



Isotope, Radioaktive Zerfälle und Strahlungen

L. Smeller

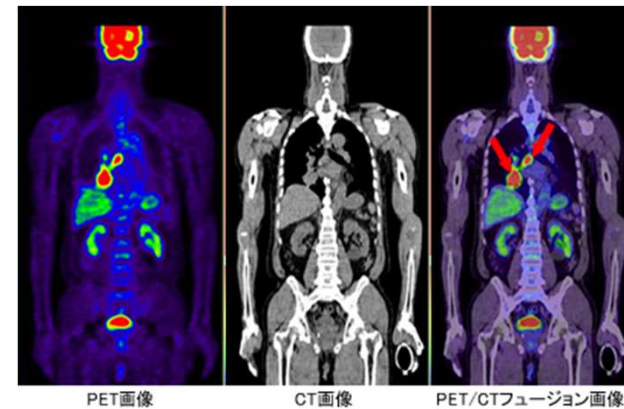
Warum ist es interessant?

Medizinische Anwendungen der radioaktiven Strahlungen:

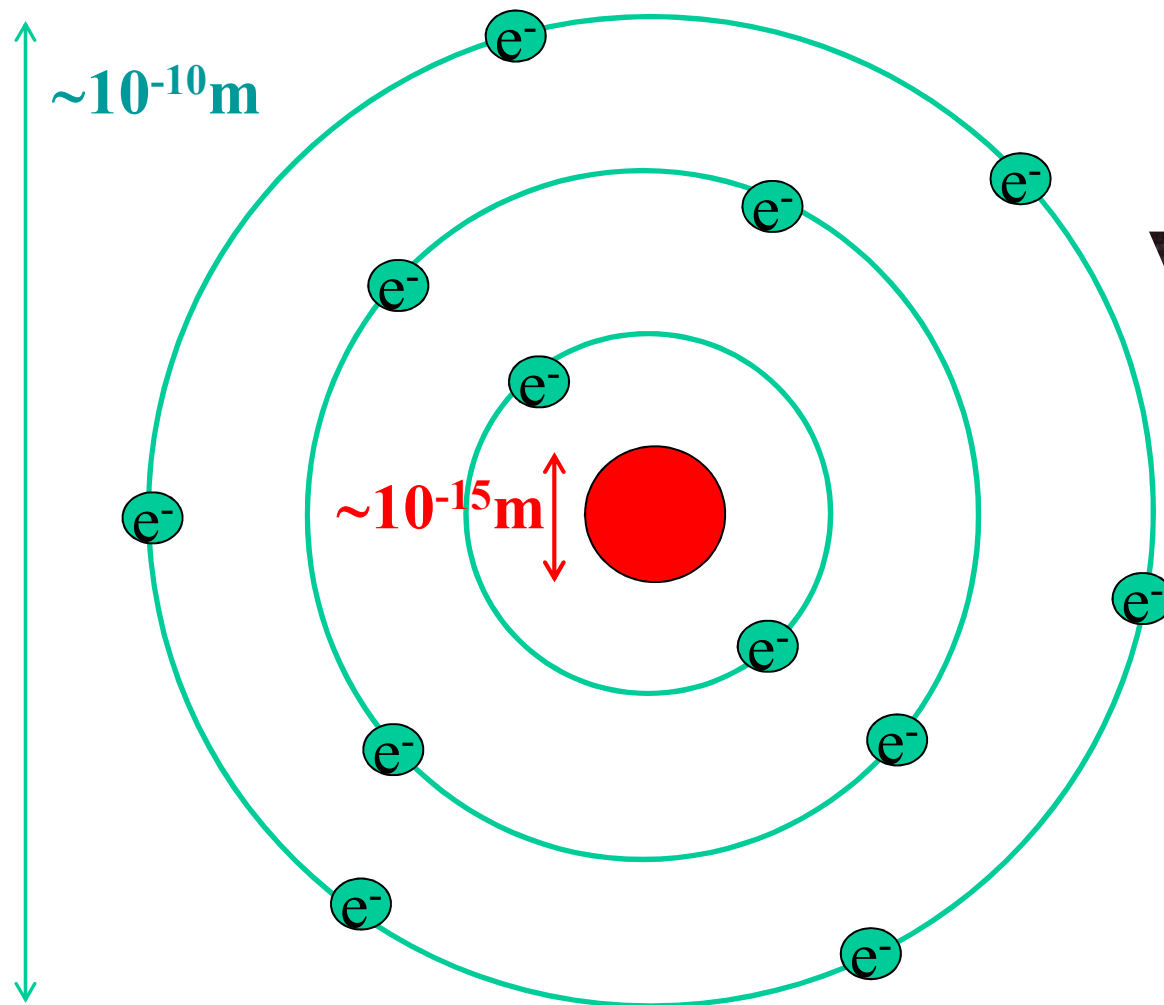
- Diagnostik
(Isotopendiagnostik)
- Therapie (Strahlentherapie)

Pharmazeutische Anwendungen:

