

Kapitel 8: Radioaktivität

Inhalt

<u>Kapitel 8: Radioaktivität.....</u>	<u>120</u>
<u>Inhalt.....</u>	<u>121</u>
<u>Informationen zur Radioaktivität.....</u>	<u>122</u>
<u>Die Entdeckung der Radioaktivität:.....</u>	<u>122</u>
<u>Strahlungsarten.....</u>	<u>122</u>
<u>Was ist Radioaktivität.....</u>	<u>123</u>
<u>a) Versuch von Henri Becquerel (1896):.....</u>	<u>123</u>
<u>b) Strahlungsarten:.....</u>	<u>123</u>
<u>Weitere Beispiele für die 3 Strahlungsarten.....</u>	<u>124</u>
<u>β-Emission.....</u>	<u>124</u>
<u>γ-Strahlen.....</u>	<u>124</u>
<u>Neutronenstrahlen.....</u>	<u>124</u>
<u>^{14}C - Methode zur Altersbestimmung.....</u>	<u>125</u>
<u>Massendefekt.....</u>	<u>125</u>
<u>Zerfallsgeschwindigkeit.....</u>	<u>126</u>

Informationen zur Radioaktivität

(Nach Wikipedia: <http://de.wikipedia.org/wiki/Radioaktivität>)

Unter Radioaktivität oder radioaktivem Zerfall versteht man die spontane Umwandlung instabiler Atomkerne unter Energieabgabe. Die freiwerdende Energie wird in Form energiereicher Teilchen oder Strahlung abgegeben, die entweder als Alphateilchen, Betateilchen oder Gammastrahlung bzw. Röntgenstrahlen bezeichnet werden.

Radioaktive Stoffe, sind sehr schwere Elemente, welche eine hohe Anzahl an Protonen und somit in ihrem Atomkern eine hohe Spannung haben, da alle Protonen sich gegenseitig mit ihren positiven Ladungen abstoßen. Man spricht auch vom radioaktiven Zerfall der Atomkerne.

Bei einem solchen Zerfall kann sich die Protonenzahl des Atoms ändern (d.h. es findet eine Umwandlung in ein anderes chemisches Element statt). Es kann sich aber auch nur die Massenzahl ändern (d.h. Umwandlung in ein anderes Isotop desselben Elements).

Die Stärke der Radioaktivität wird durch den physikalischen Begriff der „Aktivität“ beschrieben und in der Einheit Becquerel angegeben.

Die Halbwertszeit ist der Zeitraum, nach dem durchschnittlich die Hälfte der instabilen Atomkerne einer Menge zerfallen sind. Sie kann nur Sekundenbruchteile, aber auch einige Milliarden Jahre betragen. Derartige Nuklide sind beispielsweise Uran-238 und Uran-235, Thorium oder Kalium-40. Je kürzer die Halbwertszeit, desto größer die Radioaktivität. Mathematisch wird der Zerfall durch das Zerfallsgesetz beschrieben.

Die Entdeckung der Radioaktivität:

Der französische Physiker **Antoine Henri Becquerel** stellte 1896 fest, dass das Element Uran lichtempfindlichen Film schwärzen kann, selbst wenn er nicht vom Uran berührt wird.

Die polnische Chemikerin **Marie Curie** und ihr Ehemann Pierre Curie war 1898 auf der Suche nach einem neuen Element, welches sie versuchte aus der Pechblende zu isolieren. Sie entdeckte bei ihren Forschungen neben dem Radium dann auch das Polonium, welches sie nach ihrer Heimat nannte. Sie bewies also, dass Radioaktivität eine Elementeigenschaft ist und bei verschiedenen Elementen auftritt.

Gerhard Carl Schmidt aus Erlangen machte zur gleichen Zeit ähnliche Entdeckungen.

1899 war ein wichtiges Jahr. Die Briten Ernest Rutherford und Frederick Soddy entdeckten das radioaktive Gas Radon, der Franzose André Louis Debierne fand das strahlende Actinium.

