oder Vielfachstreuung bezeichnet. So kann selbst eine sehr kleine Winkelablenkung pro Einzelstreuung zu einer insgesamt sehr großen Streuung führen.

Das Rutherford‘sche Streuexperiment

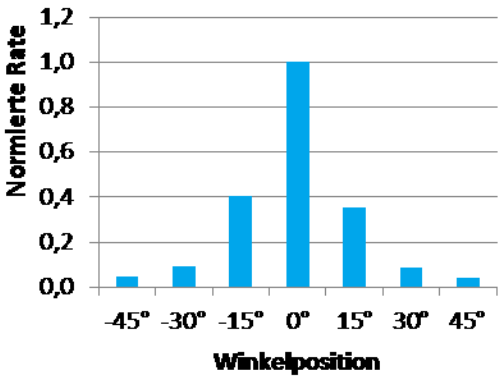
Durch ein Experiment, bei dem Ernest Rutherford 1911 α-Teilchen an Goldatomen streute, stellte er fest, dass sich in den Atomen ein Massezentrum befinden muss, das positiv geladen ist: der Atomkern.

Normierung von Messreihen

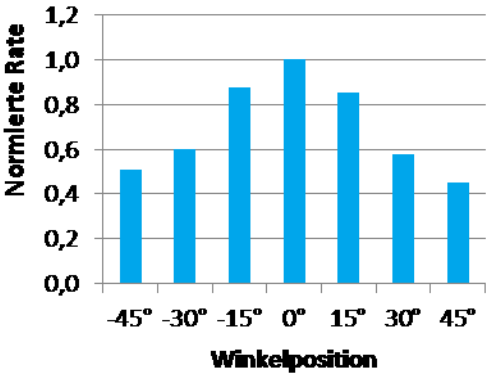
Oft ist es schwierig, anhand der Messdaten unterschiedliche Messreihen zu vergleichen. In einem Diagramm sind Unterschiede wegen der unterschiedlichen Größenbereiche nicht immer erkennbar. In einem solchen Fall ist es hilfreich, die Messwerte zu normieren, also auf eine vergleichbare Basis zu stellen. Dies kann geschehen, indem man Datenverteilungen nicht in Absolutwerten, sondern in prozentualen Anteilen angibt.

Das bietet sich auch dann an, wenn man eine räumliche Verteilung darstellen will. So lassen sich gerade bei den Experimenten zur Streuung die räumlichen Verteilungen besser vergleichen. Das Verfahren ist einfach durchzuführen. Man teilt dazu jeden Messwert durch den größten Wert der jeweiligen Messreihe und trägt dann im Diagramm die relativen Werte ein. Die folgenden Beispiele sollen das Verfahren verdeutlichen:

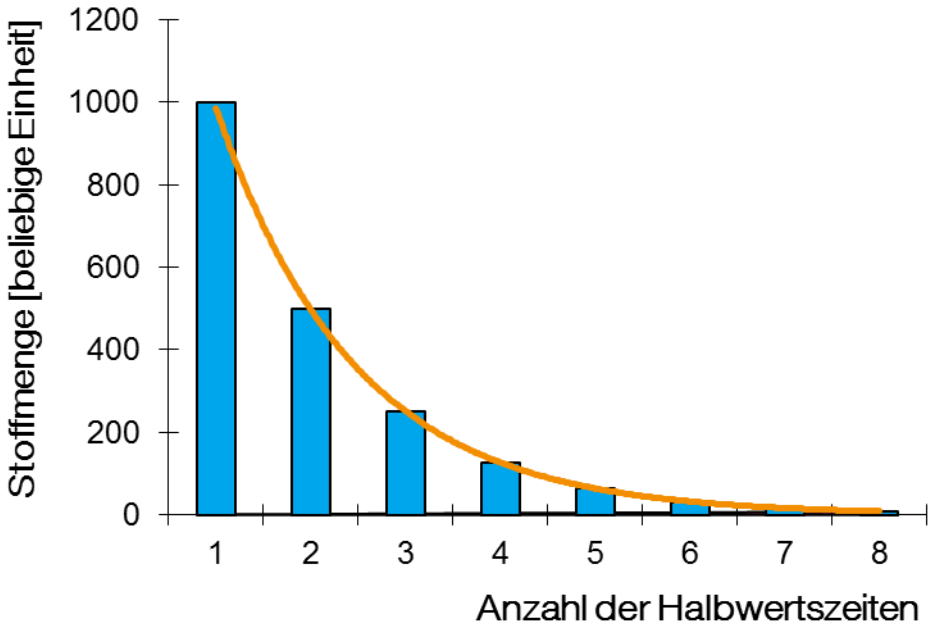
Winkelposition	Impulsrate [Impulse/50s]	Normierte Rate
-45°	34	34/732 = 0,046
-30°	69	69/732 = 0,094
-15°	296	296/732 = 0,404
0°	732	732/732 = 1,000
15°	258	258/732 = 0,352
30°	64	64/732 = 0,087
45°	29	29/732 = 0,040