- Pharmakokinetische
Untersuchungen



Aufbau des Atoms

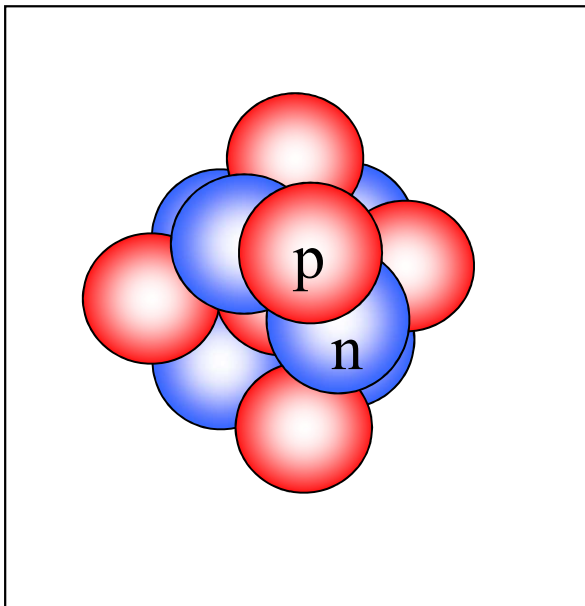


Elektronenschale
=> chemische
Eigenschaften



Atomkern:
=> **Radioaktivität**

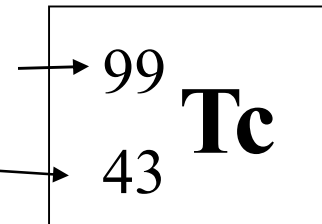
Aufbau des Atomkernes



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

A (Massenzahl) = Protonenzahl + Neutronenzahl

Z (Ordnungszahl) = Protonenzahl

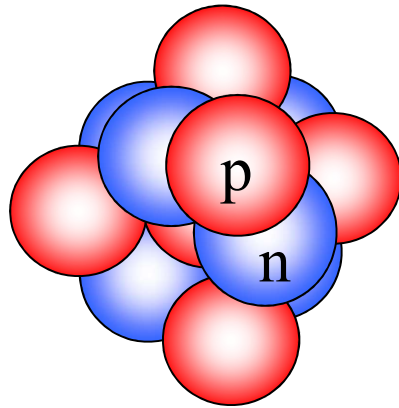


99 Nukleon: 43 Proton és 56 Neutron



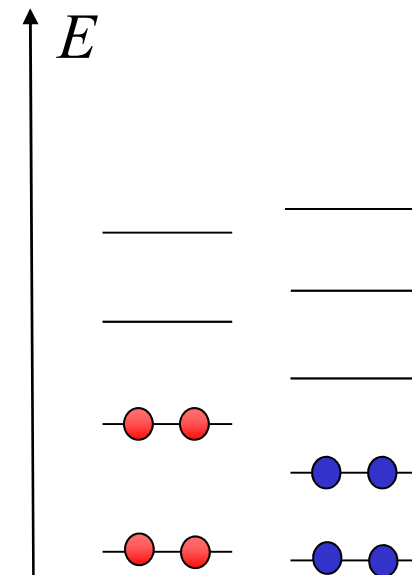
Stabilität des Atomkernes

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



Diskrete Energieniveaus

Typische Übergangsenergie-
verte: einige MeV

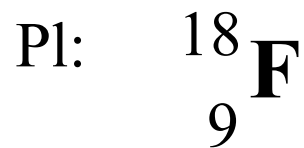


Isotope

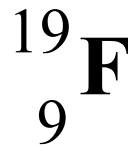
Atomkerne mit gleicher Ordnungszahl aber unterschiedlicher Massenzahl

