

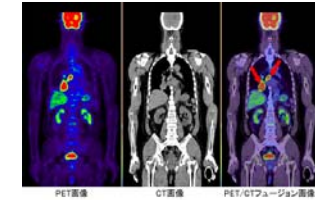
Isotope, Radioaktive Zerfälle und Strahlungen

L. Smeller

Warum ist es interessant?

Medizinische Anwendungen der radioaktiven Strahlungen:

- Diagnostik (Isotopendiagnostik)
- Therapie (Strahlentherapie)

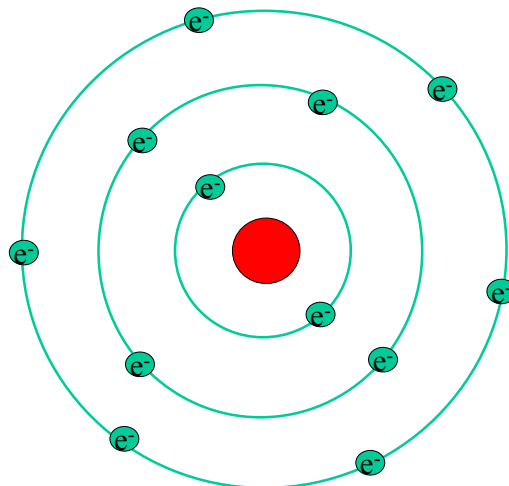


Pharmazeutische Anwendungen:

- Pharmakokinetische Untersuchungen



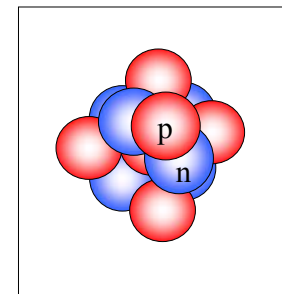
Aufbau des Atoms



Elektronenschale
=> chemische
Eigenschaften

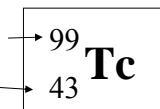
Atomkern:
=> **Radioaktivität**

Aufbau des Atomkernes



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

A (Massenzahl) = Protonenzahl + Neutronenzahl
Z (Ordnungszahl) = Protonenzahl



99 Nukleon: 43 Proton és 56 Neutron

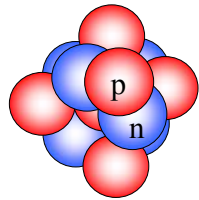


Stabilität des Atomkernes

Coulomb-Kraft
Kernkraft

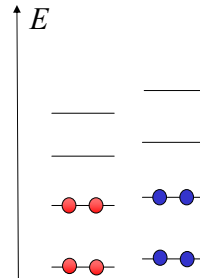
Abstoßung zw. Protonen
Ladungsunabhängig
kurze Reichweite

destabilisiert
stabilisiert



Diskrete Energieniveaus

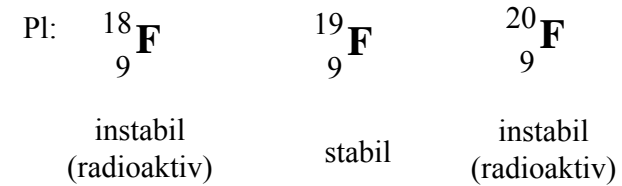
Typische Übergangsenergie-
verte: einige MeV



Isotope

Atomkerne mit gleicher Ordnungszahl aber
unterschiedlicher Massenzahl

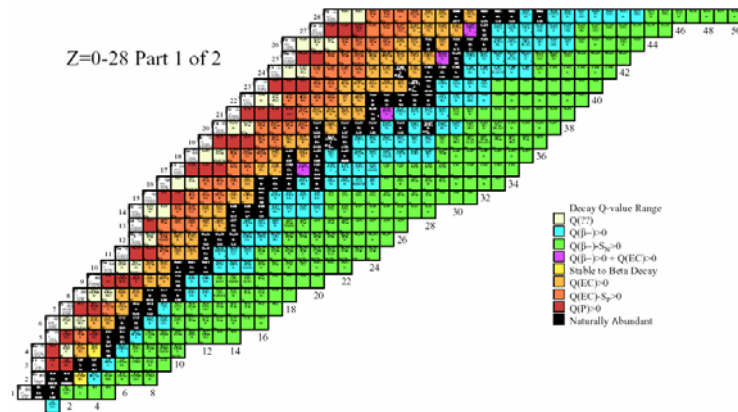
=> gleiche Protonenzahl unterschiedliche Neutronenzahl
Varianten des gleichen Elementes => Chemische
Eigenschaften sind identisch!