Winkelposition	Impulsrate [Impulse/50s]	Normierte Rate
-45°	44	44/87 = 0,506
-30°	52	52/87 = 0,600
-15°	76	76/87 = 0,874
0°	87	87/87 = 1,000
15°	74	74/87 = 0,851
30°	50	50/87 = 0,575
45°	39	39/87 = 0,448



Halbwertszeit



Bei einem einzelnen radioaktiven Atomkern kann man nicht vorhersagen, zu welchem Zeitpunkt er zerfallen wird. Es kann in der nächsten Sekunde geschehen, aber auch erst in Tausenden von Jahren.

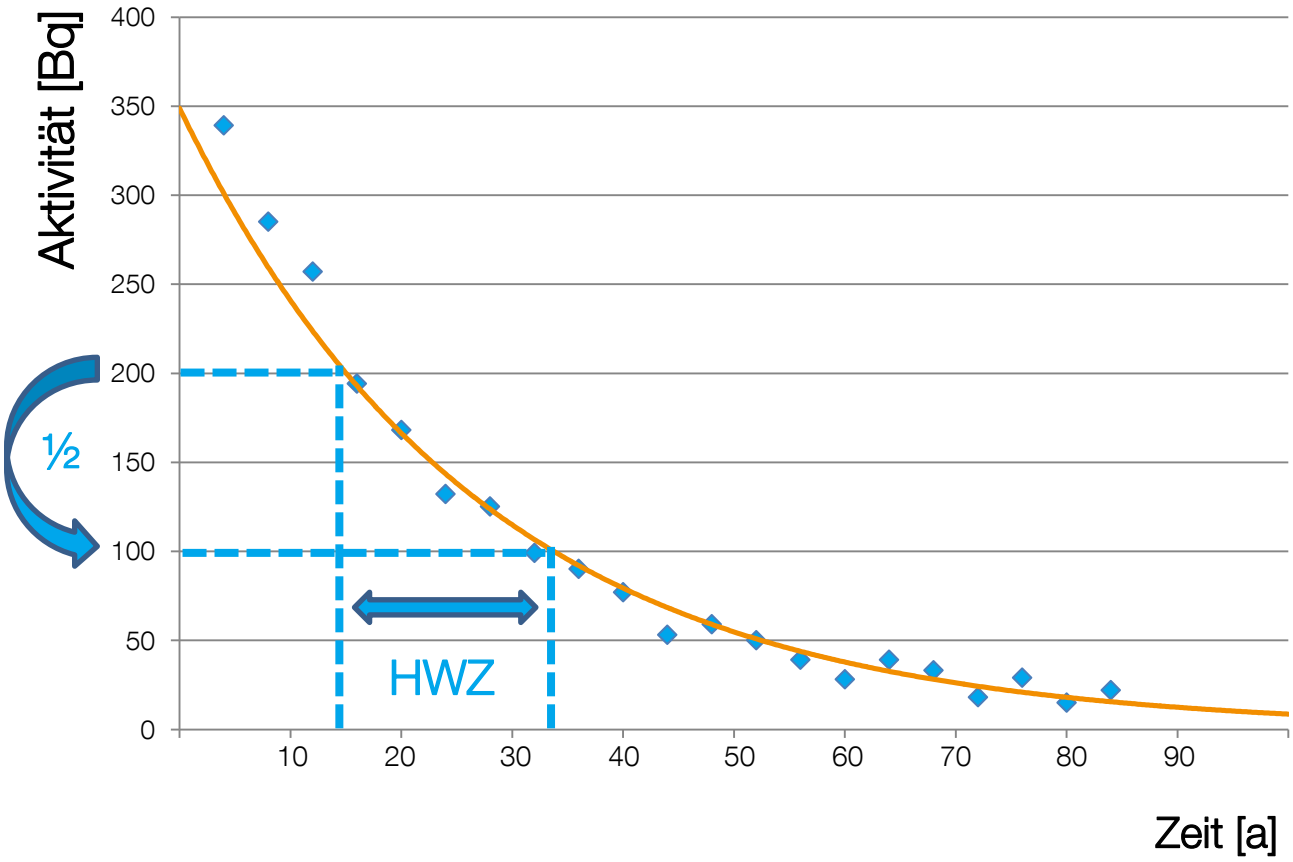
Bei einer großen Anzahl von Atomen lässt sich aber eine Wahrscheinlichkeitsaussage über den Ablauf des Zerfalls machen. So zerfällt zum Beispiel von einer vorgegebenen Menge Wasserstoff-3 (Tritium) in 12,3 Jahren die Hälfte der Kerne, nach weiteren 12,3 Jahren ist von dem Rest wiederum die Hälfte zerfallen usw.

