

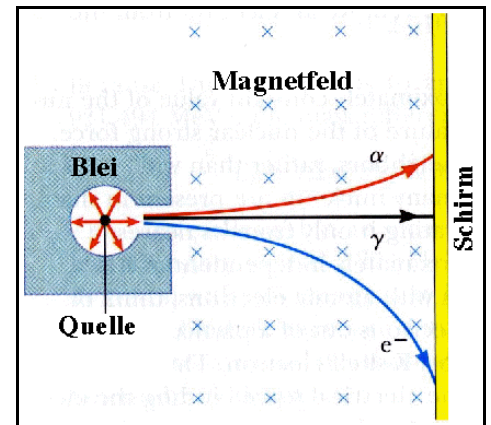
9.2 Radioaktivität

9.2.1 Historisches, Grundlagen

Die Radioaktivität wurde im Jahre 1896 entdeckt, als Becquerel feststellte, dass Uransalze Strahlen aussenden, welche den damals erst entdeckten Röntgenstrahlen sehr ähnlich waren. Eine Reihe weiterer Arbeiten ergaben in der Folge, dass die Kerne unterschiedliche Zerfallmechanismen aufweisen, welche unter anderem aufgrund der dabei entstehenden hochenergetischen Strahlung unterschieden werden können.

Man kann drei Arten von radioaktiven Zerfallsprozessen unterscheiden wenn man die Bahn der Strahlung in einem Magnetfeld misst.

Eine Eigenschaft, die allen radioaktiven Zerfällen gefunden wird, ist dass der Zeitpunkt, in dem der Zerfall eintritt, scheinbar rein zufällig ist. Er kann nicht vorhergesagt werden. Man kann zu jedem Zeitpunkt nur angeben, wie groß die Wahrscheinlichkeit ist, dass der betreffende Kern innerhalb der nächsten zeitlichen Periode zerfällt. Die Wahrscheinlichkeit selber ist zeitlich konstant, d.h.



$$dN/dt = - N/\tau.$$

Beginnt man eine Messung mit einer Anzahl N_0 von Kernen eines bestimmten Isotops, so nimmt diese wie

$$N(t) = N_0 e^{-t/\tau}$$

ab. τ bezeichnet die Zerfallszeit, welche gerade gleich der mittleren Lebensdauer der Kerne ist. Anstelle der mittleren Lebensdauer verwendet man auch gerne die Halbwertszeit $t_{1/2}$, während der die Anzahl der Kerne auf die Hälfte des Anfangswertes abnimmt,

$$N(t_{1/2}) = N_0/2.$$

Offenbar gilt

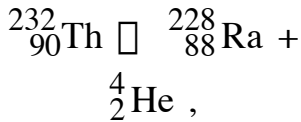
$$t_{1/2} = \tau \ln 2 \sim 0.693 \tau.$$

9.2.2 Alpha-Zerfall

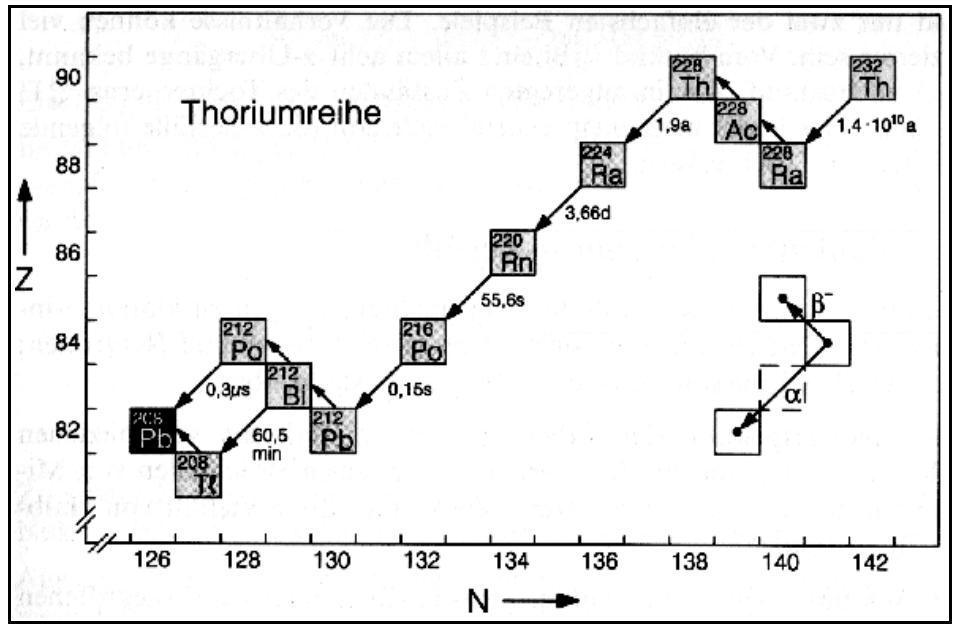
Beim α -Zerfall emittiert ein Kern positiv geladene Helium-Kerne, sog. Alpha-Teilchen. Diese haben eine Ladung von $+2e$. Der zurückbleibende Kern ist entsprechend um 2 Pro-

tonen und 2 Neutronen leichter. Solche Zerfälle treten vor allem bei schweren Kernen auf; durch den α -Zerfall wird die Coulomb-Energie des Kerns reduziert.