=> 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

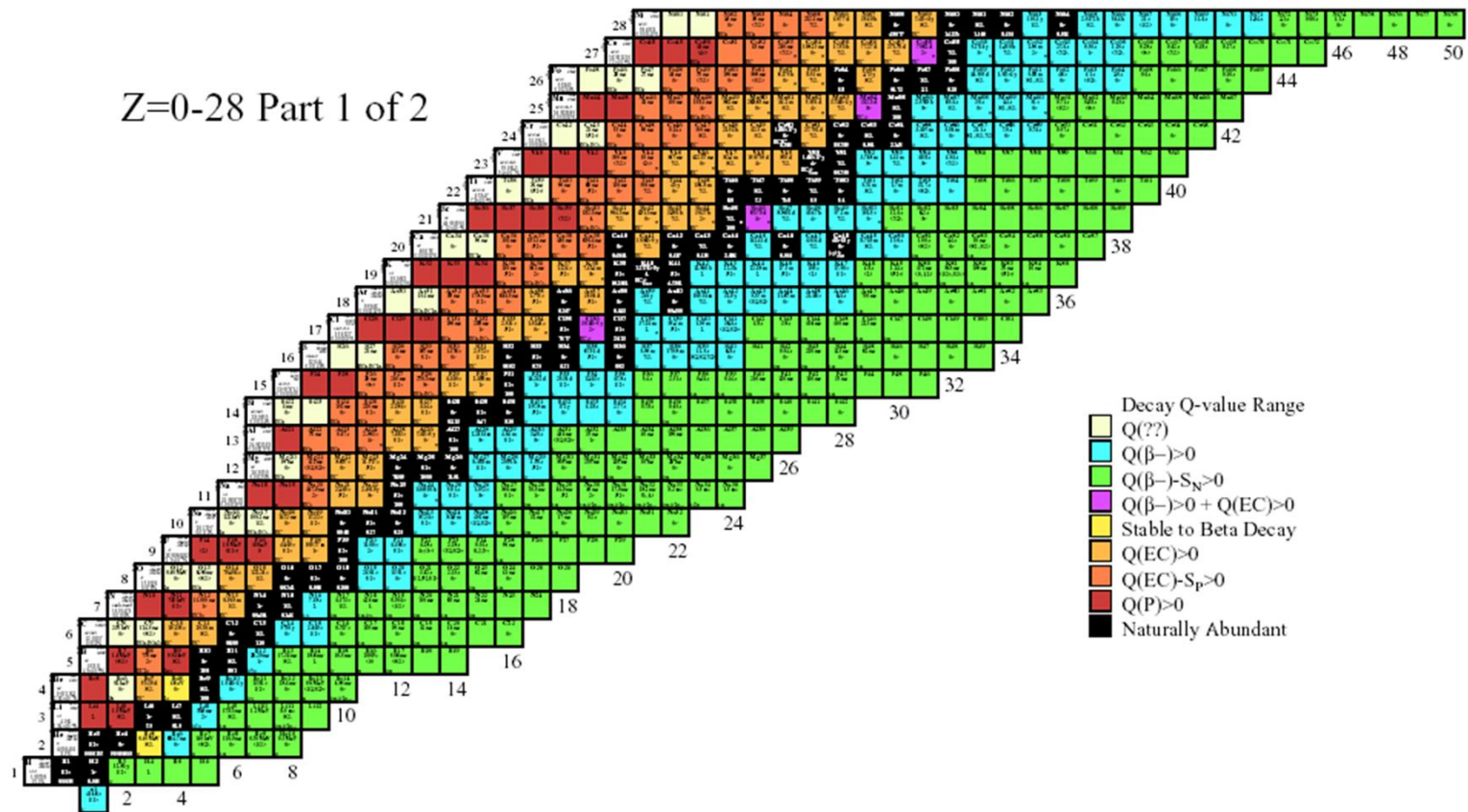


Figure 1: A detailed periodic table of elements, color-coded by groups and periods. The table includes element symbols, atomic numbers, names, and various isotopic data. The elements are arranged in a standard periodic table format, with groups numbered 1 through 18 and periods numbered 1 through 7. The table is color-coded by groups: Group 1 (red), Group 2 (orange), Groups 3-10 (yellow), Group 11 (light green), Group 12 (light blue), Group 13 (green), Group 14 (dark green), Group 15 (teal), Group 16 (blue), and Group 17 (dark blue). The table also includes element names and atomic numbers. The table is a comprehensive reference for the periodic table of elements.

Zerfälle und radioaktive Strahlungen

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

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

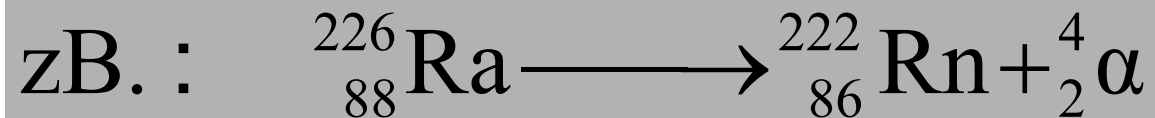
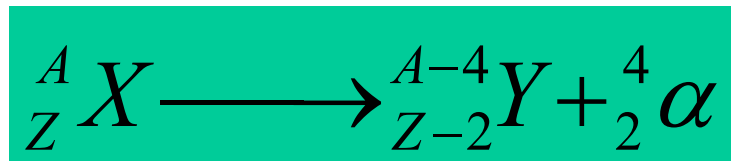
K-Einfang charakteristische
 Röntgenstrahlung

Isomere Kernumwandlung γ -Strahlung

α - Zerfall

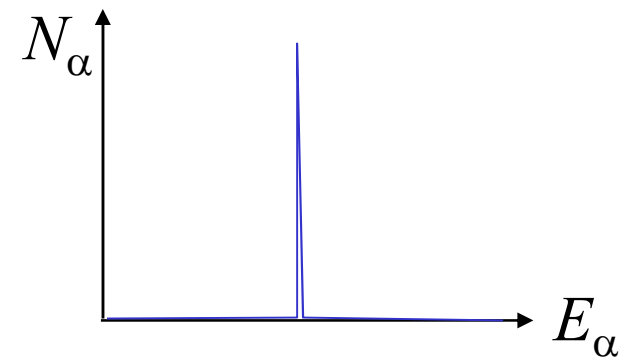
Hierbei treten ${}^4\text{He}$ Atomkerne aus dem Atomkern aus. Damit erhöht sich die Stabilität des Kernes

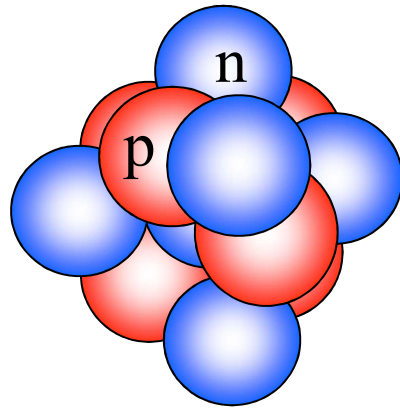
Massenzahl $\downarrow 4$ Ordnungszahl $\downarrow 2$



Energiespektrum: Linienspektrum

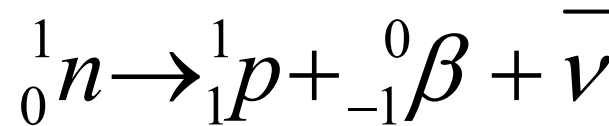
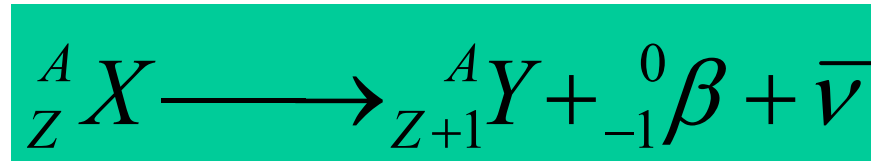
$E_\alpha \sim \text{MeV}$





