



Isotope, Radioaktive Zerfälle und Strahlungen

L. Smeller

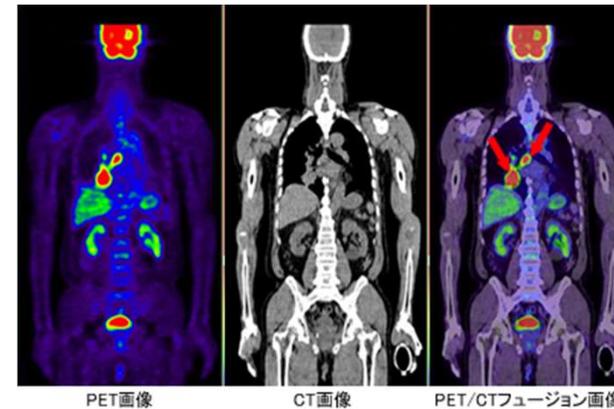
Warum ist es interessant?

Medizinische Anwendungen der radioaktiven Strahlungen:

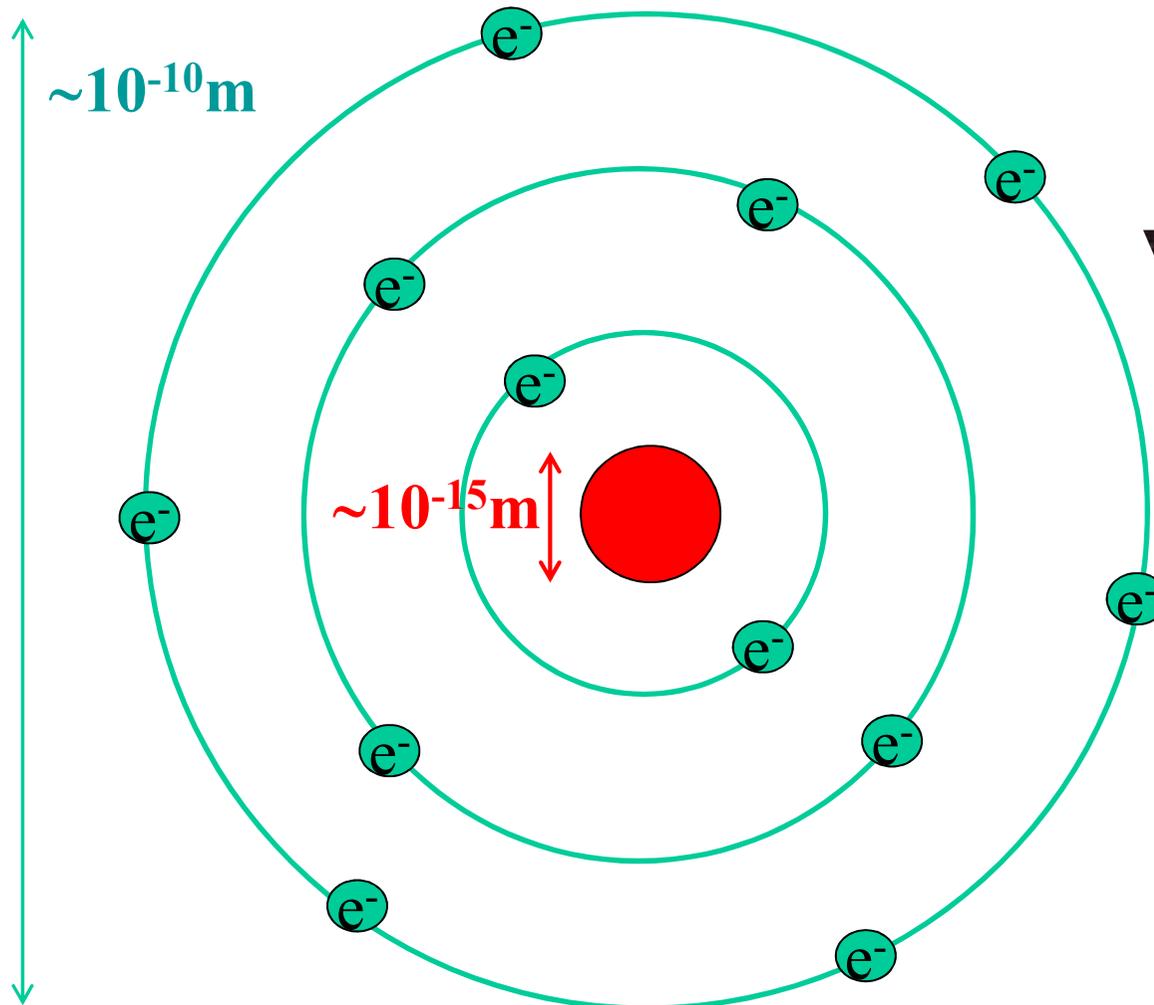
- Diagnostik
(Isotopendiagnostik)
- Therapie (Strahlentherapie)

Pharmazeutische Anwendungen:

