

Radioaktivität

Die Bausteine des Kernes (n^0 und p^+) halten mittels der sehr starken aber nur über eine sehr kurze Distanz wirkenden Kernkräfte zusammen. Sie verhindern ein Auseinanderbrechen der Kerne als Folge der grossen abstoßenden Kräfte. Gelingt es dennoch einen Atomkern durch Beschuß mit Teilchen zum Zerplatzen zu bringen, fliegen die Bruchstücke wegen den abstossenden elektrostatischen Kräften mit hoher Energie auseinander. Diese Energie wird im KKW genutzt. Neutronen üben keine elektrostatischen, wohl aber Kernkräfte aus. Ein Kern braucht immer eine gewisse Anzahl Neutronen, damit die Protonen nicht zu konzentriert, die abstossenden Kräfte nicht zu gross sind. Zu viele Neutronen machen aber den Kern übergewichtig. Es existieren für alle Elemente optimale p^+/n^0 Verhältnisse. Stimmt das Verhältnis nicht, dann ist der Kern instabil. Er versucht durch Abstrahlen oder Umwandeln von Teilchen Stabilität zu erlangen. Man nennt dieses Verhalten der Kerne

radioaktiv: = strahlungsaktiv; Teilchen oder Energie abstrahlend.

Der meist vorhandene Energieüberschuss wird in Form von energiereicher röntgenähnlicher Strahlung abgegeben. Man nennt diese Strahlung

γ -Strahlung: *Eine dem Licht verwandte energiereiche Strahlung, die bei vielen Kernprozessen auftritt.*

Die wichtigsten Kernprozesse sind die folgenden:

β^- -Zerfall: Kerne, welche zu viele n^0 im Verhältnis zu den p^+ haben, wandeln ein n^0 um in ein p^+ und ein e^- . Das Proton verbleibt im Kern, das e^- wird mit hoher Geschwindigkeit weggeschleudert.
Folge: Die Ordnungszahl nimmt um 1 zu, die Massenzahl bleibt dieselbe. Weil Radioaktivität unabhängig von der Art des Stoffes ist, wird das weggeschleuderte Elektron nicht in Betracht gezogen.
Es tritt eine e^- -Strahlung auf.

β^+ -Zerfall: Kerne, welche zu viele p^+ im Verhältnis zu den n^0 haben, wandeln ein p^+ in ein n^0 um und senden ein positives Elektron, genannt Positron aus. Das Positron ist ein Teilchen der Antimaterie und verstrahlt in Kontakt mit einem Elektron zu einem Lichtblitz.
Folge: Die Ordnungszahl nimmt um 1 ab, die Massenzahl bleibt dieselbe.
Es tritt eine e^+ -Strahlung auf.

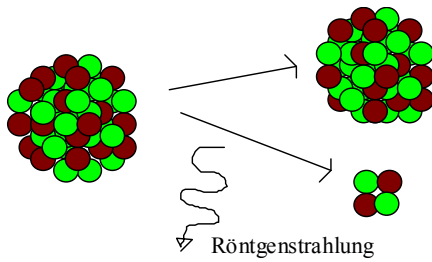
α -Zerfall: Der Kern schleudert ein α -Teilchen bestehend aus 2 p^+ und 2 n^0 , eigentlich ein He-Kern, weg.
Folge: Massenzahl nimmt um 4, die Ordnungszahl um 2 ab.
Es tritt eine α -Strahlung auf.

Die Häufigkeit mit der Kernzerfälle statistisch auftreten wird angegeben mit der

Halbwertszeit: *Die Zeit, in der die Hälfte der Kerne einer Probe zerfällt.*

Zerfallsarten

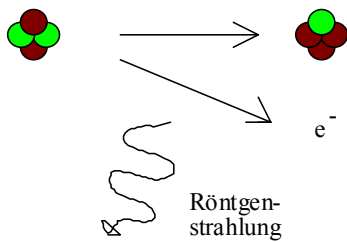
Alpha-Zerfall



Der schwere Atomkern schleudert ein Alpha-Teilchen (He-Kern, $2 n^0$ und $2 p^+$) weg.