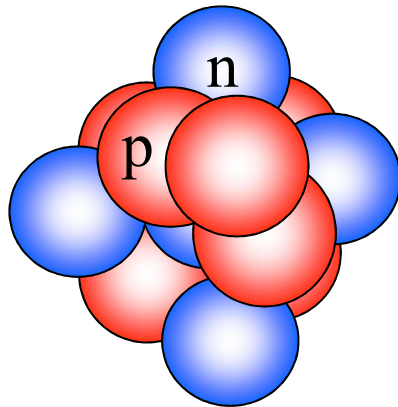
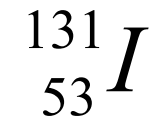
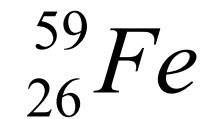
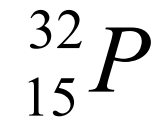
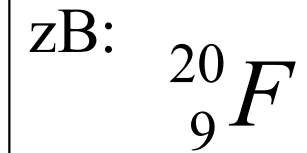
Neutronenüberschuss

β^- - Zerfall

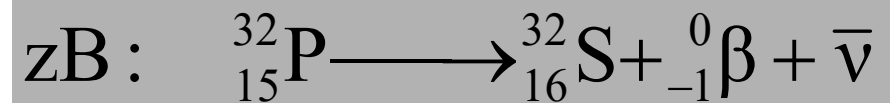


bleibt im Atomkern

treten aus



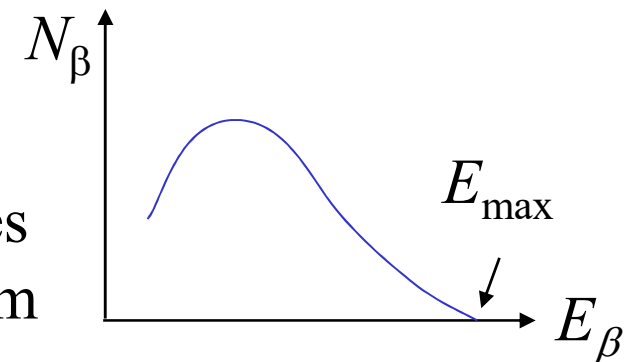
$$\beta^- = {}^0_{-1} \beta = e^-$$



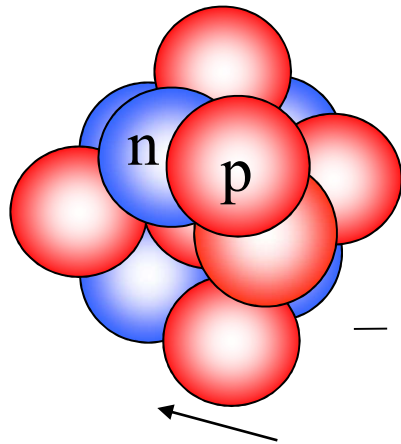
e^- β^- -Strahlung

$\bar{\nu}$

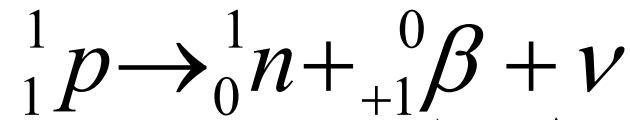
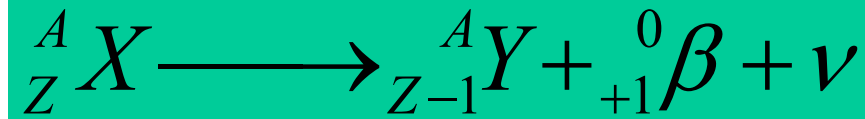
Kontinuierliches
Energiespektrum



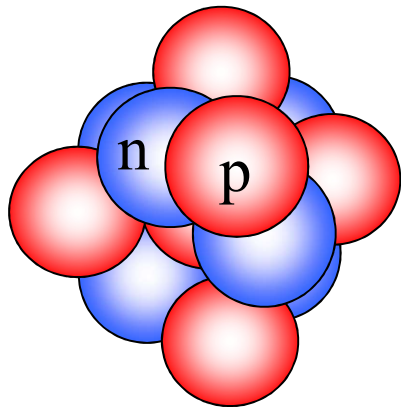
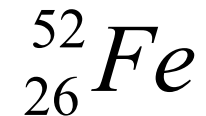
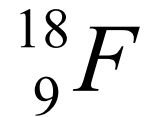
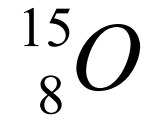
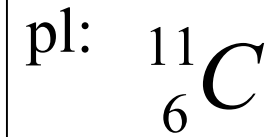
β^+ - Zerfall