Schon bald wusste man, dass die Radioaktivität eine sehr große Energiequelle ist. Die Curies berechneten die beim radioaktiven Zerfall von Radium frei werdende Wärmeenergie auf ca. 420 Joule/ (Gramm Radium · Stunde).

Bemerkenswert fanden sie daran, dass diese Energie in Wärme umgewandelt werden kann und diese über Jahre unvermindert anhält. (Zum Vergleich: 1g Kohlenstoff setzt 33 600 Joule frei).

Was die Curies nicht ahnten, war allerdings die stark schädigende Wirkung der Radioaktivität. Da sie beide viele Jahre schutzlos mit Radioaktiven Stoffen arbeiteten, waren sie hochgradig verstrahlt und starben beide an den Folgen der Strahlenkrankheit.

Strahlungsarten

Schon Rutherford bestätigte, es mehrere Strahlungsarten geben muss:

- positiv geladene **Alphateilchen**, die Papier nicht durchdringen können
- negativ geladene **Betateilchen**, welche kleiner sind und die Haut von Menschen durchdringen.
- ungeladene **Gammastrahlung**, welche sehr energiereich ist, viele Stoffe durchdringt und erbgutschädigend sowie stark gesundheitsschädlich ist.

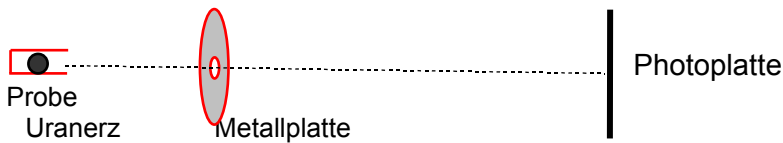
Aufgaben zum Verständnis:

1. Was versteht man unter Radioaktivität? Erkläre und nenne Beispiele
2. Welche Arten von Strahlung gibt es? Welche Gefahren gehen davon aus?
3. Wie erklärst Du Dir den radioaktiven Zerfall?

Was ist Radioaktivität

Wiederhole zuerst die Begriffe Ordnungszahl, Kernladungszahl und Massenzahl sowie das Modell zur Anziehung von geladenen Teilchen¹

a) Versuch von Henri Becquerel (1896):

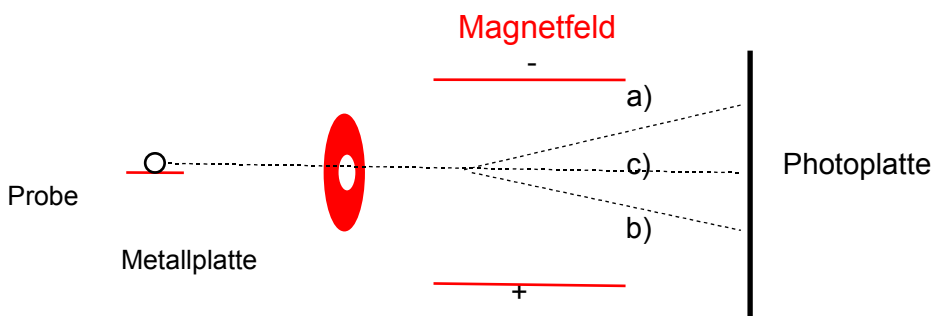


Einige Elemente geben eine unsichtbare Strahlung ab, welche Metalle (Hinweis Rutherford: sehr dünne Folien schon) nicht durchdringt aber Photoplatten schwärzt. Sie wird als Radioaktivität bezeichnet (griech.: „radius“ = Strahl)

b) Strahlungsarten:

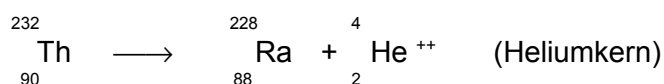
Die Strahlung von 3 Proben wird durch eine Metallplatte gebündelt und durch ein Magnetfeld geleitet. Die Ablenkung im Magnetfeld wird gemessen