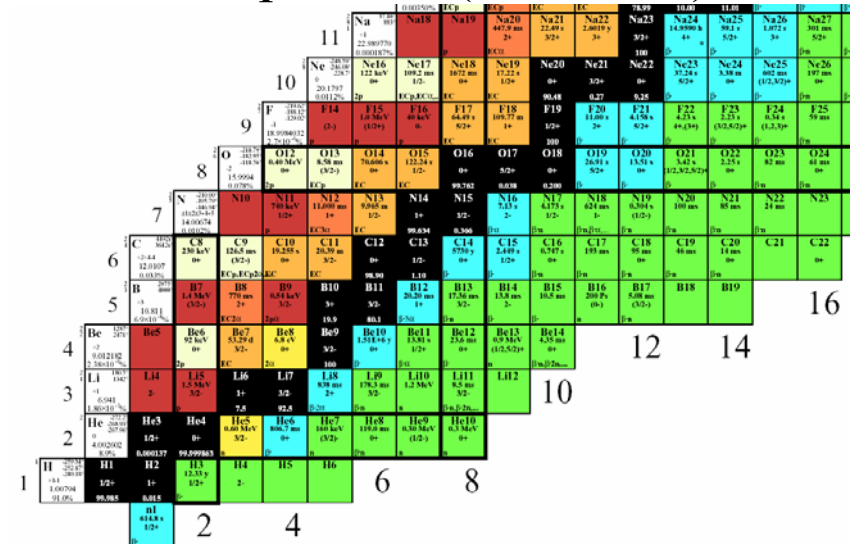
Isotop <-> radioaktives Isotop

Isotoptabelle

Table of Isotopes (1998)



Isotoptabelle (Abschnitt)



Zerfälle und radioaktive Strahlungen

α - Zerfall α - Teilchen = ${}^4_2\text{He}$ Atomkern

β -Zerfall: β^- β^- Teilchen = Elektron
 β^+ β^+ Teilchen = Positron

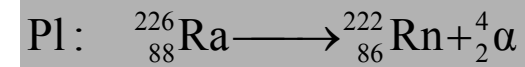
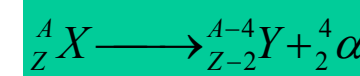
K-Einfang charakteristische Röntgenstrahlung

Isomere Kernumwandlung γ -Strahlung

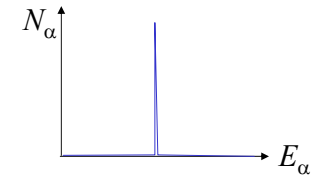
α - Zerfall

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

Massenzahl $\downarrow 4$ Ordnungszahl $\downarrow 2$



Energiespektrum: Linienspektrum
 $E_\alpha \sim \text{MeV}$



Neutronenüberschuss

β^- - Zerfall

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

$${}_0^1 n \longrightarrow {}_1^1 p + {}^0_{-1} \beta + \bar{\nu}$$

bleibt im Atomkern treten aus

zB: ${}^{20}_9\text{F}$
 ${}^{32}_{15}\text{P}$
 ${}^{59}_{26}\text{Fe}$
 ${}^{131}_{53}\text{I}$

β^- -Strahlung

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

Kontinuierliches Energiespektrum

Protonenüberschuss

β^+ - Zerfall

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

$${}_1^1 p \longrightarrow {}_0^1 n + {}^0_{+1} \beta + \nu$$

bleibt im Atomkern treten aus

pl: ${}^{11}_6\text{C}$
 ${}^{15}_8\text{O}$
 ${}^{18}_9\text{F}$
 ${}^{52}_{26}\text{Fe}$

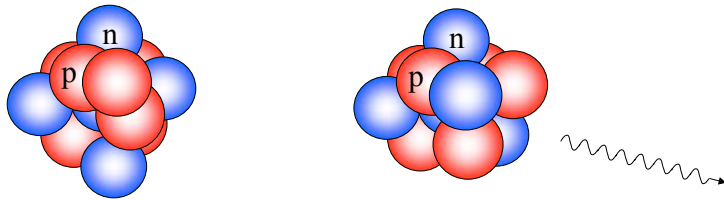
β^+ Strahlung

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.



