

ATOMPHYSIK

REFERAT

1. Einleitung

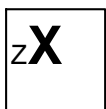
Die Geschichte der Radioaktivität von Stoffen begann erst im Jahre 1896: Der französische Physiker Antoine-Henri Becquerel entdeckte eigentlich nur durch Zufall, daß das Element Uran radioaktive Strahlung aussendet. Er legte einen Stein mit Uranspuren auf eine unbelichtete Fotoplatte, die nach dem Entwickeln allerdings einen stark überbelichteten Streifen aufwies, genau an der Stelle wo die Uranspuren am dichtesten waren. Er war sehr überrascht und entdeckte nun durch nähere Untersuchungen die Radioaktivität.

2. Der Atomkern

Atome bestehen aus einer Hülle und einem Atomkern, der wiederum aus vielen Bausteinen, den Nukleonen (Kernbausteinen) zusammengebaut ist. Die Nukleonenzahl wird gebildet aus der Summe der Z Protonen und N Neutronen in einem Kern.

Ein Proton hat eine höhere Masse als ein Elektron und trägt positive Ladung. Ein elektrisch neutrales Neutron die gleiche Masse wie ein Proton. Die Ladung eines Kerns wird durch die Protonen bestimmt, deshalb nennt man die Protonenzahl auch Kernladungszahl. Damit ein ganzes Atom elektrisch neutral ist, muß die Kernladungszahl mit der Anzahl der Elektronen in der Hülle übereinstimmen.

Man hat sich zur rechnerischen Zusammensetzung eines Atomkerns folgende Schreibweise ausgedacht:



Der Atomkern X besteht aus A Nukleonen und Z Protonen. Die Kernladungszahl ist gleich der Anzahl der Protonen, also auch Z. Da die Nukleonen alle Bausteine sind und jeder Kern aus nur zwei Bausteintypen besteht (Protonen Z und Neutronen N), kann man die Anzahl der Neutronen schnell durch folgende Rechnung ermitteln: $A-Z=N$. Die Neutronenzahl ist die Differenz von Nukleonen und Protonen.

3. Die radioaktive Strahlung

Radioaktive Strahlung ist eine natürliche Stoffeigenschaft, sie wird ohne Aktivierungsenergie oder sonstiges Zutun von manchen Stoffen ausgesendet. Eine solche Erscheinung nennt man natürliche Radioaktivität (lat. radiare: Strahlen).

Wenn man radioaktive Strahlung durch ein Magnetfeld strahlt, trennt sich die Gesamtstrahlung in vier verschiedene Teile: In die negative β -Strahlung, die aus negativen Elektronen besteht, in die positive α -Strahlung, die aus positiven Ionen besteht, und in die neutrale γ -Strahlung, die aus elektromagnetischen Impulsen besteht.

Außerdem gibt es noch die, ebenfalls elektrisch neutrale, energiereiche Neutronenstrahlung, die bei Kernspaltungen entsteht.

Radioaktivität läßt sich abschirmen, doch hier muß man die unterschiedlichen Strahlungsarten berücksichtigen. Die Flugweite eines Teilchens bestimmt jeweils die Reichweite der jeweiligen Strahlung.

Die Reichweite von α -Strahlung ist in Luft relativ gering, die positiven Ionen „fliegen“, nur wenige Zentimeter weit. α -Strahlung läßt sich somit praktisch schon von einem Stück Papier oder dünnem Kunststoff abschirmen.

Die Teilchen der negativen β -Strahlung haben eine höhere Reichweite. Einige Meter von der Strahlungsquelle entfernt lassen sich diese Teilchen noch feststellen. Zum vollständigen Abschirmen sind hier bereits Materialien wie 1cm dickes Aluminium erforderlich.

Die Reichweite der energiereichen, elektrisch neutralen γ -Strahlung ist enorm hoch. Zum Abschirmen dieser Strahlung sind Metallplatten mit einer Dicke von 25cm oder meterdicker Beton nötig. In Frage kommen hier nur Materialien mit sehr hoher Dichte, die die Teilchen bremsen und zurückhalten.