Die Proben: a) ^{232}Th b) ^{228}Ra c) ^{224}Ra

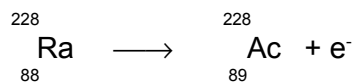


- α -Strahlen bestehen aus positiv geladenen Heliumkernen: ($V=10000-30000 \text{ km/s}$)

z.B.:



- β -Strahlen bestehen aus Elektronen: ($V=130\,000 \text{ km/s}$)



- χ -Strahlen sind elektromagnetische Strahlen, die den Röntgenstrahlen sehr ähnlich sind (Folie zu Wellenlängen elektromagnetischer Strahlen).

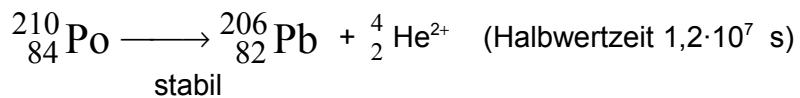
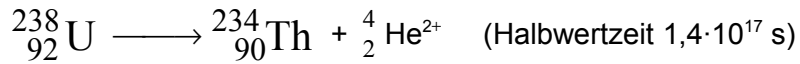
Atome sind also doch teilbar (gr. Atomos = das Unteilbare), allerdings findet dies nur in der Kernphysik Anwendung. In der Chemie nicht!

Radioaktive Atome sind in ihrem Grundaufbau instabil. Sie zerfallen in stabile Nukleonen und senden dabei energiereiche Strahlen aus. Unterschieden wird dabei nach den Zerfallsprodukten (und der Halbwertszeit).

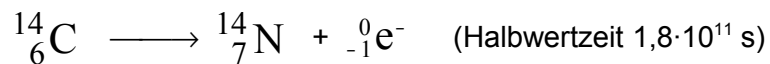
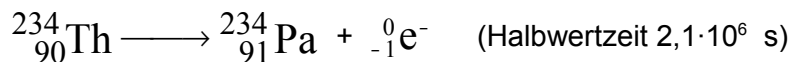
¹ Was passiert, wenn Du Plastikfolie und Papier aneinander reibst? (Papier und Folie ziehen sich an, da sie gegensätzliche Ladungen haben. Folie und Folie hingegen stoßen sich ab (\Rightarrow gleichsinnige Ladungen))

Weitere Beispiele für die 3 Strahlungsarten **α -Zerfall**(Abstrahlung von ${}^4_2\text{He}^{2+}$ - Kernen)

Abnahme von 2 Protonen und 2 Neutronen des strahlenden Nuklids

 **β -Emission**(Abstrahlung von ${}^0_{-1}\text{e}^-$ - Elektronen)

Bei Nukliden mit zu hohem Neutronen / Protonen - Verhältnis bewirkt die β -Emission eine Abnahme der Neutronenzahl um 1 und eine Zunahme der Protonenzahl um 1 (Umwandlung eines Neutrons in ein Proton).

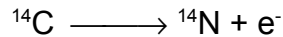


(Zerfallsreaktion zur C-14 - Altersbestimmung)

 γ -Strahlen

sind energiereiche, hochfrequente elektromagnetische Wellen aus der Elektronenhülle durch Energieänderung der Elektronen.

Neutronenstrahlensind energiereiche Neutronen ${}^1_0\text{n}$.

^{14}C - Methode zur Altersbestimmung

Die Halbwertszeit ist der Zeitraum, in dem die Hälfte aller ursprünglich vorhandenen Atome zerfallen ist. Sie ist für jedes Atom verschieden und von äußeren Bedingungen unabhängig:

Halbwertszeit ^{14}C = 5730 Jahre

Durch nat. Radioaktivität existiert das Kohlenstoffisotop ^{14}C . Es wird von allen Lebewesen mit der Nahrung aufgenommen, solange dieses lebt. Nach dem Tode kann man durch den „Restgehalt“ an ^{14}C bestimmen, wann das Lebewesen lebte.