- Pharmakokinetische
Untersuchungen



Aufbau des Atoms

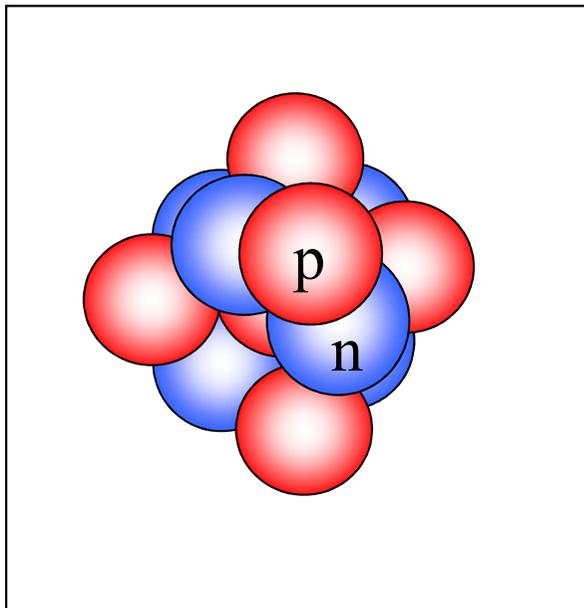


Elektronenschale
=> chemische
Eigenschaften



Atomkern:
=> **Radioaktivität**

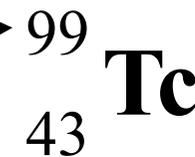
Aufbau des Atomkernes



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

A (Massenzahl) = Protonenzahl + Neutronenzahl

Z (Ordnungszahl) = Protonenzahl

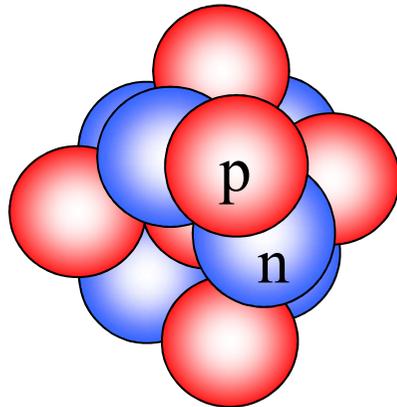


99 Nukleon: 43 Proton és 56 Neutron



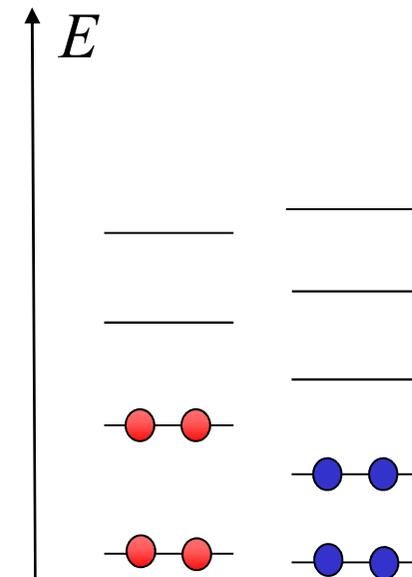
Stabilität des Atomkernes

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



Diskrete Energieniveaus

Typische Übergangsenergie-
verte: einige MeV

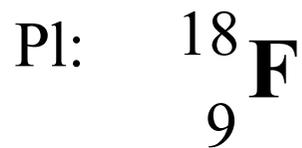


Isotope

Atomkerne mit gleicher Ordnungszahl aber unterschiedlicher Massenzahl

=> gleiche Protonenzahl unterschiedliche Neutronenzahl

Varianten des gleichen Elementes => Chemische Eigenschaften sind identisch!



instabil
(radioaktiv)

stabil

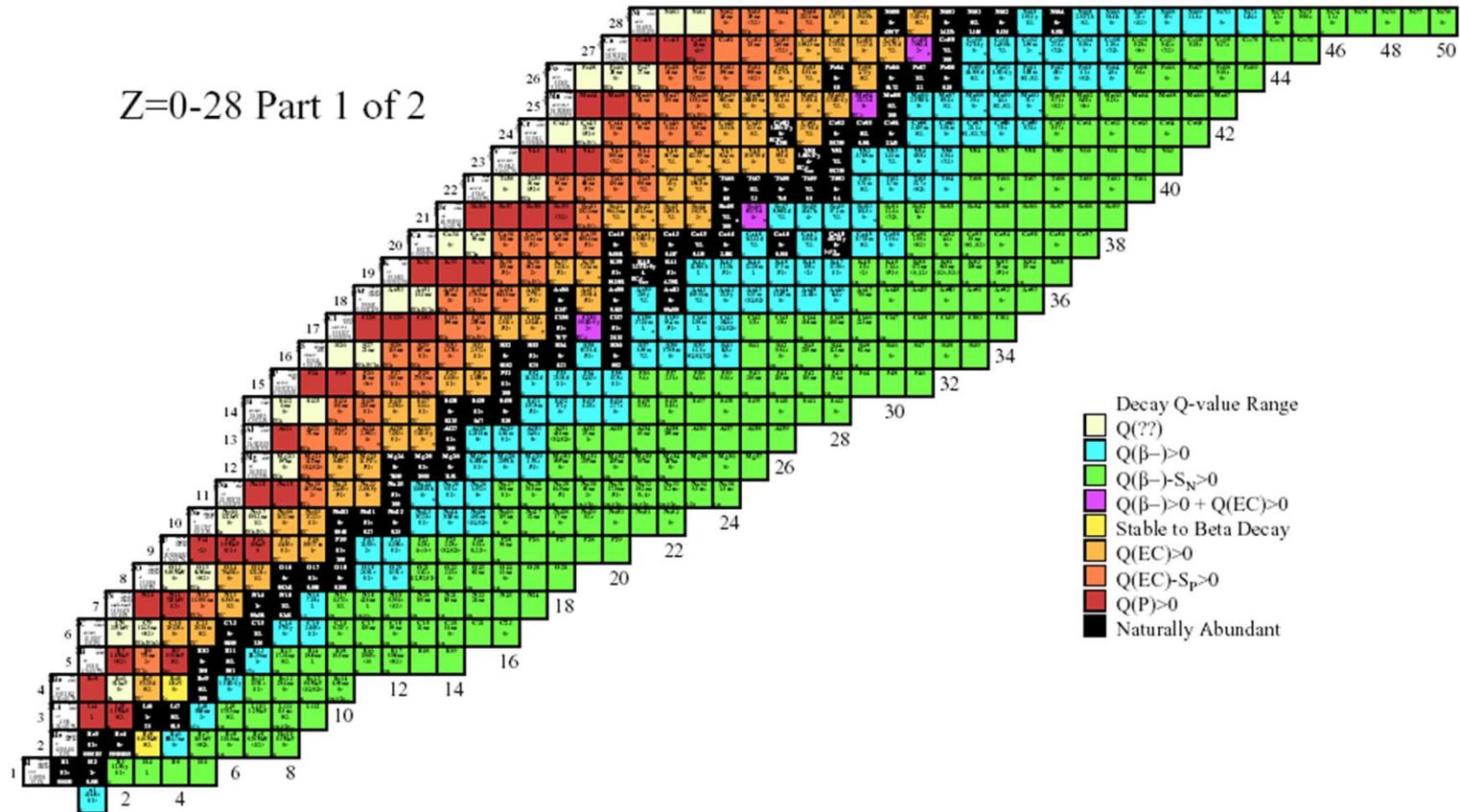
instabil
(radioaktiv)