Die Zeit, nach der die Hälfte einer bestimmten Anzahl von Atomkernen zerfallen ist, wird Halbwertszeit genannt.

Radioaktivitätslabor

Die experimentelle Bestimmung der Halbwertszeit über das Wiegen der Substanz ist nicht sinnvoll, da sich die Massen nicht genau genug bestimmen lassen. Man benutzt hier ein indirektes Verfahren und misst die Aktivität. Wenn nur noch die Hälfte der Kerne vorhanden ist, sinkt auch diese auf die Hälfte.

Am folgenden Beispiel sollte klar werden, wie man durch eine grafische Auswertung der zeitlichen Änderung der Aktivität, die Halbwertszeit eines Stoffes bestimmen kann:



Natürliche Zerfallsreihen

Uran-Radium

N-Z \ Z	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92
54											**Th 234** 24,1 d	α β⁻	**U 238** $4{,}5*10^9$ a
52												**Pa 234** β⁻	
50			**Pb 214** 26,8 m β⁻	α 99,98%	**Po 218** 3,05 m 0,02% β⁻	α	**Rn 222** 3,8 d	α	**Ra 226** 1600 a	α	**Th 230** $8*10^4$ a	α	**U 234** $2{,}5*10^5$ a
48		**Tl 210** 1,3 m β⁻	α 0,04%	**Bi 214** 19,8 m 99,96% β⁻	α	**At 218** ~ 2 s							
46	**Hg 206** 8,1 m β⁻	α $0{,}75*10^{-6}$ %	**Pb 210** 22 a ~100% β⁻	α	**Po 214** 162 µs								
44		**Tl 206** 4,3 m β⁻	α $5*10^{-6}$ %	**Bi 210** 5,0 d ~100% β⁻									
42			**Pb 206** stabil	α	**Po 210** 138,4 d								

Actinium

N-Z \ Z	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92
51										**Th 231** 25,6 h β⁻	α	**U 235** $7*10^8$ a
49			**Bi 215** 7,4 m β⁻	α 97%	**At 219** 0,9 m 3% β⁻	α $4*10^{-3}$ %	**Fr 223** 22 m ~100% β⁻	α 1,2%	**Ac 227** 22 a 99,8% β⁻	α	**Pa 231** $3{,}3*10^4$ a	
47		**Pb 211** 36,1 m β⁻	α ~100%	**Po 215** 1,8 ms $5*10^{-4}$ % β⁻	α	**Rn 219** 3,9 s	α	**Ra 223** 11,4 d	α	**Th 227** 18,7 d		
45	**Tl 207** 4,8 m β⁻	α 99,68%	**Bi 211** 2,15 m 0.32% β⁻	α	**At 215** ~100 µs							
43		**Pb 207** stabil	α	**Po 211** 0,52 s								

