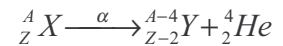


Physik Wissen für's Vordiplom

Strahlungsarten:

α -Zerfall

- α -Strahlen bestehen aus α -Teilchen: **Helium Kerne**, bestehend aus 4 Nucleonen – 2 Protonen und 2 Neutronen $\rightarrow {}^4_2\text{He}$ **ohne Elektronenhülle** und mit der **Ladung 2+**
- kommen bei natürlichen und künstlich hergestellten Nucliden vor – aber nur **ab der Massenzahl 209 und der Ordnungszahl 82** (zu viele Protonen um stabil zu sein)
- Die Emission eines α -Teilchens **verringert die Zahl der Protonen und Neutronen jeweils um zwei** \rightarrow wird zu einem Ion mit Ladung 2- durch 2 überschüssige Elektronen
- Beide Zerfallsprodukte reagieren schnell zu ungeladenen Atomen
- Bei einem α -Zerfallprozeß wird das **α -Teilchen mit hoher kinetischer Energie aus dem Atomkern geschleudert** – der Restkern erfährt einen **Rückstoß mit geringerer kinetischer Energie** – ist die Summe der kinetischen Energien von α -Teilchen und Restkern gleich der Zerfallsenergie, liegt der Restkern in seinem Grundzustand vor – bei einer Summe, die geringer ist als die Zerfallsenergie, hinterbleibt ein Kern im angeregten Zustand und strahlt Energie in Form von γ -Strahlung ab, um den Grundzustand zu erreichen:



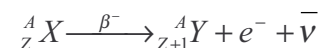
$\text{kin.}E_{\alpha\text{-Teilchen}} + \text{kin.}E_{\text{Restkern}} = \text{Zerfallsenergie } \Delta E \rightarrow \text{Grundzustand}$
 $\text{kin.}E_{\alpha\text{-Teilchen}} + \text{kin.}E_{\text{Restkern}} < \Delta E \rightarrow \text{angeregter Zustand} \rightarrow \gamma\text{-Strahlung}$

γ -Strahlung

- γ -Strahlung ist **elektromagnetische Strahlung mit sehr kleiner Wellenlänge**
- Hervorgerufen **durch Zustandsänderung im Kern** – Übergänge zwischen bestimmten Energieniveaus (*Unterschied zu Röntgen-Strahlung: das Röntgen-Photon stammt aus einem Quantensprung der Elektronen in der Atomhülle*)
- γ -Strahlung **wird in Quanten mit definierter Energie abgegeben** \rightarrow die **Energiedifferenz zwischen je zwei Energieniveaus** entspricht der Energie des jeweils emittierten Quants
- Häufige Begleiterscheinung bei radioaktiven Zerfallsreaktionen
- Bei jedem Zerfallsvorgang ist die Summe der kinetischen Energie des α -Teilchens, der Energie des γ -Quants und die Rückstoßenergie des Produkt-Kerns gleich der Zerfallsenergie

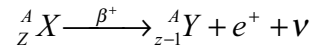
$\text{kin.}E_{\alpha\text{-Teilchen}} + E_{\gamma\text{-Quant}} + E_{\text{Rückstoß}} = \text{Zerfallsenergie } \Delta E$