Isotop <-> radioaktives Isotop

Isotoptabelle

Table of Isotopes (1998)

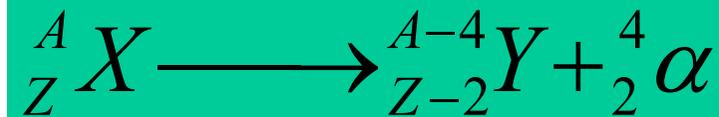
Z=0-28 Part 1 of 2



α - Zerfall

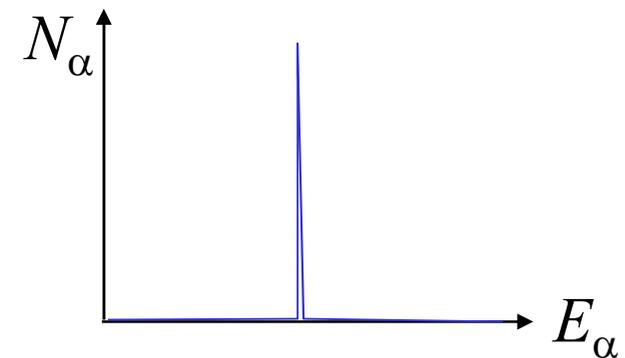
Hierbei treten ${}^4\text{He}$ Atomkerne aus dem Atomkern aus. Damit erhöht sich die Stabilität des Kernes

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

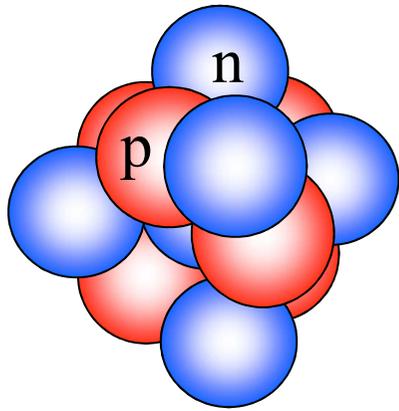


Energiespektrum: Linienspektrum

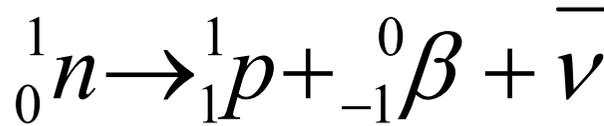
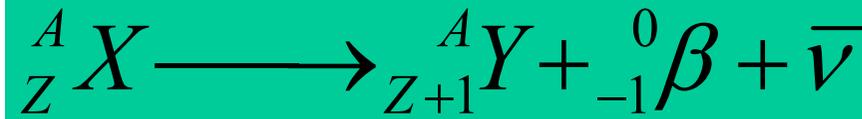
$E_\alpha \sim \text{MeV}$



β^- - Zerfall

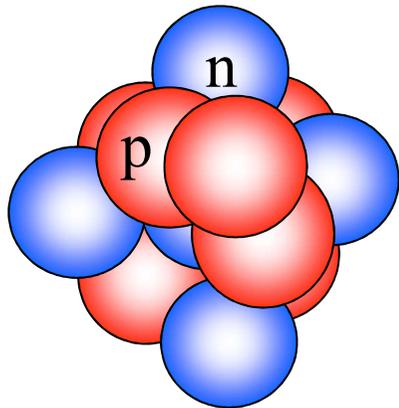
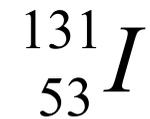
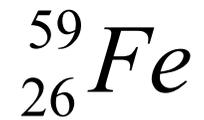
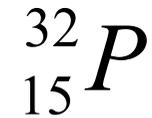
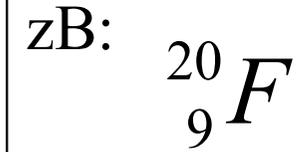


