Isotope, Radioaktive Zerfälle und Strahlungen

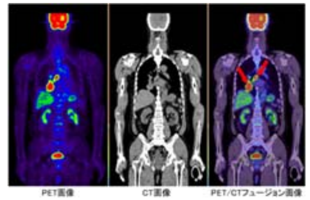
L. Smeller

Warum ist es interessant?

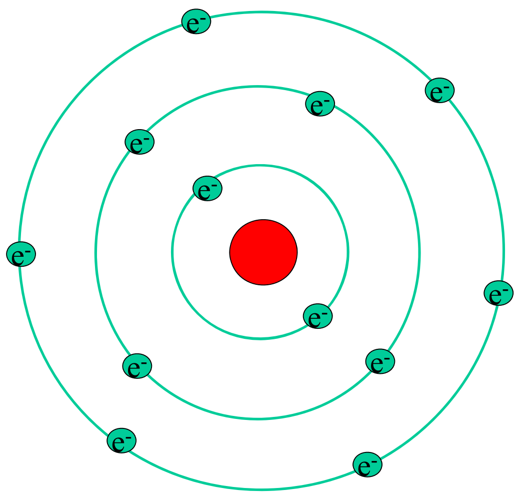
Medizinische Anwendungen der radioaktiven Strahlungen:

- - Diagnostik
(Isotopendiagnostik)
-- Therapie (Strahlentherapie)

Pharmazeutische Anwendungen:
-- Pharmakokinetische
Untersuchungen



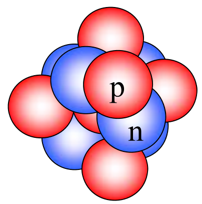
Aufbau des Atoms



Elektronenschale
=>chemische
Eigenschaften

Atomkern:
=> Radioaktivität

Aufbau des Atomkernes



	Ladung	Masse
Proton	**+1 e**	**1 a.u.**
Neutron	**0**	**1 a.u.**

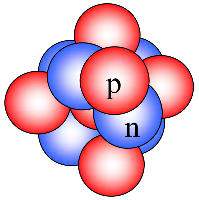
A (Massenzahl) = Protonenzahl + Neutronenzahl → 99
Z (Ordnungszahl) = Protonenzahl → 43

$^{99}_{43}\mathrm{Tc}$

99 Nukleon: 43 Proton és 56 Neutron

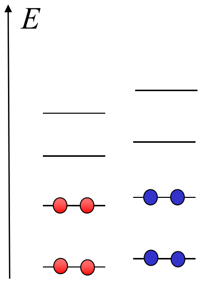
Stabilität des Atomkernes

Coulomb-Kraft	Abstoßung zw. Protonen	destabilisiert
Kernkraft	Ladungsunabhängig kurze Reichweite	stabilisiert



Diskrete Energieniveaus

Typische Übergangsenergie-verte: einige MeV



Isotope

Atomkerne mit gleicher Ordnungszahl aber unterschiedlicher Massenzahl
=> gleiche Protonenzahl unterschiedliche Neutronenzahl
Varianten des gleichen Elementes => Chemische Eigenschaften sind identisch!

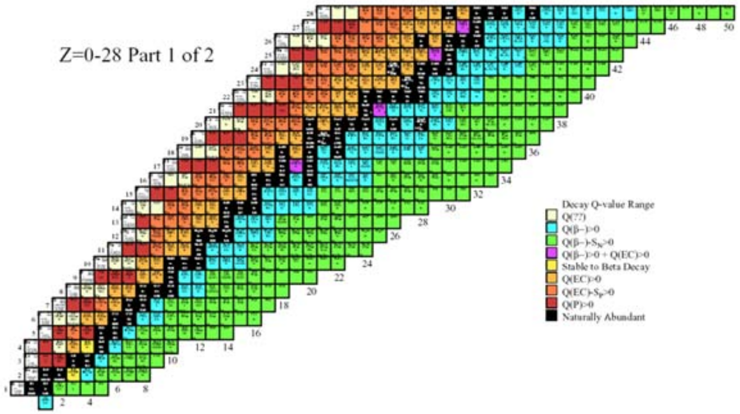
Pl:	${}^{18}_{9}\mathbf{F}$	${}^{19}_{9}\mathbf{F}$	${}^{20}_{9}\mathbf{F}$
	instabil (radioaktiv)	stabil	instabil (radioaktiv)