β^- -Zerfall



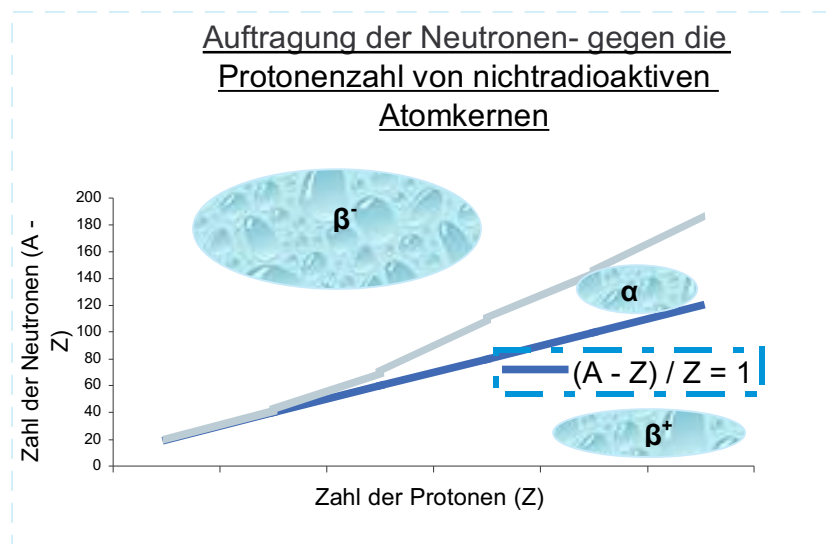
- Es **ändert sich nur die Ordnungszahl Z**, nicht aber die Massenzahl A
- β^- -Teilchen sind **Elektronen** $\rightarrow {}_{-1}^0\text{e}$ mit 0, da es keine Nucleonen enthält und einer Ladung von -1
- **In einem Atomkern gibt es keine Elektronen (!)** – aber ein Neutron kann sich zu einem Proton umwandeln indem es ein Elektron ausstößt $\rightarrow {}^1_0\text{n}$ **wird zu** ${}^1_1\text{p} + {}_{-1}^0\text{e}$ \rightarrow die **Neutronenzahl verringert sich um 1** und die **Protonenzahl erhöht sich um 1** (\rightarrow Erhöhung der Ordnungszahl bei gleicher Masse)
- Das Verhältnis von Neutronen zu Protonen nimmt ab – **Atomkerne mit einem zu großen Verhältnis zerfallen deshalb durch β^- -Emission**
- Häufiger Zerfallsvorgang bei natürlichen wie künstlich hergestellten Nucliden
- Die **Rückstoßenergie ist vernachlässigbar**, wegen der sehr kleinen Masse des Elektrons
- Die Zerfallsenergie entspricht nicht der kinetischen Energie des β^- -Teilchens und die Energie ist nicht bei allen Teilchen gleich (sondern **kontinuierliches Spektrum von β^- -Teilchenenergien** beobachtbar) \rightarrow **Emission eines zusätzlichen Teilchens, einem Antineutrino**, das die überschüssige Energie übernimmt, ungeladen ist und eine sehr geringe Masse hat

β^+ -Zerfall



- **Künstlich hergestellte** instabile Nuclide mit einem **kleineren Neutronen / Protonen-Verhältnis, als es zur Stabilität notwendig ist**, zerfallen auf diese Weise
- **Positronen-Emission** \rightarrow gleiche Masse wie ein Elektron, aber eine positive Ladung: ${}^0_1 e$
- Der Ausstoß eines Positrons **verwandelt ein Proton in ein Neutron** \rightarrow die **Ordnungszahl vermindert sich um 1**, die Massenzahl bleibt gleich
- Die Masse des zerfallenden Nuclids muß mindestens um 0,00110 u (Masse von 2 Elektronen) größer sein als diejenige des entstehenden Nuclids für einen spontanen Zerfall
- Auch hier ein kontinuierliches Teilchenenergiespektrum \rightarrow **gleichzeitige Emission von Neutrinos**
- *Kollidieren ein Elektron und ein Positron, löschen sich beide gegenseitig unter γ -Strahlung aus – die Energie des γ -Quants entspricht der Masse beider Teilchen*

Außerdem gibt es noch den Elektronen-Einfang und spontane Kernspaltung



Radioaktive Zerfallsreihen:

Bei Zerfallsvorgängen entstehen meist Kerne, die selbst radioaktiv sind und weiterzerfallen – wiederholte Vorgänge dieser Art ergeben eine Folge von Zerfallsprozessen, deren Ende sich erst mit einem stabilen Nuclid ergibt \rightarrow Radioaktive Zerfallsreihen