Neutronenüberschuss



bleibt im Atomkern

treten aus



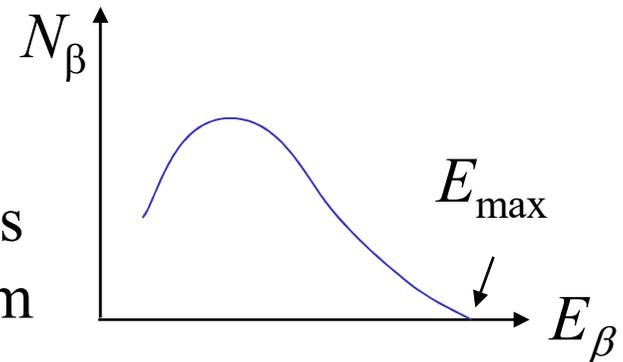
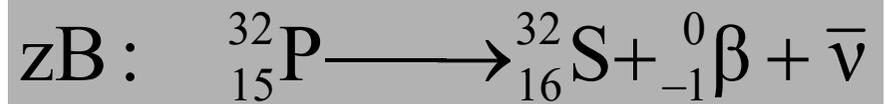
$$\beta^- = {}^0_{-1} \beta = e^-$$



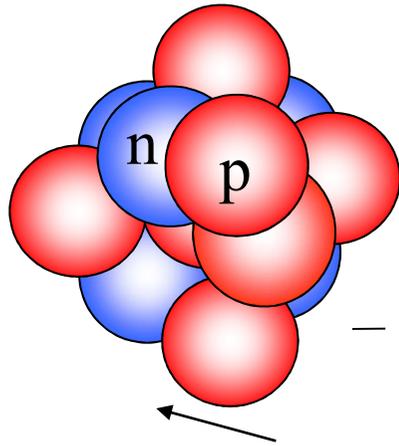
β^- -Strahlung



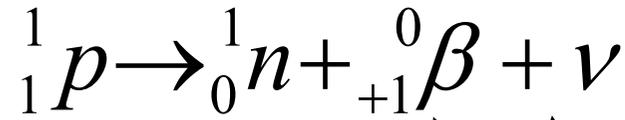
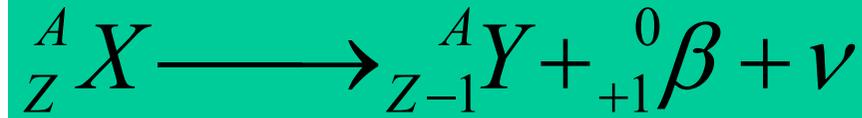
Kontinuierliches
Energiespektrum



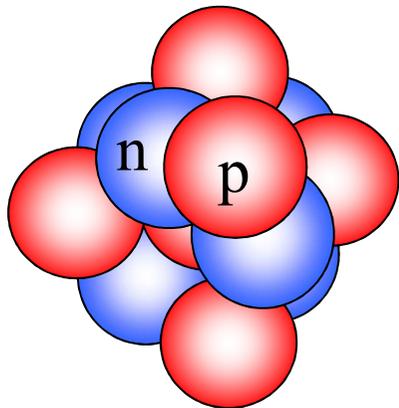
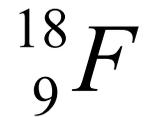
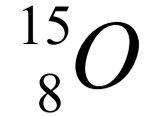
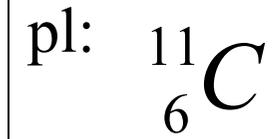
β^+ - Zerfall