Protonenüberschuss

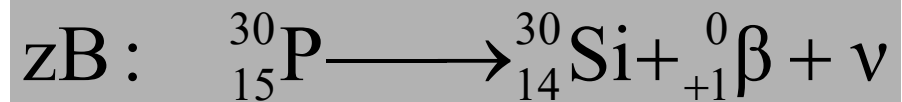


bleibt im Atomkern treten aus



β^+ Strahlung

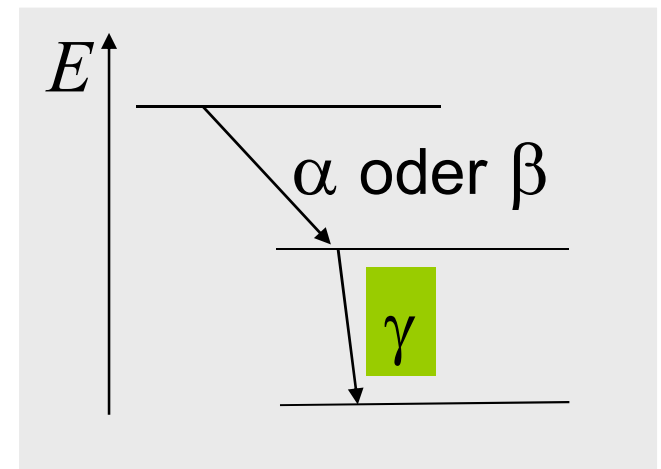
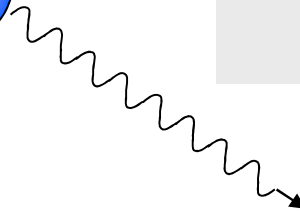
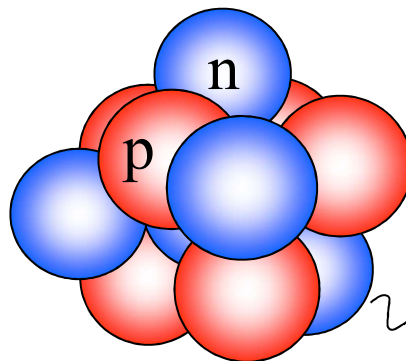
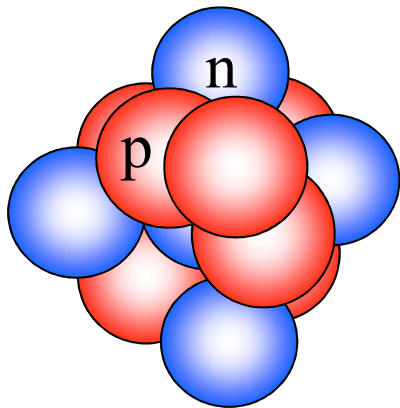
Kontinuierliches
Energiespektrum



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!