- ☀ In der Natur sind **drei Zerfallsreihen** von Bedeutung
- ☀ Diese bestehen nur aus α -, β^- - und γ -Emissionen
- ☀ Sie **beginnen mit den natürlich vorkommenden** radioaktiven Nucliden ${}^{232}_{90}\text{Th}$, ${}^{235}_{92}\text{U}$ und ${}^{238}_{92}\text{U}$ und enden bei drei Blei-Isotopen
- ☀ Manchmal gibt es **Verzweigungen**, bei denen ein Nuclid auf zwei Arten zerfallen kann – meist ist **eine davon bevorzugt**
- ☀ In der Natur vorkommende Nuclide haben entweder sehr lange Halbwertszeiten oder entstehen **dauernd neu durch den Zerfall anderer Nuclide**
- ☀ Je länger die Halbwertszeit eines Nuclids ist, desto größer ist sein Massenanteil in der Zerfallsreihe
- ☀ Nur Nuclide mit einer **Halbwertszeit über 10^8** können noch in **nennenswerter Menge** auf der Erde vorkommen
- ☀ Die **Strahlung von solchen mit Halbwertszeiten über 10^{15}** ist vernachlässigbar

Altersbestimmung mit C¹⁴:

Das radioaktive Nuclid ¹⁴₆C entsteht ständig in der Atmosphäre durch das Auftreffen von Neutronen aus der kosmischen Strahlung (wohl Reststrahlung von der Materien-Strahlungs-Entkopplung zu Beginn des Universums...) auf Stickstoff



Das ¹⁴₆C wird in der Atmosphäre zu CO₂ (g) oxidiert → Kohlendioxid in der Luft zu einem geringen Teil radioaktiv
Durch β⁻-Zerfall verschwindet das ¹⁴₆C wieder



Zwischen entstehendem und zerfallendem ¹⁴₆C besteht ein Gleichgewicht, bei dem die pro Zeiteinheit entstehende und die zerfallende Menge gleich groß ist → konstanter Wert an radioaktivem Kohlenstoff

In jedem Gramm Kohlenstoff finden etwa 15 Zerfallsreaktionen pro Minute statt
Bei der Photosynthese wird das Kohlendioxid aus der Luft assimiliert, in das pflanzliche Gewebe eingebaut und in der Nahrungskette auch an alle anderen Lebewesen weitergereicht → in lebenden Tieren und Pflanzen ist der Anteil an ¹⁴₆C im Kohlenstoff gleich dem in der Atmosphäre – also ebenfalls konstant

Nach dem Tod des Lebewesens kann kein weiteres radioaktives ¹⁴₆C aufgenommen werden und die Menge nimmt kontinuierlich ab (durch radioaktiven Zerfall) → dadurch wird der Todeszeitpunkt / das Alter berechenbar

Halbwertszeit von ¹⁴₆C = 5730 Jahre

$$\rightarrow \text{Zerfallskonstante: } k = \frac{\ln 2}{t \frac{1}{2}} = \frac{0,693}{5730a} = 1,21 \cdot 10^{-4} a^{-1}$$

Danach weiter mit der Anzahl der Zerfälle pro Minute in frischem Gewebe und der Anzahl der Zerfälle pro Minute im zu untersuchenden Gewebe mit:

$$\ln \frac{N_0}{N} = kt$$

Mit N₀ = 15 und N = 9,0 erhält man:

$$\ln \frac{15 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1}}{9,0 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1}} = 1,21 \cdot 10^{-4} a^{-1} \cdot t \text{ und } t = 4,2 \cdot 10^3 \text{ Jahre}$$

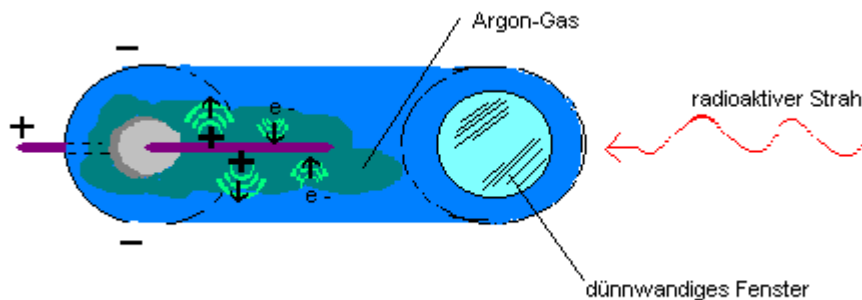
Bei der Berechnung wird angenommen, dass der ¹⁴₆C-Anteil in der Atmosphäre über Jahrhunderte gleich geblieben ist – durch das Abzählen von Jahresringen bei Bäumen und der Messung von deren Aktivität wurden Schwankungen errechnet, die als Korrekturfaktoren (sind jedoch nie größer als 10%) miteinbezogen werden können