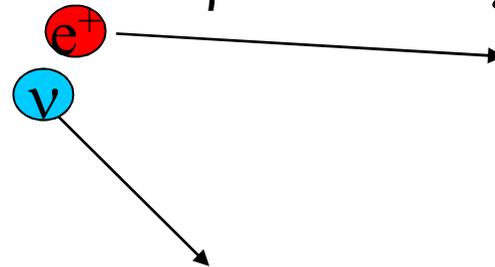
Protonenüberschuss



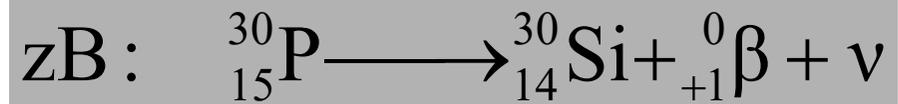
bleibt im Atomkern treten aus



β^+ Strahlung



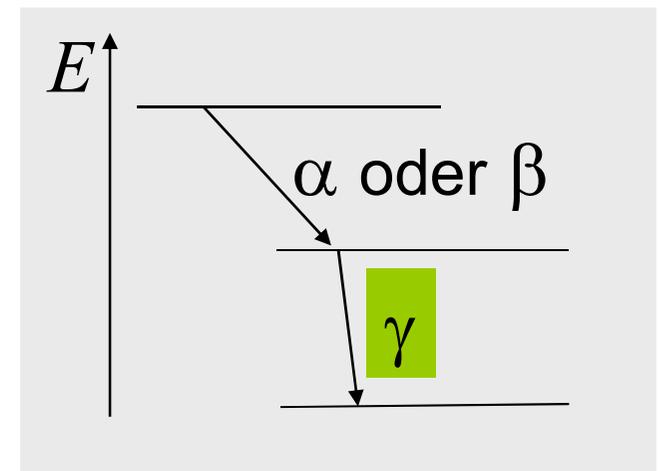
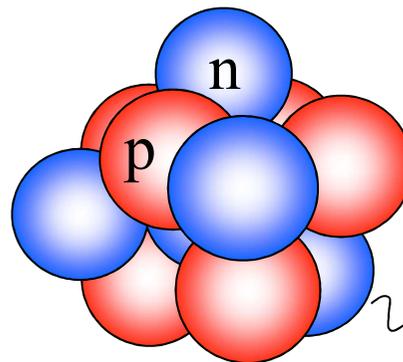
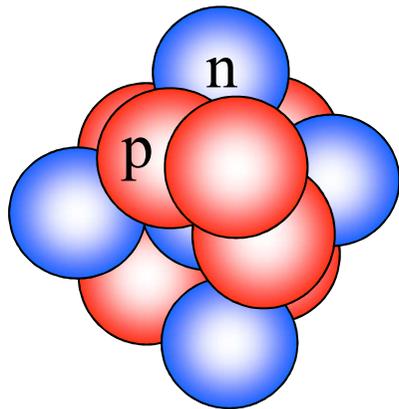
Kontinuierliches
Energiespektrum



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!

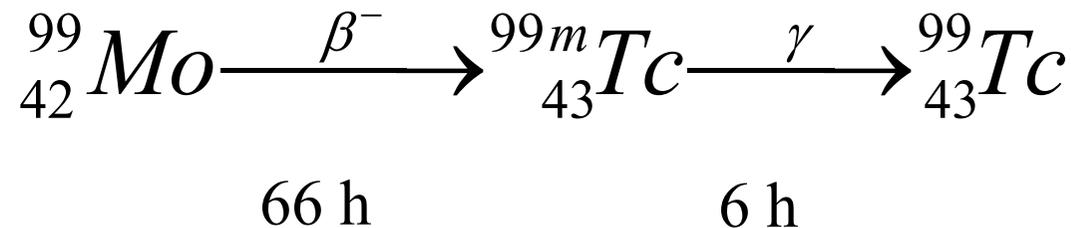
Isomere Kernumwandlung

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

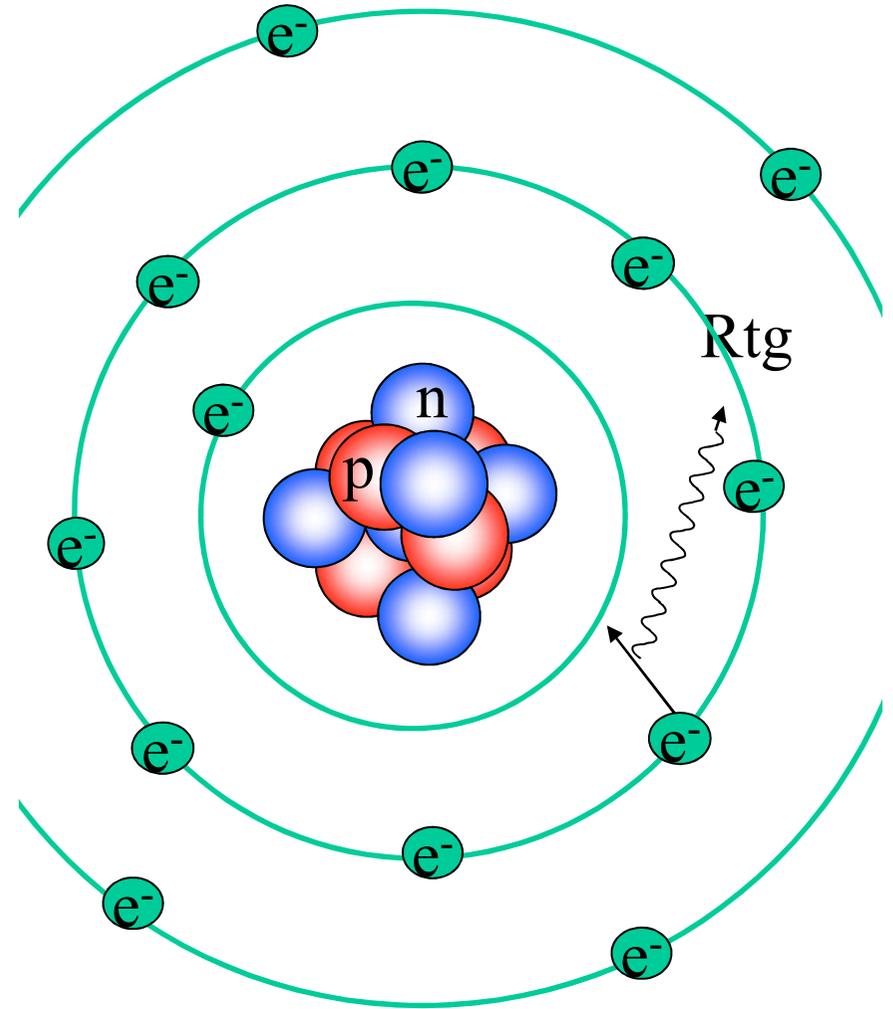
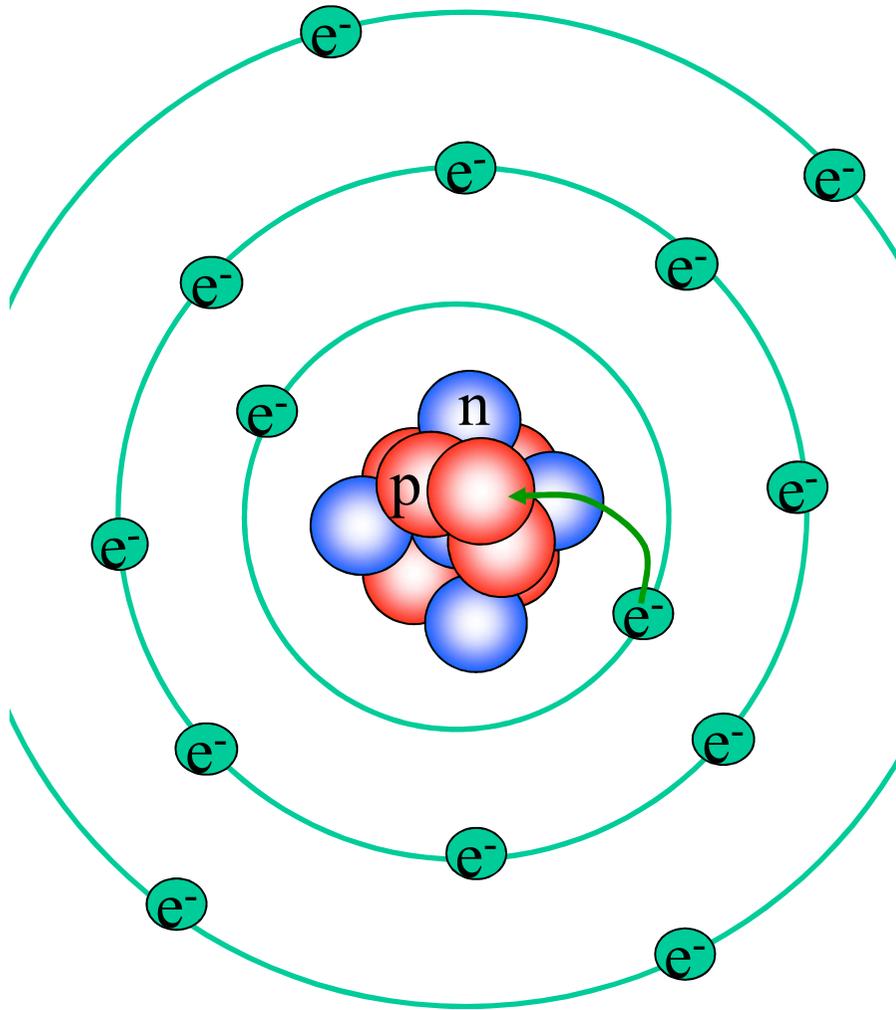
Die zwei Prozesse (α -oder β -Zerfall, γ -Strahlungsemission) können separiert werden.