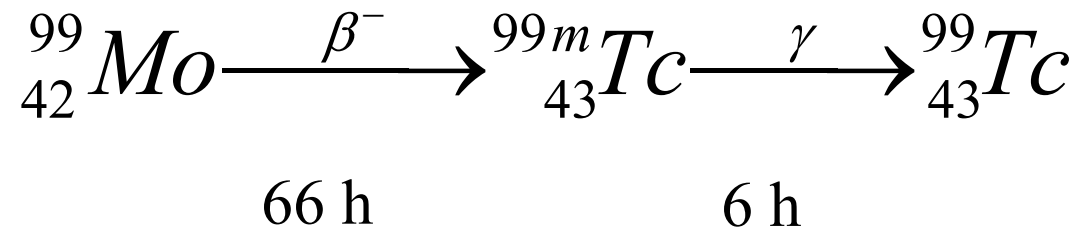
Isomere Kernumwandlung

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

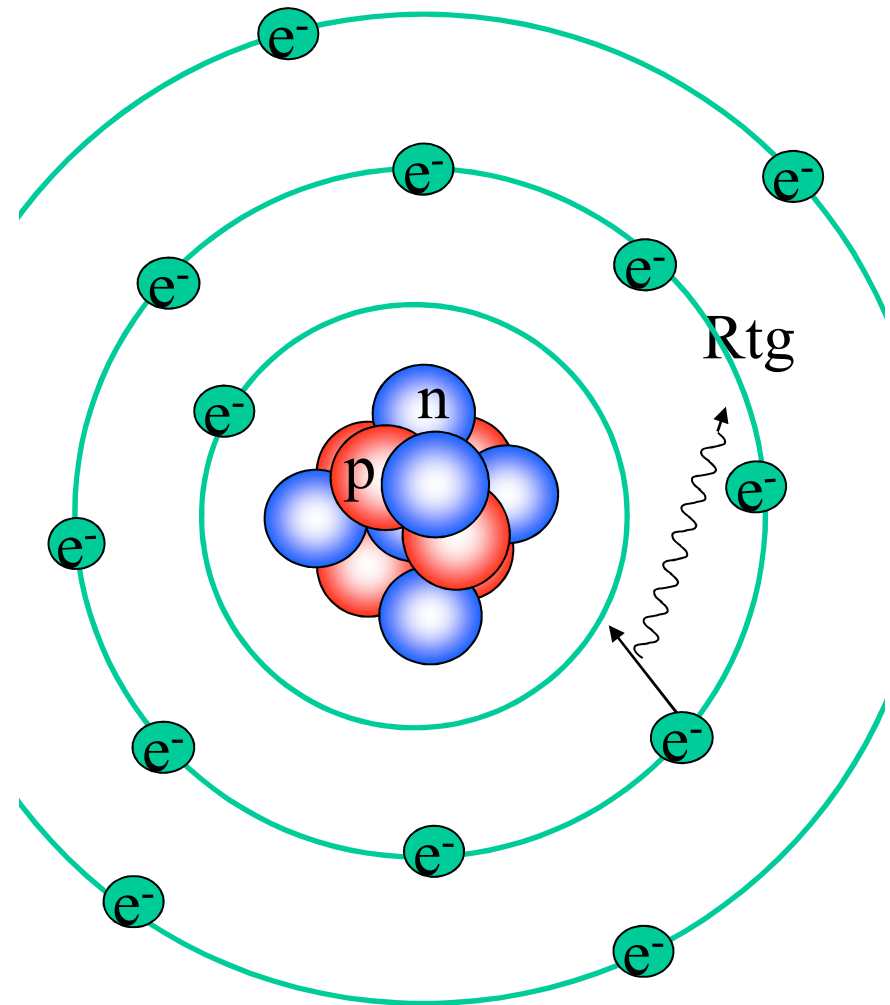
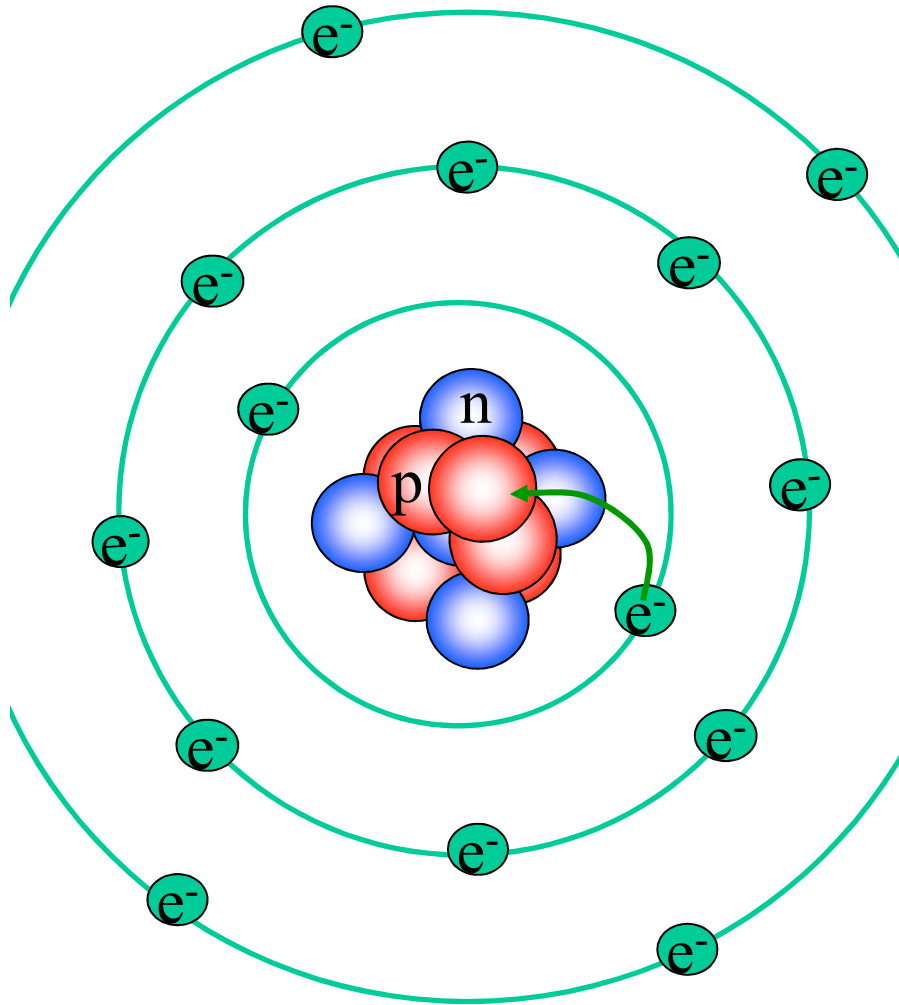
Die zwei Prozesse (α -oder β -Zerfall, γ -Strahlungsemission) können separiert werden.