⇒ von 100% ^{14}C sind nach 5730 Jahren nur noch 50% vorhanden

⇒ von 100% ^{14}C sind nach 11460 Jahren nur noch 25% vorhanden...

Massendefekt

Die Summe der Massen aller Elementarteilchen eines Atoms ist verschieden von der effektiven Atommasse. Die Differenz wird als **Massendefekt** bezeichnet.

$$\begin{aligned} \text{Beispiel: } m(^{35}\text{Cl}) &= 17 \cdot (1,007277 \text{ u} + 0,0005486 \text{ u}) + 18 \cdot 1,008665 \text{ u} \\ &= 35,28901 \text{ u} \quad (\Sigma \text{ Protonen, Elektronen, Neutronen}) \\ - m(^{35}\text{Cl})_{\text{eff}} &= 34,96885 \text{ u} \\ &= 0,32016 \text{ u} \quad (\text{Massendefekt}). \end{aligned}$$

Nach $E = m \cdot c^2$ lässt sich aus dem Massendefekt die Bindungsenergie der Kernbausteine berechnen:

$$\begin{aligned} E &= 0,32016 \cdot 1,66056 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot 9 \cdot 10^{16} \text{ m}^2\text{s}^{-2} \\ E &= 4,78 \cdot 10^{-11} \text{ J pro Chloratom oder} \\ E &= 1,37 \cdot 10^{-12} \text{ J pro Nukleon des Chlors (1/35 von } ^{35}\text{Cl}). \end{aligned}$$

$$\text{Mit } 1,60219 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1 \text{ eV}$$

ist die Kernbindungsenergie 8,5 MeV pro Nukleon des Chlor-35.
Die Kernbindungsenergie in 1 g ^{35}Cl beträgt 229.000 kWh!

Zerfallsgeschwindigkeit

- Geschwindigkeit 1. Ordnung (vgl. Kinetik, s.u.)
- abhängig von der Geschwindigkeitskonstante des Zerfalls
- temperaturunabhängig (keine Aktivierungsenergie notwendig)
- Die Zerfallsgeschwindigkeit gibt Auskunft über den Zeitraum und die Intensität der radioaktiven Strahlung.

Differenzialgleichung des Zerfalls: $\frac{dN}{dt} = -k \cdot N$ ($k > 0$)

integriert: $N(t) = N_0 \cdot e^{-kt}$ oder

$$-\ln \frac{N}{N_0} = k \cdot t$$

N = Menge radioaktiver Teile (in g, Teilchen u.a.)

t = Zeit

k = Geschwindigkeitskonstante des Zerfalls (Zerfallskonstante)

N_0 = Menge zur Zeit $t = 0$

Halbwertszeit des Zerfalls:

$$N = 1/2 N_0; \quad N/N_0 = 0,5$$

$$k = (-\ln 0,5) / t_{1/2}$$

$$t_{1/2} = 0,693 \cdot 1/k$$

Beispiel: Das genaue Alter eines historischen Holzbalken soll bestimmt werden. Eine Messung ergibt, dass er pro Minute 8,0 Entladungsimpulse an ^{14}C (pro Gramm C) abgibt. Die Halbwertszeit ($t_{1/2}$) von ^{14}C beträgt 5760 Jahre.

Frisches Holz gibt 15,3 Impulse pro Minute und pro Gramm Kohlenstoff ab.

Lösung: $k = 0,693 \cdot 1/t_{1/2}; \quad k = 1,203 \cdot 10^{-4} \text{ Jahre}^{-1}$
 $= 1,203 \cdot 10^{-4} \text{ Jahre}^{-1} \cdot t$

$$\ln \frac{15,3 \text{ min}^{-1}}{8,0 \text{ min}^{-1}}$$

$$t = \underline{\underline{5400 \text{ Jahre}}}$$