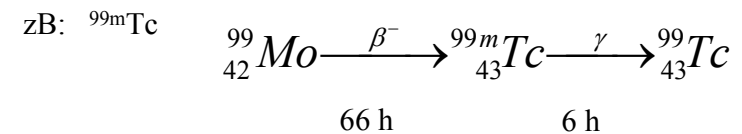
Protonenzahl u. Neutronenzahl sind unverändert!

Isomere Kernumwandlung

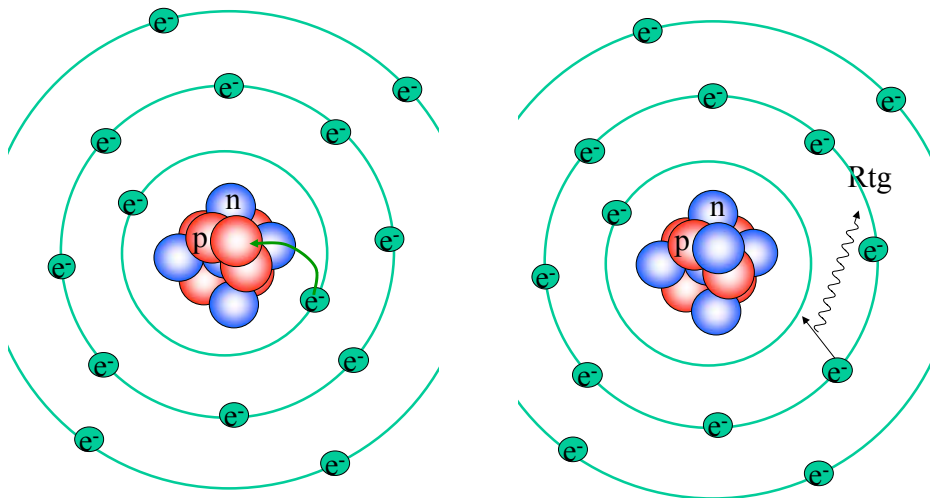
Wenn die Umordnen nicht einfach vor sich gehen kann, entsteht γ -Strahlung nicht sofort, sondern erst nach einer gut messbaren Zeit.

Die zwei Prozesse (α -oder β -Zerfall, γ -Strahlungsemission) können separiert werden.

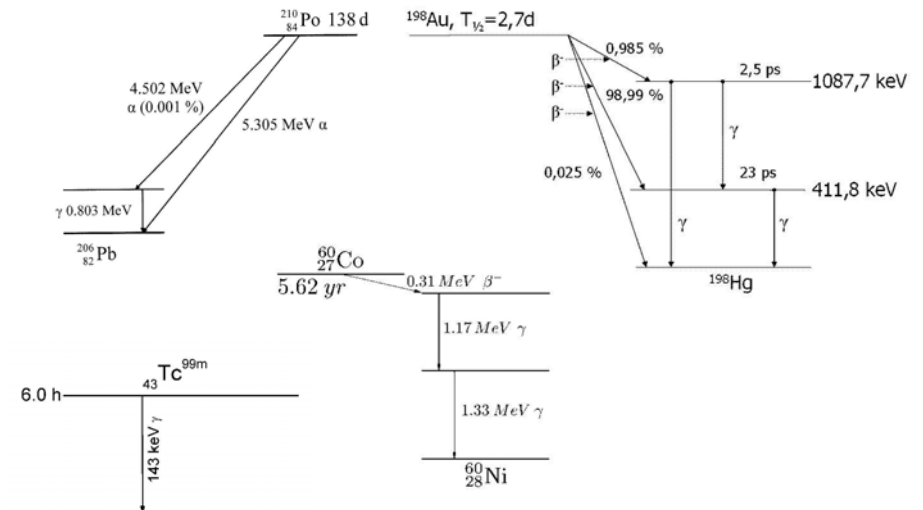
Man kann ein reines γ -strahlen Isotop herstellen!
=> **Isotopendiagnostik**