Isotop <-> radioaktives Isotop

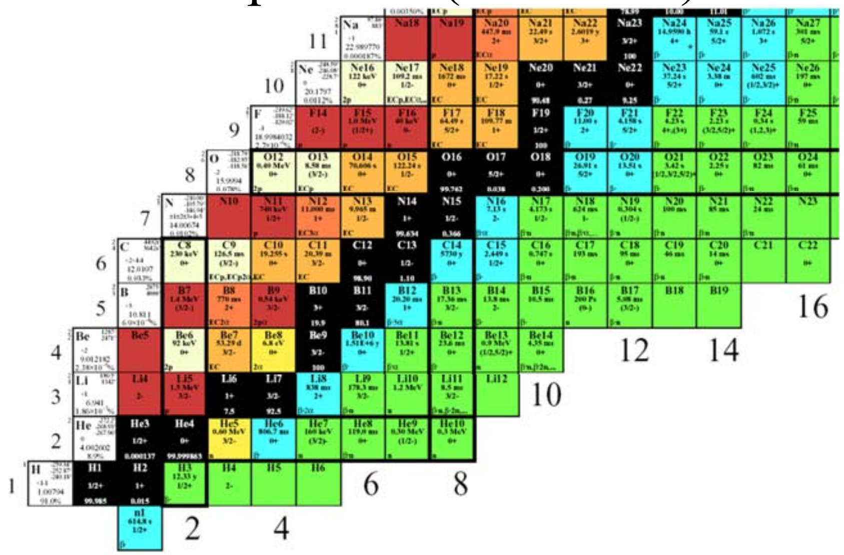
Isotoptabelle

Table of Isotopes (1998)

Z=0-28 Part 1 of 2



Isotoptabelle (Abschnitt)



Zerfalle und radioaktive Strahlungen

α - Zerfall	α - Teilchen =	${}^{4}_{2}$He Atomkern
β -Zerfall: β^-	β^- Teilchen =	Elektron
β^+	β^+ Teilchen =	Positron
K-Einfang		charakteristische Röntgenstrahlung
Isomere Kernumwandlung		γ-Strahlung

α - Zerfall

Hierbei treten ^{4}He Atomkerne aus dem Atomkern aus. Damit erhöht sich die Stabilität des Kernes

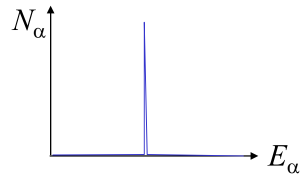
Massenzahl ↓4 Ordnungszahl ↓2

$${}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}\alpha$$

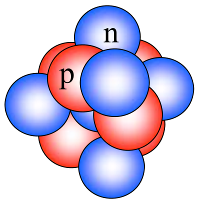
$$\text{Pl}: \quad {}^{226}_{88}\text{Ra} \longrightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn} + {}^{4}_{2}\alpha$$