Der α -Zerfall

Als Beispiel dient hier das chemische Element Radium: Der instabile Atomkern dieses Elements strahlt ein Teilchen ab, das aus 2 Protonen und 2 Neutronen besteht. Es handelt sich also um einen Atomkern des chemischen Elements Helium, der in dieser Form bei diesem Vorgang kurz als Alphateilchen bezeichnet wird. Durch die Abgabe des Alphateilchens verwandelt sich der Radiumkern: Es entsteht ein Atomkern des chemischen Elements Radon.

Der β -Zerfall

Der Vorgang des β -Zerfalls kann gut man Beispiel eines Cäsiumkerns mit der Nukleonenzahl 137 erklärt werden. Aus einem Neutron entstehen ein positiv geladenes Proton und ein negativ geladenes Elektron. Das Proton bleibt im Kern und erhöht somit die Kernladungszahl um 1, weil das Elektron als Betateilchen den Kern verläßt. So entsteht aus dem Cäsiumkern ein Atomkern des chemischen Elements Barium.

Die Neutronenstrahlung

Die Neutronenstrahlung besteht aus freien Neutronen, die keine elektrische Ladung besitzen und sich deswegen elektrisch Neutral verhalten.

Diese Strahlungsart entwickelt sich beispielsweise während der Kernspaltung eines Urankerns mit der Nukleonenzahl 235. Der Urankern teilt sich auf in zwei Kerne anderer Elemente (in diesem Fall Barium mit Nukleonenzahl 144 und Krypton mit Nukleonenzahl 89); außerdem werden hierbei aber auch noch zusätzlich zwei oder drei Neutronen freigesetzt. Sie haben eine relativ hohe Geschwindigkeit und sind in diesem Zustand eine sehr energiereiche Neutronenstrahlung.

Eine Kernspaltung eines Kerns wird immer dann ausgelöst, wenn der Kern von einem Neutron getroffen wird. Der Kern sendet dann bei der Spaltung wieder Neutronen frei, die ihrerseits wieder Kerne spalten können. So kann eine Kettenreaktion entstehen.

Die γ -Strahlung

Alpha-, Beta- und Neutronenstrahlung gehören zur sogenannten „Korpuskularstrahlung“, (lat. corpus: der Körper, Gegenstand), die aus kleinsten Materieteilchen besteht.

Bei der Gammastrahlung hingegen handelt es sich um keine Strahlung, die aus kleinsten Teilchen o.ä. besteht. Vielmehr handelt es sich hierbei um elektromagnetische Wellenimpulse, die von energiereichen Atomkernen abgegeben werden können. Die Impulse verlassen den Kern mit Lichtgeschwindigkeit als sogenannte Gammaquanten und haben ähnlich den Röntgenstrahlen eine äußerst hohe Durchdringungsfähigkeit, deswegen läßt sich γ -Strahlung nur durch großen Aufwand abschirmen.

Die **Halbwertszeit** eines Stoffes bestimmt den Zeitraum, in dem jeweils die Hälfte des Stoffes zerfällt. Während dieser Zeit sinkt auch die Zahl der Zerfälle in einer Sekunde.

Jede Kernart besitzt eine andere, charakteristische Halbwertszeit.

3. Die Maßeinheiten in der Atomphysik

Das Messen von Radioaktiver Strahlung

Kein Lebewesen hat mit seinen Sinnesorganen die Fähigkeit, radioaktive Strahlung wahrzunehmen.

Radioaktivität kann nur mit Meßgeräten nachgewiesen werden. Es gibt mehrere mehr oder weniger gute Verfahren, daß bekannteste und meist auch genaueste Gerät zur sicheren Bestimmung von Radioaktivität ist das Geiger-Müller-Zählrohr (oder kurz Geigerzähler).

Mit diesem Gerät läßt sich die Anzahl von Strahlungsimpulsen in einer bestimmten Zeiteinheit messen. Entsprechend gut geeichte Geräte sind auch in der Lage, ganz geringe Strahlungsdosen im Alltag aufzunehmen und zu bestimmen.

Die Einheit BECQUEREL

Die Maßeinheit für die Aktivität eines Stoffes ist das Becquerel (Bq), daß nach dem Entdecker der Radioaktivität benannt worden ist.

Unter der Aktivität eines Stoffes versteht man die Anzahl der Kerne, die sich in einer Sekunde umwandeln und dadurch einen Strahlungsimpuls abgeben.