Thorium

N-Z \ Z	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
52								**Ra 228** 5,7a β⁻	α	**Th 232** $1{,}4*10^{10}$a
50									**Ac 228** 6,13h β⁻	
48		**Pb 212** 10,6h β⁻	α	**Po 216** 0,15s	α	**Rn 220** 55,6s	α	**Ra 224** 3,64d	α	**Th 228** 1,9a
46	**Tl 208** 3,1m β⁻	α 36,2%	**Bi 212** 60,6m 63,8% β⁻							
44		**Pb 208** stabil	α	**Po 212** 0,3µs						

Glossar

Absorption: Verringerung der Intensität oder Energie einer Strahlung beim Durchqueren eines Materials.

Äquivalentdosis: Die biologische Strahlenwirkung wird durch die → *Energiedosis* D nicht eindeutig beschrieben, da die unterschiedlichen Strahlenarten unterschiedliche Wirkung auf das Gewebe haben. Deshalb wurde der sogenannte Qualitätsfaktor Q eingeführt, der vor allem vom Energietransfer (dE/dx) der Strahlung abhängt.

Die Äquivalentdosis ist das Produkt aus Energiedosis D und Qualitätsfaktor Q und wird in der Einheit Sievert (Sv) angegeben. Die mittlere natürliche Strahlenbelastung in Deutschland liegt bei etwa 2,4 mSv/a.

Um daraus sinnvolle Grenzwerte für den Strahlenschutz abzuleiten zu können, muss man außerdem noch berücksichtigen, dass unterschiedliche Gewebearten/Organe unterschiedlich empfindlich sind. Die effektive Dosis ist letztendlich die gewichtete Summe der einzelnen Organdosen.

Aktivität: Zerfallsrate der Atome einer radioaktiven Substanz, üblicherweise angegeben in Becquerel (Bq; 1 Bq = 1 Zerfall pro Sekunde)

Alphastrahler: radioaktives Element, das beim Zerfall → *Alphateilchen* aussendet

Alphateilchen: beim → *Alphazerfall* vom Kern ausgesandtes Teilchen, das identisch ist mit dem Atomkern des Heliumatoms (2 Protonen und 2 Neutronen)

Alphazerfall: bei radioaktiven Elementen die Aussendung eines → *Alphateilchens*; die → *Ordnungszahl* verringert sich dabei um 2, die Massenzahl um 4.

Betastrahler: radioaktives Element, das beim Zerfall → *Elektronen* oder → *Positronen* (→ *Betateilchen*) aussendet

Betateilchen: beim → *Betazerfall* vom Kern ausgesandtes Teilchen, das identisch ist mit einem → *Elektron* oder einem → *Positron*

Betazerfall: bei radioaktiven Elementen die Aussendung eines → *Betateilchens* ; die → *Ordnungszahl* verringert sich dabei um 1, die Massenzahl nicht.

Elektron: einfach negativ geladenes Elementarteilchen; z. B. in der Atomhülle zu finden

Elektronenvolt: Energieeinheit, die in der Atom- und Kernphysik verwendet wird, um die Energien kleiner Teilchen zu beschreiben; 1 eV ist die Energie, die ein → *Elektron* erhält, wenn es eine Beschleunigungsspannung von 1 V durchläuft.