Enenergiespektrum: Linienspektrum

$E_\alpha \sim$ MeV



β^- - Zerfall



Neutronenüberschuss

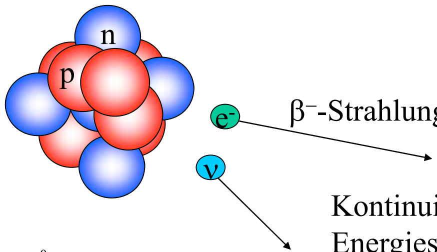
$${}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}\beta + \overline{\nu}$$

$${}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{1}_{1}p + {}^{0}_{-1}\beta + \overline{\nu}$$

bleibt im Atomkern treten aus

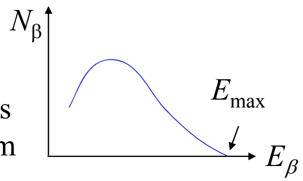
zB: ${}^{20}_{9}F$ ${}^{32}_{15}P$ ${}^{59}_{26}Fe$ ${}^{131}_{53}I$

$$\text{zB}: \quad {}^{32}_{15}\text{P} \longrightarrow {}^{32}_{16}\text{S} + {}^{0}_{-1}\beta + \overline{\nu}$$



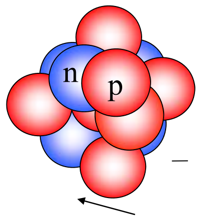
β^--Strahlung

Kontinuierliches Energiespektrum



$\beta^- = {}^{0}_{-1}\beta = e^-$

β^+ - Zerfall



Protonenüberschuss

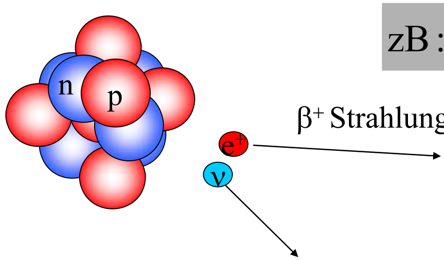
$${}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + {}^{0}_{+1}\beta + \nu$$

$${}^{1}_{1}p \rightarrow {}^{1}_{0}n + {}^{0}_{+1}\beta + \nu$$

bleibt im Atomkern treten aus

pl: ${}^{11}_{6}C$ ${}^{15}_{8}O$ ${}^{18}_{9}F$ ${}^{52}_{26}Fe$

$$\text{zB}: \quad {}^{30}_{15}\text{P} \longrightarrow {}^{30}_{14}\text{Si} + {}^{0}_{+1}\beta + \nu$$



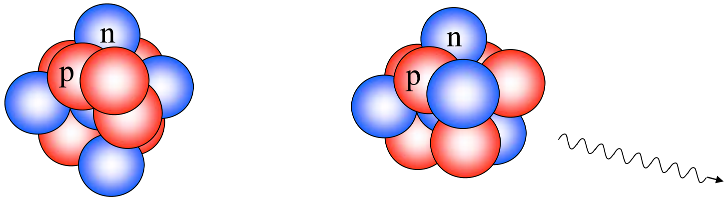
β^+ Strahlung

Kontinuierliches Energiespektrum

Promte γ-Strahlung

Nach dem Zerfall kann die Anordnung der Nukleonen energetisch ungünstig sein

Umordnen der Nukleonen: ein niedrigeres Energieniveau wird erreicht, (z.B. weniger coulombsche Abstoßung) => die überflüssige Energie wird in Form von γ-Strahlung ausgestrahlt.



Protonenzahl u. Neutronenzahl sind unverändert!