Ein typisches Beispiel für α -Zerfälle findet man in der sog. Thorium-Reihe. Sie beginnt mit dem Zerfall von ^{232}Th :



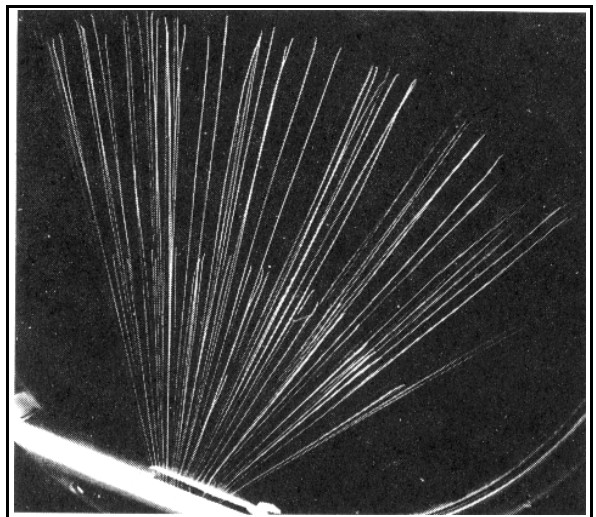
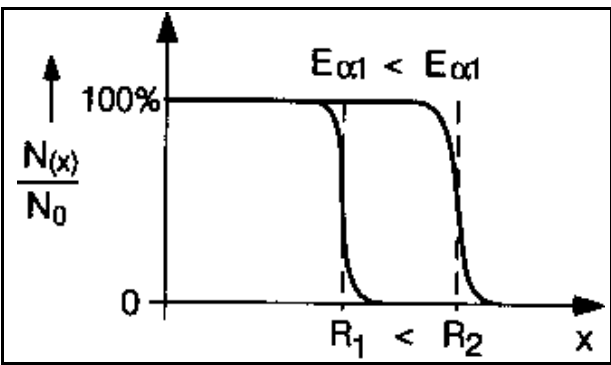
wobei die Halbwertszeit für diesen Prozess rund 14 Milliarden Jahre beträgt. Der Ra Kern wird durch zwei sukzessive α -Zerfälle in ^{228}Th umgewandelt,



welches durch vier weitere α -Zerfälle in ^{212}Pb übergeht. Dieses wandelt sich schließlich in das stabile Isotop ^{208}Pb um.

Die mittlere Reichweite von α -Teilchen ist relativ gering. Sie verlieren ihre Exp.: α -Zerfall Energie durch Stöße mit den Hüllenelektronen im Material. Dabei werden jeweils Ionenpaare erzeugt, wobei für jedes erzeugt Ionenpaar eine Energie von ca. 35 eV benötigt wird. Das α -Teilchen wird um diese Energie abgebremst und kommt zur Ruhe wenn alle kinetische Energie aufgebraucht ist.

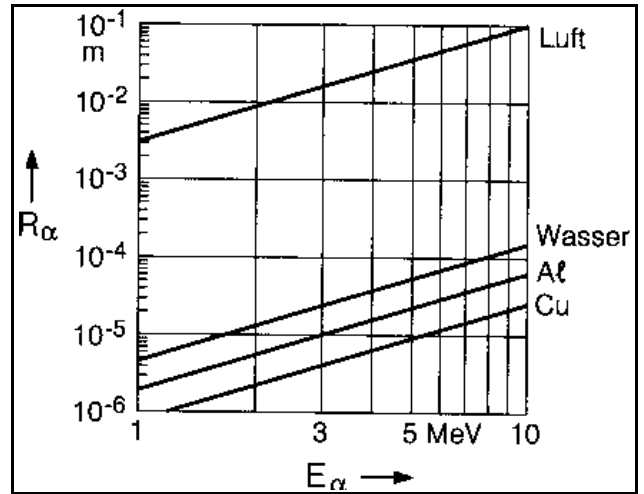
Das Experiment zeigt, dass alle α -Teilchen aus einem radioaktiven Zerfallsprozess die gleiche Reichweite besitzen.