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

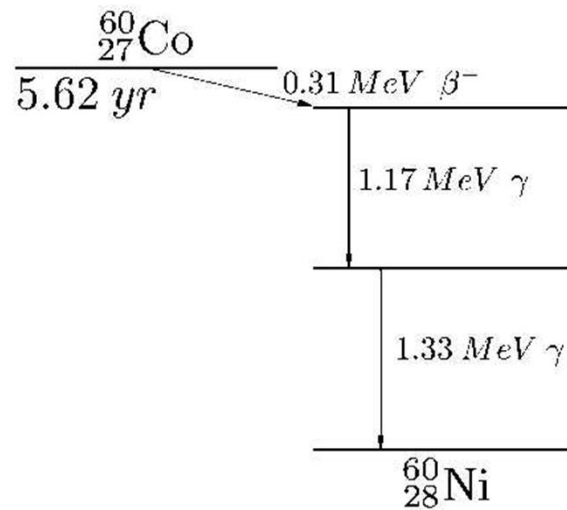
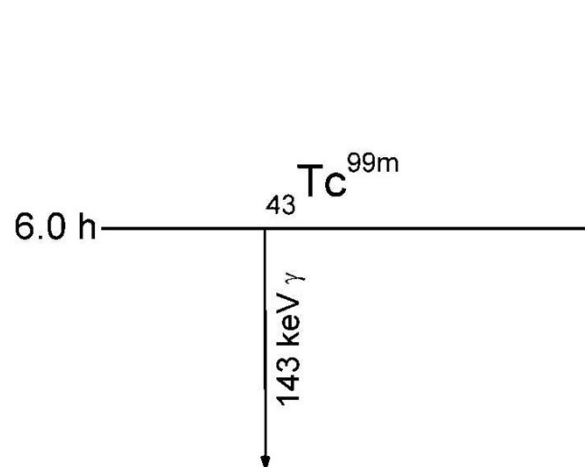
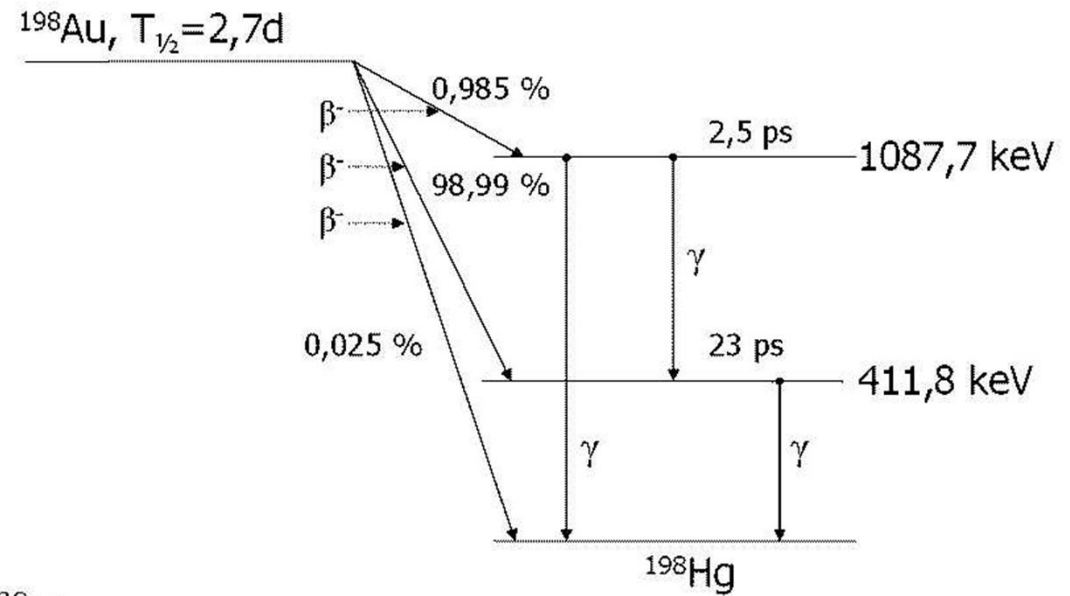
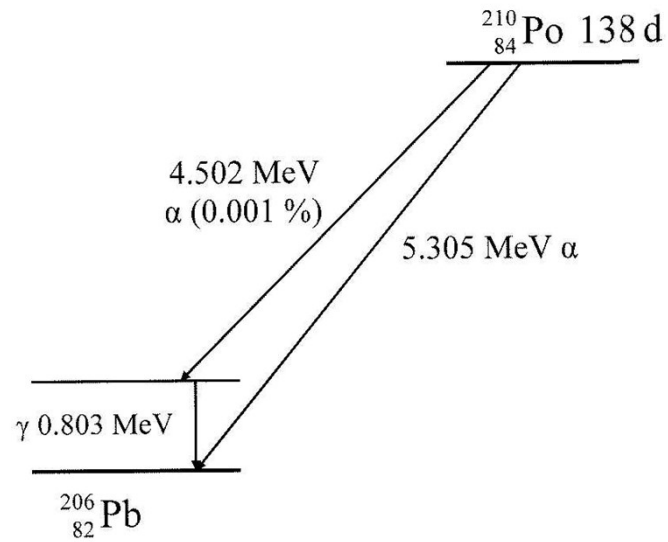
zB: ^{99m}Tc



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:

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

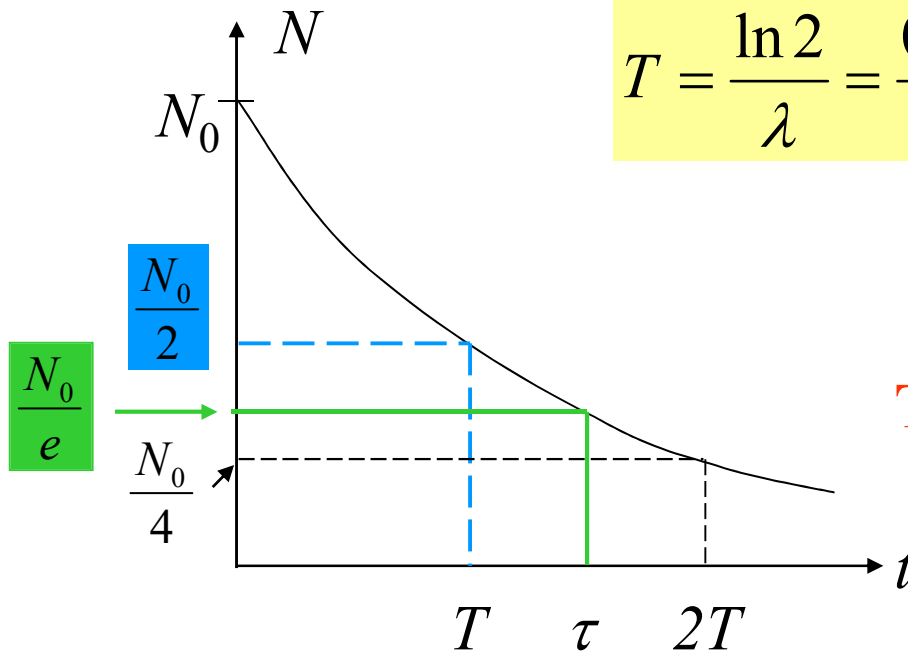
N_0 Anzahl der zerfallsfähigen Kerne am Anfang ($t=0$)

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 !