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

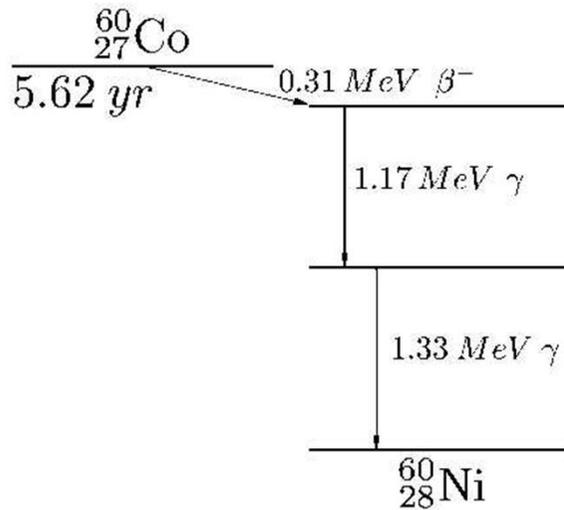
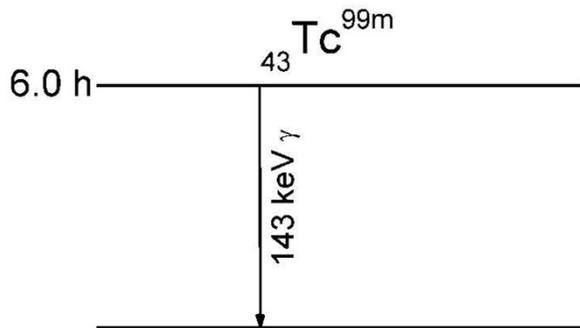
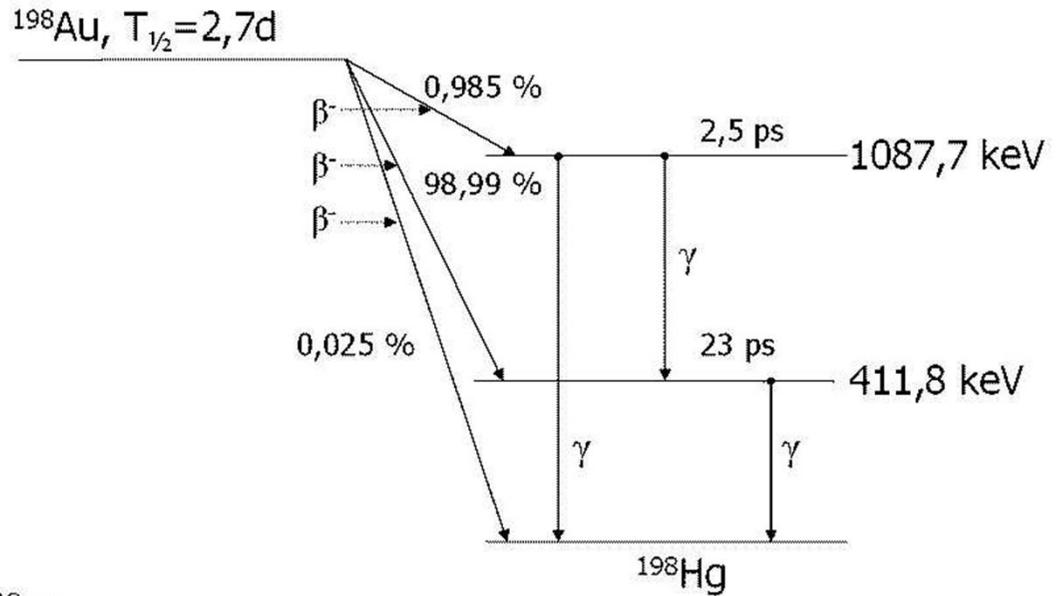
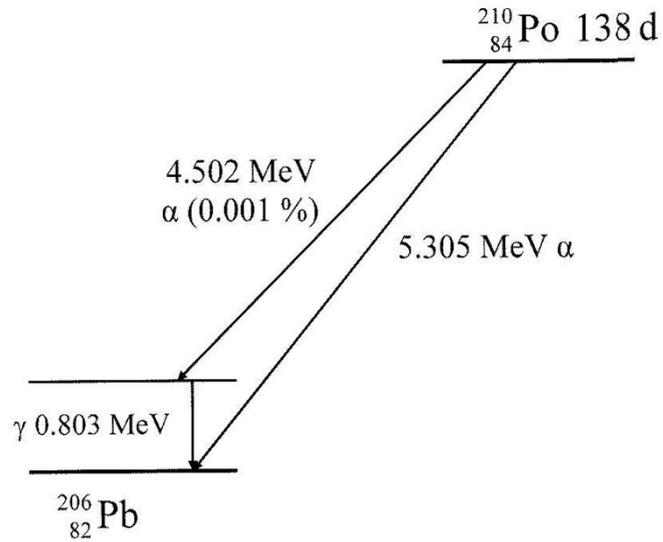
zB: ^{99m}Tc