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 zerfallsfähigen Kerne

$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$ λ : Zerfallskonstante
Zerfallswahrscheinlichkeit [1/s]
 $1/\lambda = \tau$ Zeit! durchschnittlicher Lebensdauer

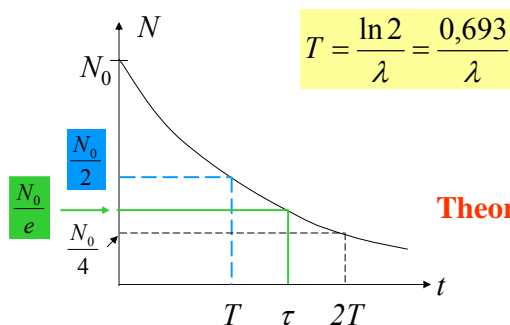
Differentialgleichung

Lösung: $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$ **Exponentialfunktion!**

N_0 Anzahl der zerfallsfähigen Kerne am Anfang ($t=0$)

Zerfallsgesetz

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

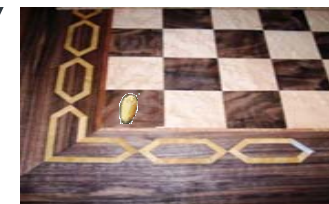


λ Zerfallskonstante
 T Halbwertszeit

Theoretisch erreicht es nie 0 !

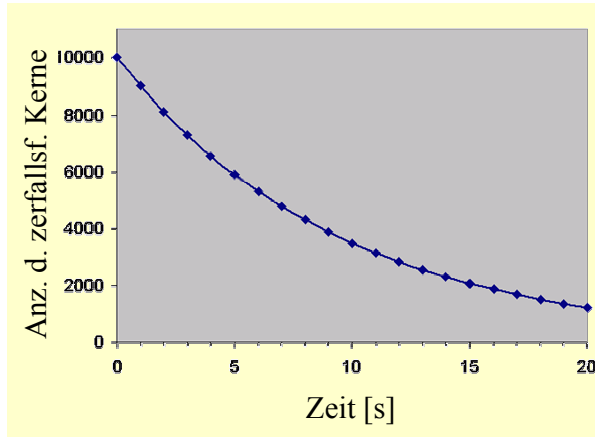
Beispiel

- Sei $N_0=10000$ $\lambda=0,1 \text{ 1/s}$
- 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)
-



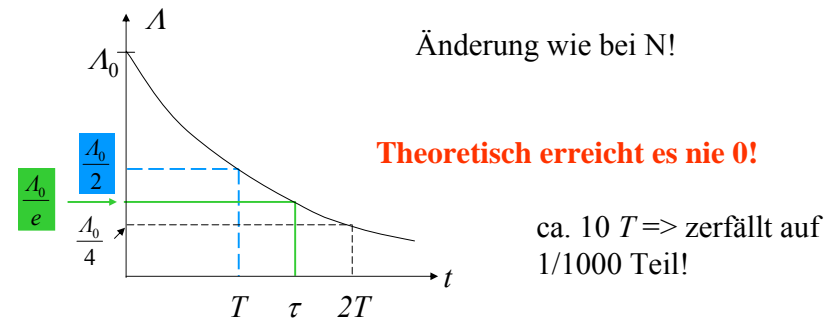
Beispiel

- Sei $N_0 = 10000$ $\lambda = 0,1 \text{ 1/s}$
- 1 sec 9000
- 2 sec 8100
- 3 sec 7290
- 4 sec 6561
-



Zeitliche Änderung der Aktivität

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



Einige Beispiele für Halbwertszeit

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

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

Nicht Auswending Lehren!

Teilchenenergie

Gemessen in Elektronenvolt (eV).

$\text{eV} = \text{Ladung eines Elektrons} \times 1 \text{ Volt} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Typische Teilchenenergiwerte (die bei Kernumwandlungen freigesetzte Energie) bewegen sich in **MeV** Größenordnungen.

α und β : $E = E_{\text{kin}}$
je höher ist die Teilchenenergie desto größer Reichweite