Dies ist ein Hinweis darauf, dass sie die gleiche Energie besitzen. Dies wiederum ist eine direkte Konsequenz davon, dass bei diesem Zerfall nur zwei Teile entstehen. Da der Zerfall sowohl Energie wie auch Impuls erhalten muss, ist die Geschwindigkeit der beiden Zerfallsprodukte fest.

In Luft beträgt die Reichweite für eine Anfangsenergie von 2 MeV ca. 1cm. In dichteren Materialien ist sie entsprechend geringer.

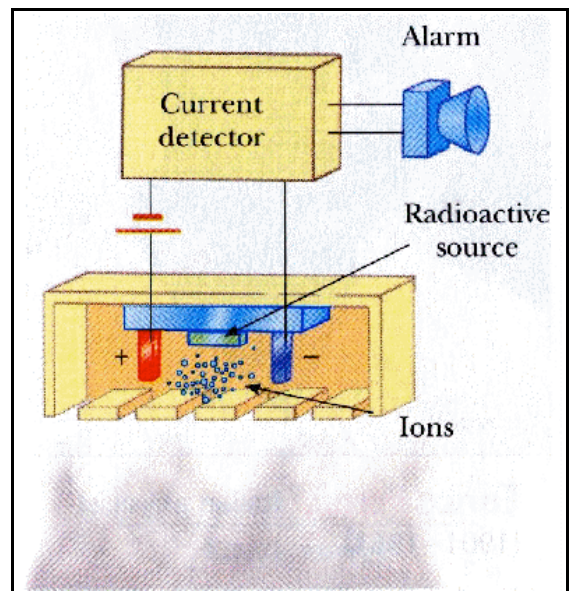
α -Zerfälle sind meist energetisch günstiger als die Emission von Neutronen oder Protonen, welche ebenfalls die Anzahl Nukleonen vermindern würden, weil die Bindungsenergie der Nukleonen in ${}^4_2\text{He}$ besonders groß ist, nämlich rund 7 MeV pro Nukleon. Der Grund dafür ist, dass 2 Nukleonen pro Typ eine sogenannte magische Zahl darstellt: ähnlich wie beim Atom sind werden die Nukleonen im Kern in Schalen eingeordnet. Die erste Schale enthält pro Nukleonensorte gerade 2 Plätze.



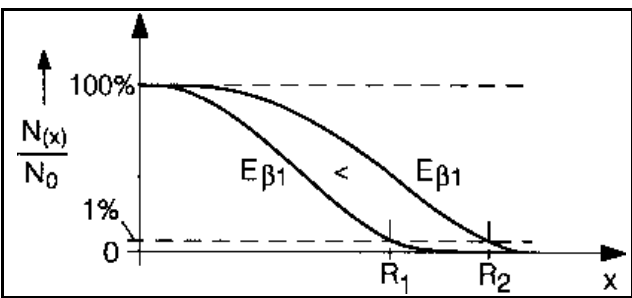
Alpha-Strahler werden u.a. in Rauchmeldern verwendet: eine radioaktive Quelle erzeugt elektrische geladene Luftmoleküle, welche einen Strom leiten. Gelangt Rauch in dieses System ändert sich die Anzahl der geladenen Teilchen und damit der Strom.

9.2.3 Beta-Zerfall

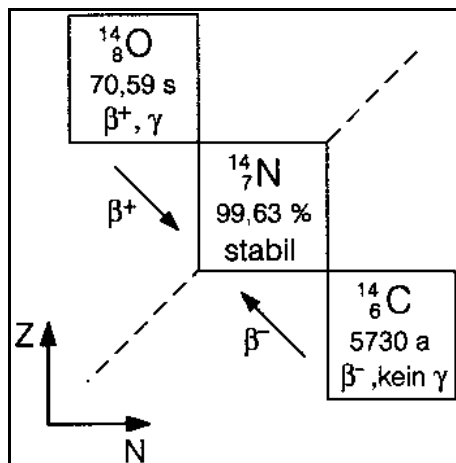
Beta-Teilchen sind Elektronen (β^-), resp. Positronen (β^+). Der Kern enthält keine Elektronen; sie entstehen statt dessen durch den Zerfall eines Neutrons in ein Proton. Ein freies Neutron ist nicht stabil, es zerfällt mit einer Halbwertszeit von 10.7 min. in ein Proton, ein Elektron und ein Antineutrino. Das letztere Teilchen ist nur schwer beobachtbar und soll hier nicht mehr weiter diskutiert werden. Es spielt trotzdem eine wichtige Rolle: da es einen Teil der Energie und des Impulses aufnimmt und dadurch die Energie des Zerfalls auf drei Körper verteilt wird hat das Elektron eine breite Verteilung von Energie und Impuls. Der Zerfall des Neutrons in einem Kern ist stark unterdrückt, resp. findet in den stabilen Kernen nicht statt. Er tritt jedoch dann auf wenn der Kern insgesamt dadurch eine niedrigere Energie erreicht.