Energiedosis: absorbierte Strahlungsenergie pro Masse ($\Delta E/\Delta m$), üblicherweise in der Einheit Gray (Gy; 1 Gy = 1 J/kg) angegeben

Gammastrahler: radioaktives Element, das beim Zerfall → *Gammateilchen* aussendet

Gammateilchen: hochenergetische Lichtteilchen, auch Gammaquanten oder → *Photonen* genannt; elektromagnetische Wellen mit Wellenlängen unter 10^{-11} m

Gammazerfall: der Zerfall eines Atomkerns oder eines instabilen Zustands, bei dem mindestens ein Gammaquant abgestrahlt wird; der Gammazerfall hat keinen Einfluss auf die → *Ordnungszahl*, tritt aber häufig in Verbindung mit einem → *Alpha-* oder *Betazerfall* auf.

Geiger-Müller-Zähler: Nachweisgerät für ionisierende Strahlung (siehe Seite 9)

Halbwertszeit: Zeit, nach der die → *Aktivität* einer radioaktiven Substanz auf die Hälfte abgesunken ist

Halbwertsdicke: Tiefe der durchdrungenen Materialschicht, nach der die Intensität der Strahlung auf die Hälfte abgesunken ist

Ionisierende Strahlung: elektrisch geladene Teilchen oder elektromagnetische Strahlung, die Teilchen beim Zusammenstoß ionisieren (d. h. elektrisch laden) können

Isotope: Atomkerne mit gleicher Protonenzahl (→ *Ordnungszahl*), aber unterschiedlicher Neutronenzahl und damit unterschiedlicher → *Massenzahl*

Kernladungszahl: Zahl der positiven Teilchen (→ *Protonen*) im Atomkern; entspricht der → *Ordnungszahl* im Periodensystem der Elemente

Kernspaltung: Spaltung eines schweren Atomkerns in zwei mittelschwere Kerne, die durch den Einfang eines langsamen → *Neutrons* hervorgerufen wird

Kettenreaktion: Durch die bei einer → *Kernspaltung* frei werdenden Neutronen werden weitere Kernspaltungen ausgelöst.

Künstliche Radioaktivität: Strahlung, die durch von den Menschen erzeugte radioaktive Stoffe verursacht wird

Massenzahl: Summe aus der Protonenzahl und der Neutronenzahl, also Anzahl aller → *Nukleonen* in einem Atomkern (daher auch Nukleonenzahl genannt)

Radioaktivitätslabor

Natürliche Radioaktivität: Strahlung, die durch den Gehalt natürlicher radioaktiver Stoffe in der Umwelt des Menschen und im Menschen selbst sowie durch die kosmische Strahlung verursacht wird; Ursache für den → *Nulleffekt*

Neutron: elektrisch neutrales Teilchen, das zusammen mit dem → *Proton* die Atomkerne bildet; besteht aus einen u-Quark und zwei d-Quarks

Nukleon: Gemeinsame Bezeichnung für das → *Proton* und das → *Neutron*, die Bausteine der Atomkerne

Nuklid: Bezeichnung für ein Atom, das durch eine bestimmte Protonenzahl (→ *Ordnungszahl*) und Neutronenzahl charakterisiert ist; die verschiedenen Nuklide eines Elements werden als seine → *Isotope* bezeichnet

Nulleffekt: der Nulleffekt beschreibt die radioaktive Belastung ohne eine zu vermessende radioaktive Quelle; Ursache dafür: natürliche sowie künstliche radioaktive Strahlenquellen in unserer Umgebung und kosmische Strahlung

Ordnungszahl: eine für jedes chemische Element typische Zahl, mit der seine Position im Periodensystem der Elemente angegeben wird; entspricht der → *Kernladungszahl*

Photon: Lichtteilchen; masseloses Teilchen, das sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegt

Positron: Antiteilchen des → *Elektrons*, das die entgegengesetzte Ladung, aber die gleiche Masse hat

Proton: positiv geladenes Teilchen, das zusammen mit dem → *Neutron* die Atomkerne bildet; besteht aus einen d-Quark und zwei u-Quarks

Radioaktivität: der spontane Zerfall bestimmter Atomkerne, bei dem vor allem → *Alpha-* und → *Beta-* und *Gammateilchen* abgestrahlt werden

Zerfallsreihe: eine bei radioaktiven Atomkernen auftretende Folge von Zerfällen, die schließlich in stabilen Kernen endet