Formel:

$$\text{Aktivität Bq} = \frac{\text{Anzahl der Umwandlungen}}{\text{Zeit}}$$

Beispiel:

$$\frac{10 \text{ Kernumwandlungen}}{1 \text{ s}} = 10 \text{ Bq}$$

Die Einheit SIEVERT

Die Aktivität eines Stoffes erlaubt kaum Rückschlüsse auf die Wirkung der Radioaktivität auf Mensch und Tier zu machen.

Um die sogenannte biologische Wirksamkeit von radioaktiver Strahlung zu ermitteln, muß die Masse des betroffenen biologischen Objekt (Mensch, Tier, Pflanze) in Bezug zu der tatsächlich aufgenommenen Energie gesetzt werden; außerdem ist die Art der hauptsächlich wirksam gewordenen Strahlung ein wesentlicher Faktor (α -Strahlung schädigt die Zellstruktur am meisten). Maßeinheit für die so zu errechnende Äquivalentdosis ist das Sievert (Sv).

Anmerkung: Die früher oft verwendete Einheit rem ist seit dem Unfall von Tschernobyl von der Einheit Sievert abgelöst worden, da es sich beim rem um den hundertsten Teil der Maßeinheit Sievert handelt. Um die hohen Dosen der Personen im heutigen Sperrgebiet besser beschreiben zu können, eignet sich die „modernere“, Einheit besser, zumal diese auch international verständlich ist.

Übrigens: Mit der Angabe der reinen Äquivalentdosis – also der aufgenommenen Strahlenart und Strahlenart – kann die biologische Wirksamkeit der Strahlung auf das lebende Gewebe noch nicht völlig erfaßt werden. Selbstverständlich muß auch der Faktor Zeit berücksichtigt werden: Es macht doch einen Unterschied, ob die gleiche Dosis in einem länger oder kürzer andauernden Zeitraum zur Wirkung kommt.

Beispiel: Wenn man sich im Urlaub jeden Tag 10 Minuten in der Sonne aufhält ist das unschädlich. Sollte man 8 Stunden in der Sonne verweilen, ist die Wirkung der Sonne (die ja übrigens auf die Haut eine ähnlich zellschädigende Wirkung hat) viel größer: Der Sonnenbrand ist da.

4. Energiegewinnung im Atomkraftwerk

Atom- oder Kernkraftwerke (ab jetzt AKW genannt) arbeiten im wesentlichen wie „normale“, Wärmekraftwerke (Kohl, Öl, Gas): Hochdruck-Wasserdampf treibt eine Turbine, deren Rotationsenergie im angekoppelten Generator in elektrische Energie umgewandelt wird.

Der Unterschied liegt in der Art des verwendeten Brennstoffs, aus dem die Wärmeenergie zur Erzeugung des heißen Dampfes entsteht.

In den Leistungsgeneratoren (also den Kraftwerken) der heutigen Zeit (sogenannte LWR: Leichtwasserreaktoren, das heißt gewöhnliches „leichtes“, Wasser als Kühlmittel) wird als Brennstoff vorwiegend das Element Uran verwendet, bei dessen Kernspaltung erhebliche Mengen an Wärmeenergie frei werden.

Der Brennstoff befindet sich in langen, relativ dünnen Brennstäben aus Metall, die bündelweise zu Brennelementen zusammengefaßt sind. Zwischen den Brennelementen ist Raum für die Steuervorrichtung. Diese Steuervorrichtungen sind Regel- oder Steuerstäbe, die aus einem speziellen Material bestehen (in der BRD immer Borcadid), das die Eigenschaft hat, freie Neutronen einzufangen und zu absorbieren. Durch Ein- und Ausfahren der Regelstäbe läßt sich die Leistung eines Reaktors kontinuierlich regulieren. Zum Abschalten eines Reaktors werden einfach alle Regelstäbe vollständig in den Reaktorkern eingefahren, so daß die Kettenreaktion im Brennstoff zum Erliegen kommt.

Die Brennelemente sind von Wasser (H_2O) umgeben, daß in den Reaktoren dieser Art zwei wichtige Aufgaben auf einmal erfüllt:

1. Das Wasser dient als Kühlmittel. Das Kühlmittel übernimmt die entstehende Wärmeenergie und führt sie aus dem Reaktorkern heraus.
2. Das Wasser dient als Moderator. Der Moderator im AKW bremst die Geschwindigkeit der Neutronen, die bei der Kernspaltung frei werden.