Das Zerfallsgesetz

$$N = N_0 \cdot e^{-kt}$$

Messung der Radioaktivität:

- ⊗ Photographische **Filme werden belichtet** – relativ ungenau, aber zur Strahlenschutz-Überwachung von Personen genutzt
- ⊗ Manche Substanzen (z.B. Zinkblende) **absorbieren die Energie** von auftretender radioaktiver Strahlung und **wandeln sie in Licht um** → **Fluoreszenz**, bei jedem Auftreffen eines Teilchens wird ein kleiner Lichtblitz erzeugt (Fernsehbild) → genutzt im **Szintillationszähler** (Zinksulfid auf einem photoelektrischem Meßinstrument, bei Aufblitzen des Zinksulfids wird ein elektrischer Impuls im Meßgerät ausgelöst → verstärkt und elektronisch gezählt)
- ⊗ **Geiger-Müller-Zähler**



Während ein Teilchen oder γ -Strahl das Rohr durchquert, werden Elektronen aus den Argon-Atomen herausgeschlagen und Ar^+ -Ionen gebildet, die von der negativen Elektrode - Rohrwand - angezogen werden, die Elektronen werden von dem Draht – positive Elektrode - angezogen (durch ein elektrisches Potential zwischen Rohrwand und Draht von 1000 – 1200 V). **Beschleunigte Elektronen treffen weitere Argon-Atome und ionisieren diese Kaskade von Ionen, die einen kurzzeitigen Stromfluß zwischen Rohr und Draht bewirken** → Stromstoß wird verstärkt und mit einer Zählvorrichtung registriert / hörbar gemacht.

- ⊗ **Die Wilson-Nebelkammer** macht die zurückgelegten Wegstrecken von Teilchen aus radioaktiven Zerfällen sichtbar, da diese entlang ihres Weges Ionen erzeugen. Die Nebelkammer enthält Luft und ist mit den Dämpfen einer Flüssigkeit (Wasser, Alkohol) gesättigt – durch Bewegung eines Kolbens wird die Luft plötzlich expandiert und abgekühlt → Übersättigung → **Flüssigkeitstropfen bilden sich an den Ionen, die von den radioaktiven Strahlen erzeugt wurden. Die Tröpfchenspuren können fotografiert und ausgewertet werden – sichtbar sind Weglängen und Kollisionen der Teilchen**

Die radioaktive Zerfallsgeschwindigkeit:

Für die Zerfallsgeschwindigkeit von allen radioaktiven Substanzen gilt ein Geschwindigkeitsgesetz 1. Ordnung – sie ist unabhängig von der Temperatur und hängt demnach nur von der Menge der vorhandenen Substanz ab.

N = Zahl der vorhandenen Atome einer radioaktiven Substanzprobe

ΔN = Zahl der Atome, die im Zeitintervall **Δt** zerfallen

$$-\frac{\Delta N}{\Delta t} = kN \text{ negatives Vorzeichen wegen abnehmender Menge}$$

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Der Bruchteil der Probe, der im Zeitintervall zerfällt ist **proportional** zu diesem Zeitintervall:

$$-\frac{\Delta N}{N} = k\Delta t$$

N_0 = die Zahl der zu Beginn vorhandenen radioaktiven Atome

$$\frac{dN}{N} = -kdt \quad \text{Integration} \rightarrow \ln N - \ln N_0 = -kt$$

↓

$$\ln \frac{N_0}{N} = kt$$

für $t = t_{1/2}$, $N = \frac{1}{2} N_0$

$$\ln(1/2) = -kt_{1/2} \rightarrow t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k} = \frac{0,693}{k}$$

N kann als Zahl der Atome, der Mole oder in beliebigen Masseneinheiten angegeben werden
→ Einheiten kürzen sich heraus

Aktivität:

- ◆ **Strahlungsmenge, die aus einer Probe pro Zeiteinheit austritt** = Aktivität
- ◆ Als **Anzahl der Kernprozesse pro Zeiteinheit** angegeben
- ◆ SI-Einheit → Becquerel (Bq) – früher Curie (Ci)
- ◆ Die Aktivität ist **umgekehrt proportional zur Halbwertszeit** → **je schneller eine radioaktive Substanz zerfällt, desto intensiver strahlt sie**
- ◆ Die Aktivität ist proportional zur Zahl der vorhandenen radioaktiven Atome
 $N / N_0 = a / a_0$ zur Zeit $t = 0$

$$a = -\frac{dN}{dt} = kN = \frac{0,693}{t_{1/2}} N$$

1 Bq = 1 Kernprozeß pro Sekunde

1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq

Beispiel:

Aktivität von 4,00 GBq am Anfang, nach 20 Tagen 3,41 GBq → Halbwertszeit??

$$\ln \frac{N_0}{N} = kt$$

$$\ln \frac{4,00 \text{ GBq}}{3,41 \text{ GBq}} = k \cdot 20 \text{ d}$$

$$k = 7,98 \cdot 10^{-3} \text{ d}^{-1} \Rightarrow t_{1/2} = \frac{0,693}{k} = \frac{0,693}{7,98 \cdot 10^{-3} \text{ d}^{-1}} = 86,8 \text{ Tage}$$

Atome und Moleküle:

Energie eines Photons

$$E = h \cdot f$$

$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ – Plancksches Wirkungsquantum, f = Frequenz der elektromagnetischen Strahlung

$$\frac{\text{Atomdurchmesser}}{d \approx 10^{-10} \text{ m} = 1 \text{ \AA}}$$

$$\frac{\text{Atomkerndurchmesser}}{d \approx 10^{-15} \dots 10^{-14} \text{ m}}$$

Die bei einem Quantensprung vom Atom absorbierte oder emittierte Energie

$$E_{n_2 - n_1} = E_{n_2} - E_{n_1} = h \cdot f_{n_2 - n_1}$$

n_1, n_2 = Hauptquantenzahlen in der Elektronenschale 1 bzw. 2,
 $f_{n_2 - n_1}$ = Frequenz der absorbierten oder emittierten elektromagnetischen Strahlung

Energiezustände im Wasserstoff-Atom

$$E_n = -13,6 \text{ eV} / n^2$$

Ionisationsenergie des Wasserstoff-Atoms

$$E_{\text{ion}} = E_1 = -13,6 \text{ eV}$$

Die Röntgenröhre:

- ☞ **Kathodenstrahlröhre**, bei der die Kathode meist hohlspiegelartig ausgebildet ist → **Elektronen treffen in einem Brennfleck auf die Anode**
- ☞ Anodenspannung liegt zwischen **10 kV und 400 kV (zur Beschleunigung)** – so hoch, dass gekühlt werden muß
- ☞ Anodenmaterial besteht aus **Wolfram oder Kupfer**
- ☞ Die Anwendung beruht darauf, dass beim Abbremsen der Elektronen infolge der Geschwindigkeitsänderung (**schnelle Elektronen prallen auf eine Metallplatte und verlieren Energie**) ein **elektromagnetisches Feld entsteht, das sich als elektromagnetische Welle ausbreitet**
- ☞ Wellenlängen im Bereich von 10^{-8} bis 10^{-12} m je nach Anodenspannung
- ☞ **Bremsstrahlung:** Treffen elektrische Ladungen mit hoher kinetischer Energie auf Materie, so werden sie im elektrischen Feld der Atomkerne abgelenkt und emittieren dabei auf Kosten ihrer Energie elektromagnetische Strahlung – je nach Nähe des Vorbeiflugs am Atomkern ist der Bremsverlust größer oder kleiner, die Photonen der Bremsstrahlung weisen höhere oder kleinere Energien auf → kontinuierliches Bremsstrahlungsspektrum \equiv Energieverlust von Null bis zu einer Grenzenergie
- ☞ Wenn die Elektronen auf die Anode treffen haben sie eine **Energie, die zahlenmäßig der angelegten Spannung gleich ist** (Spannung = 100000 V → Energie der Elektronen = 100000 eV) → die **Energie der Röntgenstrahlung und damit deren Wellenlänge** (umgekehrt proportional zueinander – je kleiner die Energie, desto größer die Wellenlänge) **ist durch die angelegte Spannung bestimmt**