Isomere Kernumwandlung

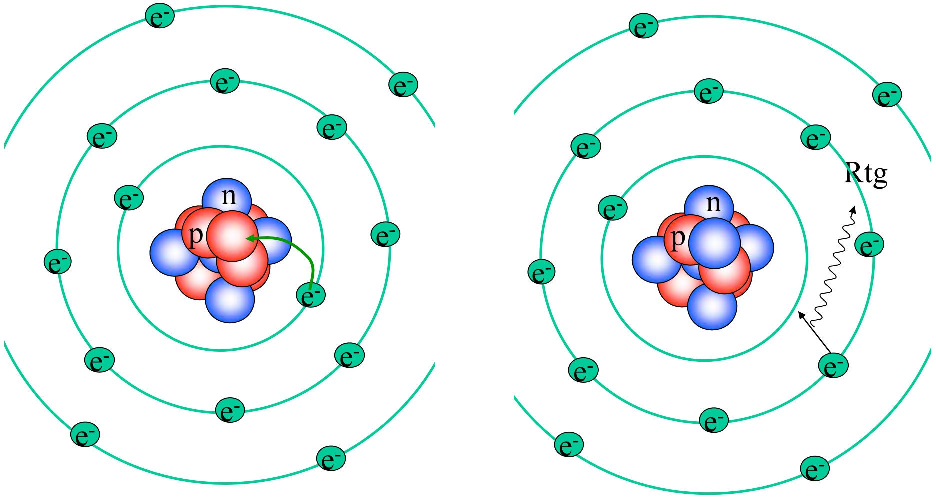
Wenn die Umordnen nicht einfach vor sich gehen kann, entsteht γ-Strahlung nicht sofort , sondern erst nach einer gut messbaren Zeit.
Die zwei Prozesse (α–oder β–Zerfall, γ-Strahlungsemission) können separiert werden.

Man kann ein reines γ-strahlen Isotop herstellen!
=> Isotopendiagnostik

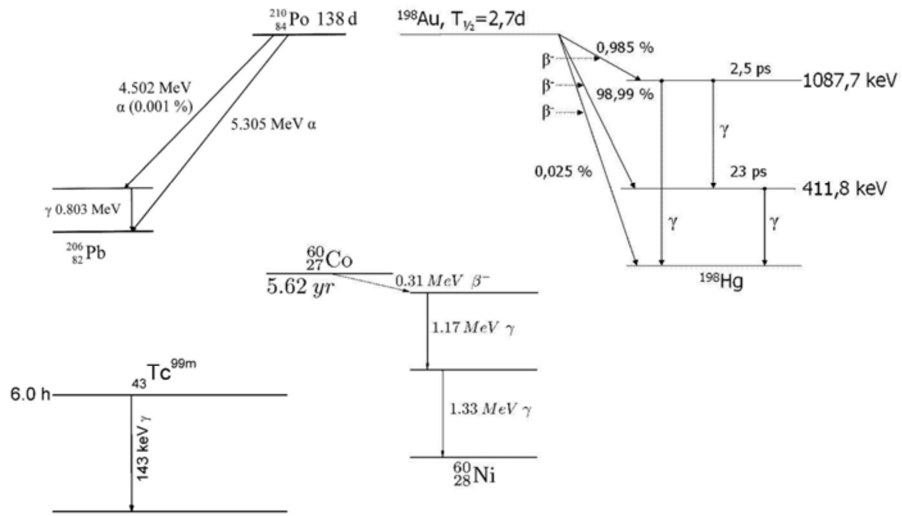
zB: ^{99m}Tc

$$^{99}_{42}Mo \xrightarrow[66\ h]{\beta^-} {}^{99m}_{43}Tc \xrightarrow[6\ h]{\gamma} {}^{99}_{43}Tc$$

K-Einfang



Beispiele



Aktivität

$$A = \left|\frac{dN}{dt}\right| \quad \left(= \left|\frac{\Delta N}{\Delta t}\right| \right)$$

N = Anzahl der Zerfallsfähigen Atomkerne
t = Zeit

ΔN die Anzahl der während Δt Zeit zerfallenen Atomkerne

Einheit: Becquerel Bq
1 Bq= 1 Zerfall/sec

Bq, kBq, MBq, GBq, TBq

Zerfallsgesetz

$$\Delta N \sim N$$

N Anzahl der zerfallsfächigen Kerne

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

λ: Zerfallskonstante
Zerfallswahrscheinlichkeit[1/s]
$1/\lambda=\tau$ Zeit! durchschinittlicher Lebensdauer

Differentialgleichung

Lösung:

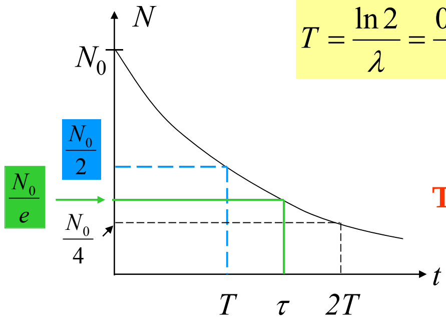
$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

Exponentialfunktion!