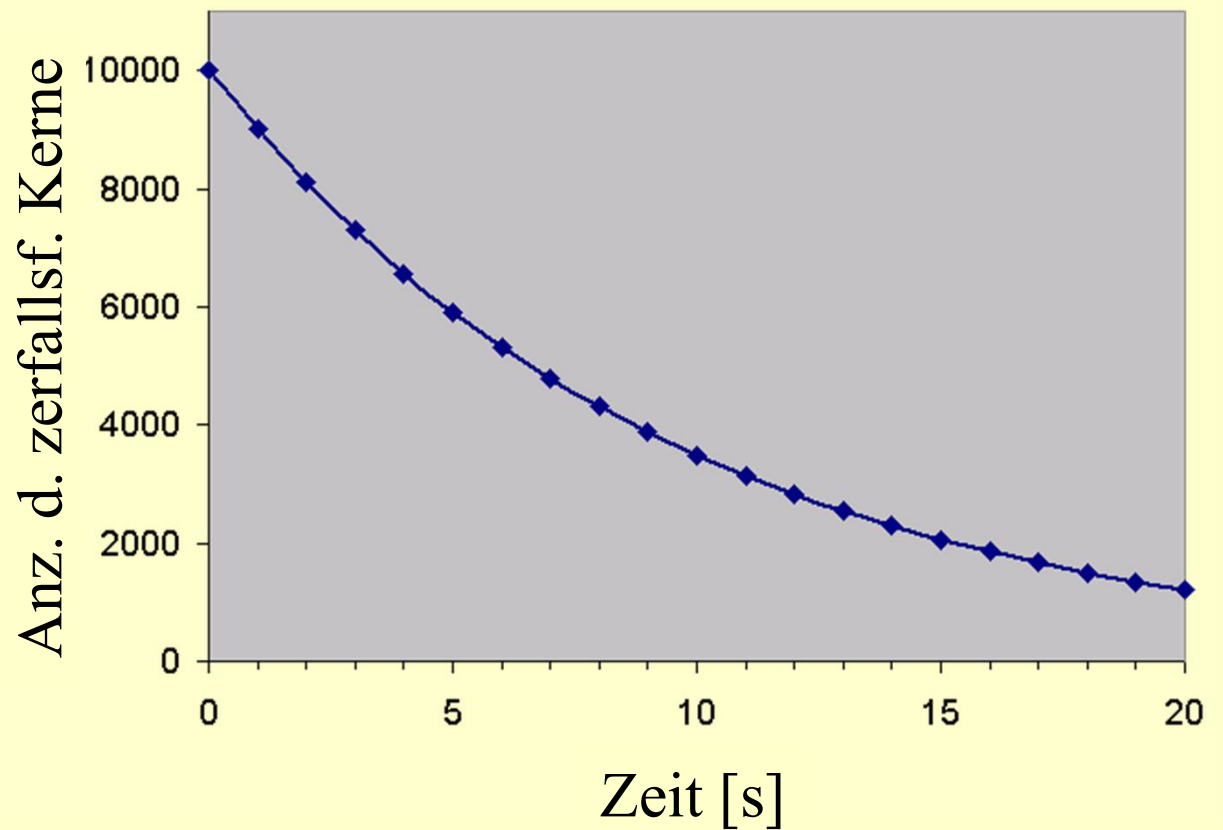
Beispiel

- 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

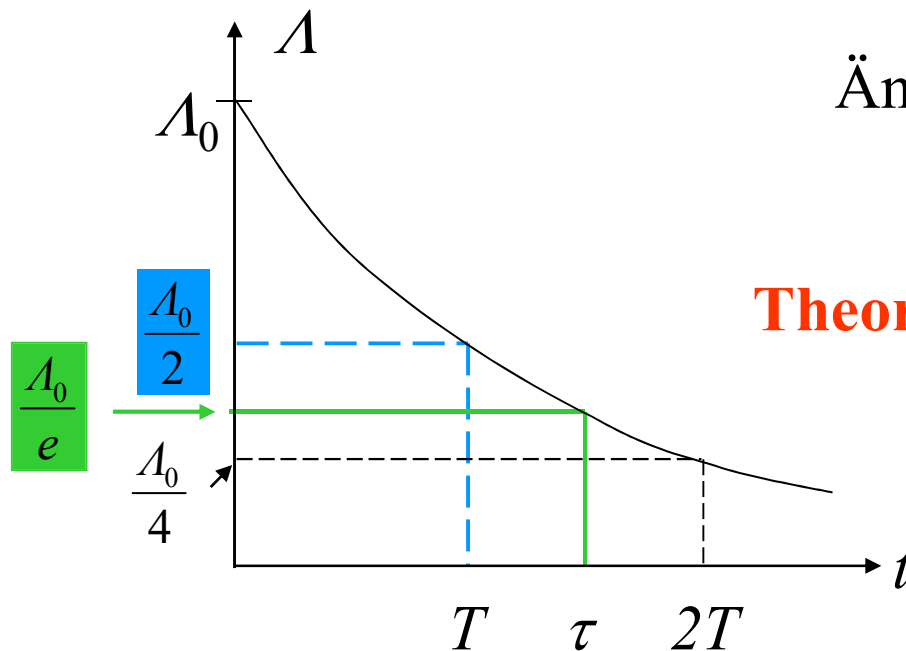
- Sei $N_0=10000$ $\lambda=0,1 \text{ } ^1/\text{s}$
- 1 sec 9000
- 2 sec 8100
- 3 sec 7290
- 4 sec 6561
-



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	$1,4 \cdot 10^{10} \text{ J}$
-------------------	-------------------------------

^{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	$12,3 \text{ J}$
--------------	------------------

^{60}Co	$5,3 \text{ J}$
------------------	-----------------

^{59}Fe	$1,5 \text{ M}$
------------------	-----------------

^{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	$2,8 \text{ ms}$
-------------------	------------------

Nicht auswendig lernen!

Teilchenenergie

Gemessen in Elektronenvolt (eV).

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

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