Dies ist der Fall wenn das Isotop sich unter-, resp. oberhalb der Stabilitätslinie befindet. Die Reichweite von β^- -Strahlen ist etwas größer als die von β^+ -Strahlen.



Sie ist außerdem nicht so scharf begrenzt; auch monoenergetische Strahlen verlieren von Anfang an Intensität. Da β^- -

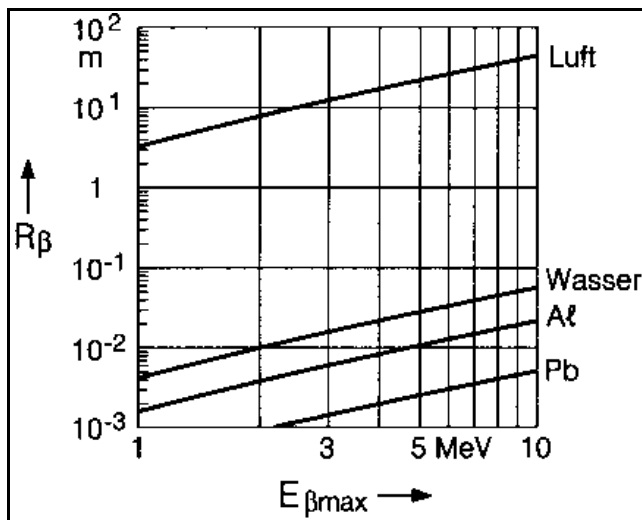


Strahlen nicht monoenergetisch sind kann ihre Intensitätsabnahme in guter Näherung exponentiell beschrieben werden.

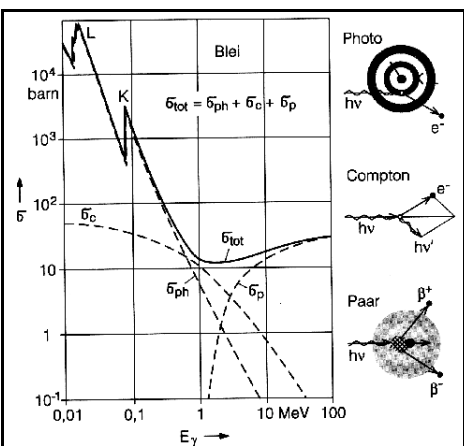
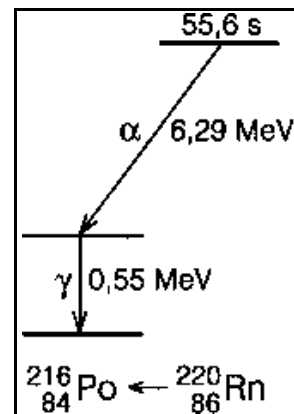
Die Reichweite nimmt mit der Energie zu.

9.2.4 Gamma-Zerfall

Gamma-Teilchen sind Photonen, also elektromagnetische Strahlung mit sehr kurzen Wellenlängen im Bereich < 1 nm. Sie werden von Kernen emittiert, welche von einem angeregten Zustand in einen energetisch niedrigeren Zustand übergehen – in direkter Analogie zur Emission von sichtbarem Licht durch Atome, in denen ein Elektron von einem energetisch hoch gelegenen Orbital in ein energetisch niedrigeres Orbital übergeht. Solche Übergänge finden häufig im Anschluss an einen α^- - oder β^- -Zerfall statt.



Ein Beispiel ist der Zerfall von Radon 220: durch Emission eines α^- -Teilchens geht dieser Kern in einen angeregten Zustand von Polonium 216 über, welcher durch γ^- -Emission in den Grundzustand übergeht.



γ^- Strahlen haben eine größere Reichweite in Materie. In diesem Fall tragen unterschiedliche Mechanismen zur Abbremsung bei: der Photoeffekt, der Compton-Effekt, sowie die Paarerzeugung. Der Photoeffekt und der Compton-Effekt sind bei niedriger Energie am effektivsten. Der Photoeffekt nimmt sehr rasch ab, während der Compton-Effekt unterhalb von ca. 1 MeV beinahe konstant ist. Etwas oberhalb von 1 MeV setzt Paarerzeugung ein: in der Nähe eines Kerns kann ein hochenergetisches Photon ein β^- - β^+ Paar erzeugen. Da die Ruhe-

Energie eines Elektrons 0.511 MeV beträgt ist dieser Beitrag unterhalb 1 MeV nicht vorhanden. Der Atomkern ist für die Paarbildung notwendig, da sonst die Impulserhaltung nicht gewährleistet wäre.