N_0 Anzahl der zerfallsfächigen Kerne am Anfang (t=0)

Zerfallsgesetz

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 2^{-\frac{t}{T}}$$



$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0{,}693}{\lambda}$$

λ Zerfallskonstante
T Halbwertszeit

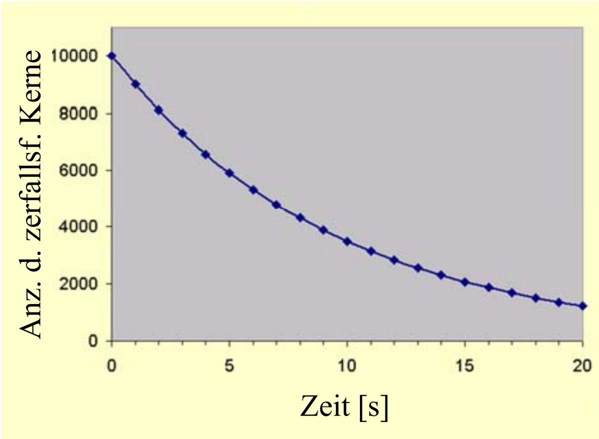
Theoretisch erreicht es nie 0 !

Beispiel

- Sei N_0=10000 λ=0,1 $^1/_s$
- nach 1 sec: 9000 (10000x0,1=1000 sind zerfallen)
- nach 2 sec: 8100 (9000x0,1=900 sind zerfallen)
- nach 3 sec: 7290 (8100x0,1=810 sind zerfallen)
- nach 4 sec: 6561 (7290x0,1=729 sind zerfallen)
- ….

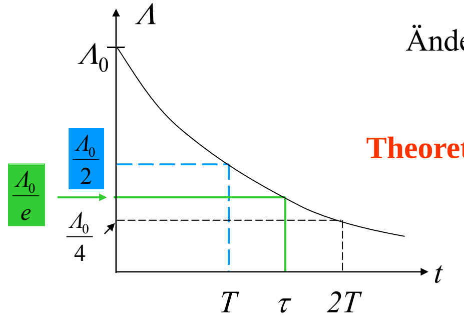
Beispiel

- Sei N_0=10000 λ=0,1 $^1/_s$
- 1 sec 9000
- 2 sec 8100
- 3 sec 7290
- 4 sec 6561
- ….



Zeitliche Änderung der Aktivität

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t} = A_0 2^{-\frac{t}{T}}$$



Änderung wie bei N!

Theoretisch erreicht es nie 0!

ca. 10 T => zerfällt auf 1/1000 Teil!

Einige Beispiele für Halbwertszeit

^{232}Th	$1{,}4 \cdot 10^{10}$ J
^{238}U	$4{,}5 \cdot 10^{9}$ J
^{40}K	$1{,}3 \cdot 10^{9}$ J
^{14}C	5736 J
^{137}Cs	30 J
^{3}H	12,3 J

^{60}Co	5,3 J
^{59}Fe	1,5 M
^{56}Cr	1 M (28 T)
^{131}I	8 T
^{99m}Tc	6 h
^{18}F	110 min
^{11}C	20 min
^{15}O	2 min
^{222}Th	2,8 ms

Nicht Auswending Lehrnen!

Teilchenenergie

Gemessen in Elektronenvolt (eV).

eV = Ladung eines Elektrons × 1 Volt = 1,6 10^{-19} J

Typische Teilchenenergiewerte (die bei Kernumwandlungen freigesetzte Enerie) bewegen sich in **MeV** Grössenordnungen.

α und β: E = E_{kin}
je höher ist die Teichenenergie desto größer Reichweite