Strahlung: - Alphateilchen (Reichweite 2.5-9 cm an der Luft)
- Röntgenstrahlung (energieresches "Licht")

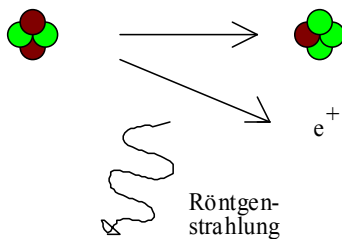
Beta-minus-Zerfall



Ein Neutron wird in ein Proton umgewandelt, wobei ein Elektron frei wird.

Strahlung: - Elektron (Reichweite 150 - 850 cm)
- Röntgenstrahlung (Reichweite abhängig von Materialdichte)

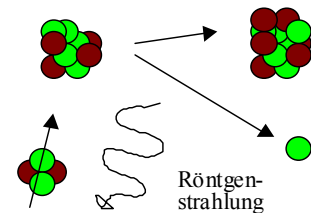
Beta-plus-Zerfall



Ein Proton wird in ein Neutron umgewandelt, wobei ein Positron (Ein Elektron der Antimaterie) frei wird.

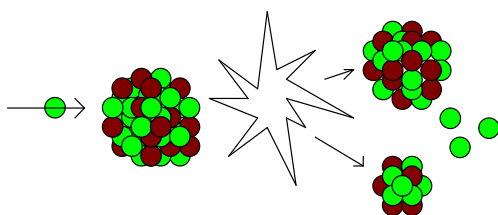
Strahlung: - s. Beta-minus-Zerfall

Künstlicher Kernzerfall durch Beschuss mit α -Teilchen



Ein Neutron wird vom Kern weggeschleudert, nach Treffer von α -Teilchen, z.B. von Rn gemischt mit Be.
Strahlung: - Neutronen (durchdringen praktisch ungehindert viele Materialien)

Künstlicher Kernzerfall durch Beschuss mit Neutronen



Ein Kern wird mit einem Neutron beschossen, er zerfällt darauf in zwei ungleiche Bruchstücke undefinierter Größe und setzt drei Neutronen frei: (Im Fall von ^{235}U)

Kernspaltung

AKW (Spaltreaktor)

$^{235}\text{U} + \text{n}^0$ (langsame n^0 , 2.2 km/s) \implies $^{236}\text{U} \implies$ z.B. $^{90}\text{Sr} + ^{143}\text{Xe} + 3 \text{n}^0$ (70km/s) aber auch Ba (s. Experimente von Otto Hahn)

Von den drei entstehenden Neutronen muss eines abgebremst werden mit einem Moderatormaterial (Graphit, schweres Wasser), zwei müssen durch Regel- oder Kontrollstäbe (Borstahl, Cadmium) absorbiert werden oder sonstwie entweichen.

Trotzdem läuft die folgende Nebenreaktion ab:

$^{238}\text{U} + \text{n}^0$ (schnell, 70km/s) \implies $^{239}\text{U} \implies$ $^{239}\text{Np} \implies$ $^{239}\text{Pu} \implies$ Halbwertszeit 24400a

Reaktionsbedingungen: Natururan angereichert mit ^{235}U damit Nebenreaktion mit ^{238}U nicht zu viele Neutronen absorbiert und damit die Kettenreaktion verunmöglicht. Kann vom Prinzip her nicht explodieren, weil die Uranbrennstäbe eine genügend grosse Oberfläche haben, so dass viele Neutronen entweichen und nicht für die Kettenreaktion zur Verfügung stehen.

AKW (Schneller Brüter)

$^{238}\text{U} + \text{n}^0$ (schnell, 70km/s) \implies $^{239}\text{U} \implies$ $^{239}\text{Np} \implies$ ^{239}Pu
 $^{239}\text{Pu} + \text{n}^0 \implies$ Zerfall, s. Uranspaltung

Reaktionsbedingungen: Natururan kann als Brennstoff verwendet werden. In einem Brutprozess wird daraus spaltbares ^{239}Pu erzeugt. Die Giftigkeit von Pu verbunden mit erheblichen Regel- und Kühlproblemen (flüssiges Natriummetall) machen diesen Reaktor gefährlich.

Atombomben

$^{235}\text{U} + \text{n}^0 \implies$ $^{236}\text{U} \implies$ z.B. $^{90}\text{Sr} + ^{143}\text{Xe} + 3 \text{n}^0$

Reaktionsbedingungen: Kein ^{238}U (es werden sonst zu viele Neutronen absorbiert). Die Herstellung des seltenen ^{235}U bereitet vielen Ländern zum Glück grösste Schwierigkeiten und verunmöglicht zum Teil den Bau der Bombe. Es braucht mehr als 50 kg spaltbares Material je Bombe, sonst gehen zu viele Neutronen durch Oberfläche verloren.