Die Moderatorfunktion ist für den Betrieb eines Reaktors physikalisch unerlässlich, da die entstehenden Neutronen viel zu schnell sind, um eine Kettenreaktion verursachen zu können. Das Wasser bremst diese Neutronen, denn erst mit einer erheblich verringerten Geschwindigkeit sind sie in der Lage, in die Atomkerne des Brennstoffs einzudringen und deren Spaltung zu bewirken.

Der Reaktorkern befindet sich im stählernen Reaktordruckgefäß. Es ist von einer Betonkammer (dem sogenannten Containment) umgeben, durch deren ca. zwei Meter dicke Wände die radioaktive Strahlung abgeschirmt wird. Dies verhindert das einerseits die Umwelt Schaden nimmt und andererseits das die für den Reaktor lebenswichtigen Neutronen verloren gehen.

5. Die unterschiedlichen Kraftwerkstypen

Der **Siedewasserreaktor (SWR)** arbeitet theoretisch wie ein Topf mit kochendem Wasser: Die Brennstäbe erhitzen sich, so daß das Wasser zu sieden beginnt und teilweise in den dampfförmigen Zustand übergeht.

Die Dampftemperatur beträgt im SWR etwa 290° Celsius; der Druck liegt um die 70 bar. Dieser Hochdruck-Wasserdampf wird aus dem Reaktorbehälter hinausgeführt und *direkt* in die angeschlossene Turbine geleitet. Nachdem die Turbine durchströmt ist, hat der „verbrauchte„ Dampf nur noch wenig Wärmeenergie, der Druck ist auf unter 2 bar herabgesunken. Im Kondensator wird der Dampf durch weitere Kühlung wieder verflüssigt. Das nun zurückgewonnene Wasser gelangt erneut in den Reaktorkreislauf.

Beim **Druckwasserreaktor (DWR)** ist der Betriebsdruck, der im Reaktorbehälter herrscht, mehr als doppelt so hoch wie im Siedewasserreaktor: ca. 150 bar. Hierdurch wird erreicht, daß sich der Siedepunkt des Wassers wesentlich erhöht – sogar bei Temperaturen von über 300° Celsius bleibt es in flüssigem Zustand. Das hochoverhitzte Wasser fließt vom Reaktorbehälter in einen Wärmeaustauscher, wo ein Teil der Wärmeenergie durch metallene Rohre an einen zweiten Sekundärwasserkreislauf gegeben wird, dessen Betriebsdruck geringer ist, so daß sich im Wärmeaustauscher („Dampferzeuger„) Wasserdampf bilden kann. Dessen Temperatur und Druck (etwa 280°C. und 50 bar) reichen aus, um die Turbine anzutreiben. Der weitere Kreislauf verläuft wie beim Siedewasserreaktor. Druckwasserreaktoren haben den Vorteil, daß die Anlagen des Sekundärkreislaufs nicht radioaktiv kontaminiert sind, weil das radioaktiv verunreinigte Kühlmittel in geschlossenen Primärkreislauf geführt wird. Notwendige Reparaturen im Turbinenkreislauf lassen sich deswegen einfacher und schneller erledigen, so daß die durchschnittliche Verfügbarkeit (sogenannte Netzspeisezeit) besonders hoch ist. Außerdem sind die Genehmigungsgebühren und Schutzgebühren für so einen Reaktor niedriger, daß die Energiefirmen diese Anlagen bevorzugen.

In der Sicherheit gibt es allerdings keine Unterschiede, weil alle Anlagen von unabhängigen Instituten geprüft werden und strenge Sicherheitsauflagen erfüllt werden müssen.

In der Bundesrepublik sind sieben Siedewasserreaktoren und vierzehn (doppelt so viele, Gründe s.o.) Druckwasserreaktoren am Netz der öffentlichen Stromversorgung. Außerdem gibt es drei Versuchreaktoren, von denen einer

allerdings von einem benachbarten Kohlekraftwerk versorgt wird, weil es bei den Versuchen in diesem Zentrum zu gefährlich wäre, „echte,, Bedingungen zu haben.