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, PBq

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:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad \text{Exponentialfunktion!}$$

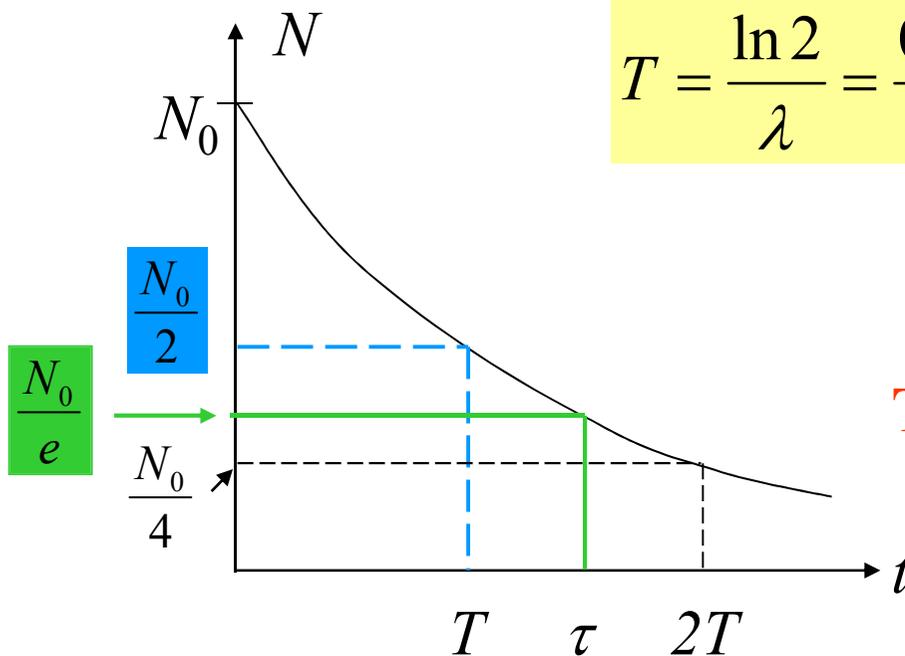
N_0 Anzahl der zerfallsfähigen Kerne am Anfang ($t=0$)

Zerfallsgesetz

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

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

λ Zerfallskonstante
 T Halbwertszeit



Theoretisch erreicht es nie 0 !