$^{239}\text{Pu} + \text{n}^0 \implies$ versch. Bruchstücke.

Reaktionsbedingungen: 10-30 kg Pu reichen. ^{239}Pu kann entweder in Brutreaktoren oder durch Aufarbeitung der Abfälle konventioneller Reaktionen leichter gewonnen werden als ^{235}U . Ein Grund für viele Länder in die Atomenergie einzusteigen.

Verschiedene Einheiten zur Messung der Radioaktivität:

Becquerel [Bq]:	1 Bq = 1 radioaktiver Zerfall pro Sekunde
Curie [Ci]:	1 Ci = Anzahl der Zerfälle, die pro Sekunde in 1 g Radium stattfinden = $3.7 \cdot 10^{10}$ /s. Veraltete Einheit, begründet durch Mme Curie.
Röntgen [r]:	Strahlendosiseneinheit, die angibt wieviele Teilchen in 1 cm^3 Luft durch eine Strahlenquelle ionisiert (aufgeladen) werden. Alle Dosiseneinheiten, sagen nichts über die Aktivität der Strahlenquellen aus, weil sie abhängig sind von der Entfernung von der Strahlenquelle. (Was kommt an, und nicht was wurde ausgesendet).
Röntgen Equivalent Man [rem]:	Dosiseneinheit, die noch die Art der Strahlung berücksichtigt und damit ihr biologisches Schadenpotential beim Menschen.
Sievert [Sv]:	Heute gebräuchlich anstelle von rem. 1 Sv = 100 rem. Bedeutet physikalisch: Strahlenenergie in Joule, die von 1 kg eines bestrahlten Körpers aufgenommen wurde.
Strahlenbelastungen:	
Natürliche Strahlung aus Kosmos und Erde:	1 mSv (milli-Sievert) / Jahr
Kernkraftwerk in der Nähe:	0.01 mSv/Jahr
6 Std. Farbfernsehen täglich:	0.04 mSv/Jahr
1 Röntgenuntersuchung	1 mSv
Strahlenwirkung:	
250 mSv:	Grenzdosis, bis zu der im allgemeinen keine erkennbaren klinischen Schäden auftreten.
1 Sv:	Erbrechen, Müdigkeit
2 Sv:	Schädigung aller Blutzellen, verminderte Vitalität
4 Sv:	50% Mortalität innerhalb von 30 Tagen
6 Sv:	100% Mortalität

Fakten zur Kernspaltung

"Erfinder": Otto Hahn und Fritz Strassmann (1938)

AKW

Brennstoff: Angereichertes Uranoxid (UO_2) enthaltend ca 97.5% ^{238}U und 2.5% ^{235}U . (Natururan: 0.7% ^{235}U)

Kernreaktion: $^{235}\text{U} + n^0 \rightarrow 3 n^0 + 2$ ungleiche Bruchstücke

Energie: 500 000 kWh pro kg Brennstoff
(= ca. 50 Tonnen Steinkohle)

Abfälle: Ausgebrannte Brennstäbe enthalten alle möglichen Bruchstücke der Spaltung, die weiterzerfallen unter Aussendung von radioaktiver Strahlung. Es sind 37 verschiedene Elemente bekannt in Form von fast 300 Isotopen. Die ebenfalls auftretende Reaktion $^{238}\text{U} + n^0 \rightarrow ^{239}\text{Pu}$ erzeugt Plutonium:
Bis die Hälfte des Plutoniums zerfallen ist dauert es 24 400 Jahre!

Biologische Wirkung: Radioaktive Strahlen bestehen entweder aus Teilchen (Neutronen, Elektronen, Heliumkerne) oder aus Energie (Röntgenstrahlen). Die Teilchen können durch Stöße mit Zellbestandteilen die Zellstrukturen zerstören, die hochenergetischen Strahlen durch verbrennungsähnliche Vorgänge. Im besten Fall stirbt die Zelle ab wie bei Verbrennungen. Im schlimmsten Fall treten Änderungen in den Genen auf. Das kann sich in Erbkrankheiten aber auch in Krebs äussern. Wenn die Zellen der Immunabwehr betroffen werden tritt Immunschwäche auf (Strahlen-Aids).