Es gibt noch eine Vielzahl anderer Reaktortypen, auf deren Funktionsweise ich aber nicht weiter eingehen möchte, weil dies den Rahmen dieser Zusammenfassung sprengen würde. Wegen der Vollständigkeit seien sie jedoch kurz erwähnt:

- **Hochtemperaturreaktoren (HTR)** erreichen gegenüber den SWR und DWR Temperaturen von über 1000° und beziehen ihren Brennstoff aus tennisballgroßen Kugeln („Kugelhaufenreaktor,,). In der Bundesrepublik ist der Betrieb dieser Reaktoren nicht mehr erlaubt.
- Der Thorium-Hochtemperaturreaktor mit 300 Megawatt elektrischer Leistung **THTR-300**, der Prototyp dieses Reaktors, war bis Ende 1989 in Hamm-Uentrop in Betrieb.
- **Schnelle Brutreaktoren (SBR)** („Schneller Brüter,,) verwenden schnelle, ungebremste Neutronen. Das Kühlmittel ist Natrium, als Moderator dienen schwierigere Regelanlagen. Der „Schnelle Brüter,, ist sicherlich die größte Fehlinvestition der deutschen Energiegeschichte. Der fertiggebaute Reaktor in Kalkar war nur bei einem Test 20 Sekunden in Betrieb, jetzt dient er als Kernkraftmuseum.
- Eine Reaktorart, die in Deutschland nie erlaubt wurde, hat am 26.04.1986 auf der ganzen Welt Aufsehen erregt: Um 9:11 geschah hier der größte Unfall (GAU=Größter anzunehmender Unfall unter versagen aller Schutzmaßnahmen) in der Geschichte der friedlichen Nutzung von Radioaktivität. Der 3. Reaktorblock des **RBMK-1000**-Reaktors, der in Deutschland verboten ist, explodierte aufgrund eines schwerwiegenden Bedienungsfehlers (!).

6. Die Radioaktivität in der Medizin

- Jeder Mensch, der schon einmal geröntgt wurde, mußte sich radioaktiver Strahlung aussetzen. Auch hier findet man viele Punkte bestätigt, mit denen man sich beim Thema Atomphysik beschäftigt hat. Zum Schutz anderer Organe werden nicht zu durchleuchtende Körperteile mit Bleiwesten abgehängt. Auch verlassen die Angestellten den Raum, wenn „die Bilder geschossen werden,,. Das Prinzip ist theoretisch einfach: Körperteile mit hoher Dichte lassen weniger Strahlung durch als Weichteile, Knochen erscheinen auf dem Film anschließend hell. Dort wo der Knochen gebrochen ist können Strahlen durchdringen und belichten das Fotopapier. Nun hat man auch den Bruch auf dem Bild...
- Auch bei Durchblutungsstörungen kommt Strahlung zum Einsatz: Man injiziert dem Patienten eine radioaktive Lösung die dann den Laufweg des Blutes auf einem Meßgerät sichtbar macht. Jetzt kann man erkennen, wo in der Arterie (z.B. Herzmuskel / Kranzgefäße) eine Verkalkung vorliegt.
- Auch bei Schilddrüsenerkrankungen kommt Radioaktivität vor. Zerstörtes Gewebe der Schilddrüse speichert kein Jod (das für diesen diagnostischen Zweck strahlt) mehr, auf dem Meßgerät kann man den Umfang eines Geschwulstes sofort deutlich erkennen.
- In der Krebstherapie wird neben der häufiger angewandten Chemotherapie auch Strahlentherapie verwendet, um die zerstörten Zellinformation einer Krebszelle ganz zu vernichten und die Zelle so abtöten. Ein weiteres Teilen dieser bösartigen Geschwulst kann bei richtiger Anwendung fast ausgeschlossen werden.

Literatur / Quellen

Kernenergie, Jürgen Seidel (Hrsg.), Econ Verlag 1992

Physik für Gymnasien, Cornelsen Verlag (Band 2)

Institut für Nuklearmedizin und Röntgendiagnostik (Internet)

Kerne - Bitte nur für Frieden

URENCO, Firma für Urananreicherung in Ahaus, Bevölkerungsinformation