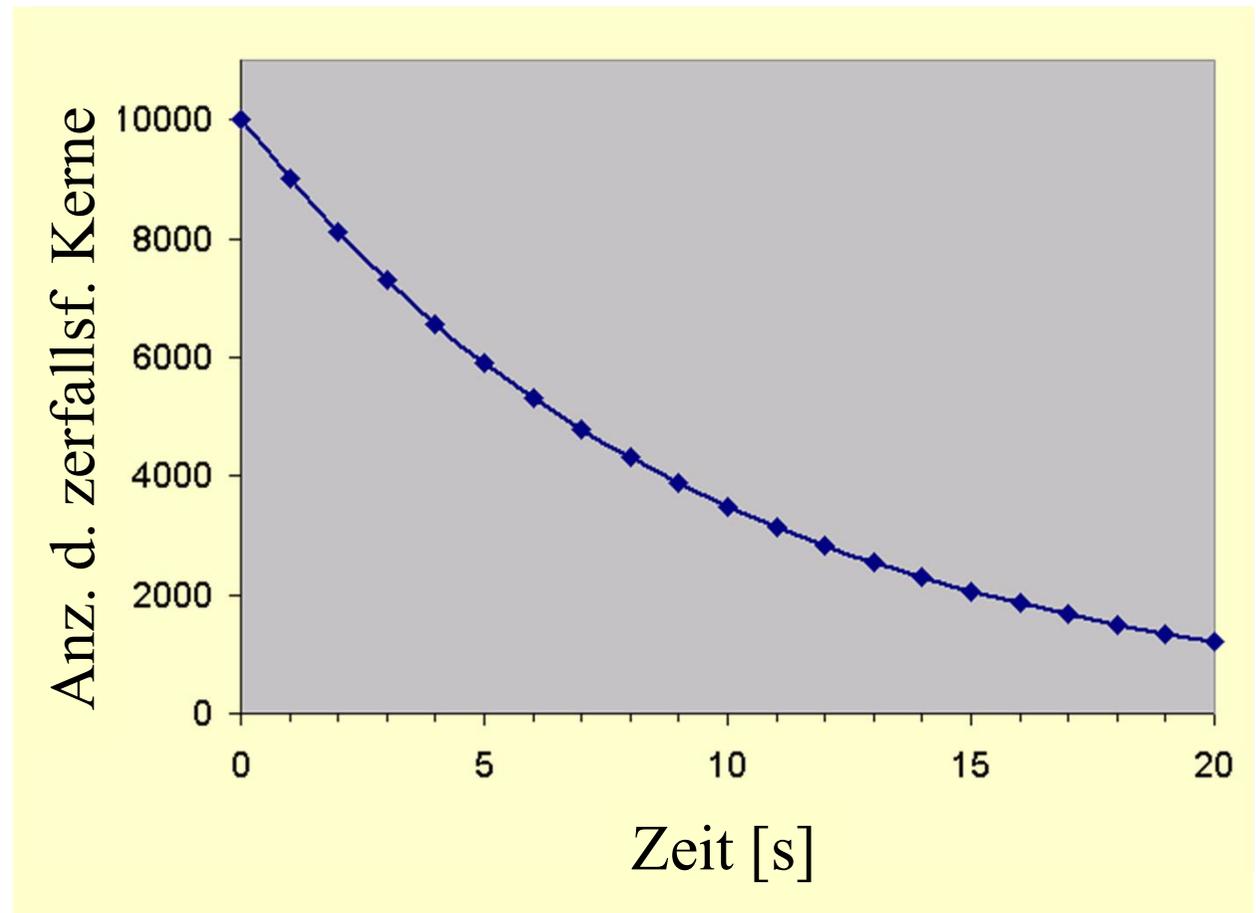
Beispiel

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



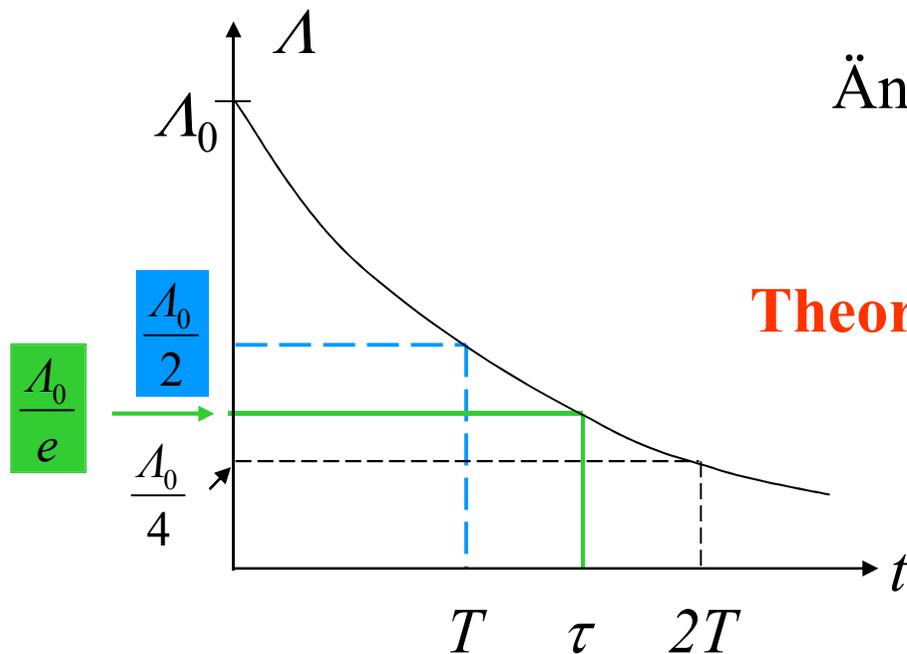
Beispiel

- Sei $N_0=10000$ $\lambda=0,1$ $1/s$
- 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. $10 T \Rightarrow$ 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

^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 auswendig lernen!

Teilchenenergie

Gemessen in Elektronenvolt (eV).

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

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

$$\alpha \text{ und } \beta: E = E_{\text{kin}}$$

je höher ist die Teilchenenergie desto größer Reichweite