

Atomkern: Radioaktivität, Kernstrahlungen

Dr. László Smeller

Institut für Biophysik und Strahlenbiologie

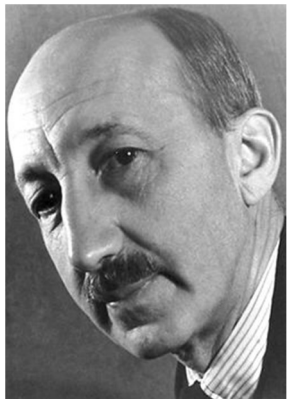
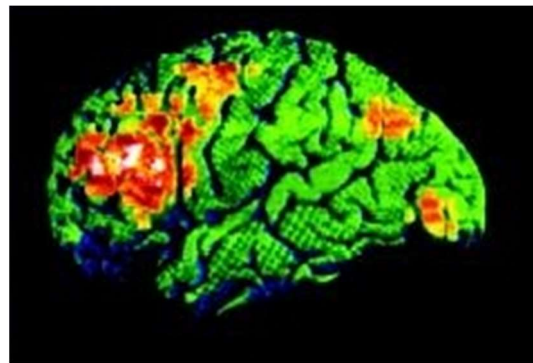
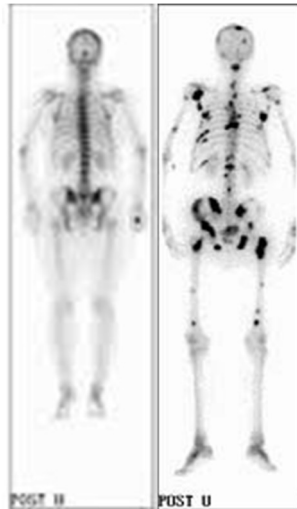
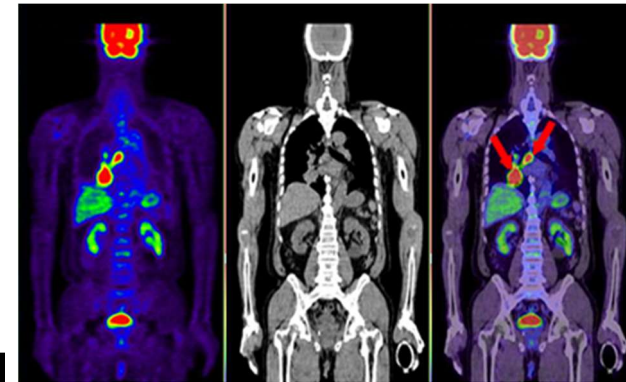
Semmelweis Universität



Wo wird Radioaktivität in der Medizin verwendet?

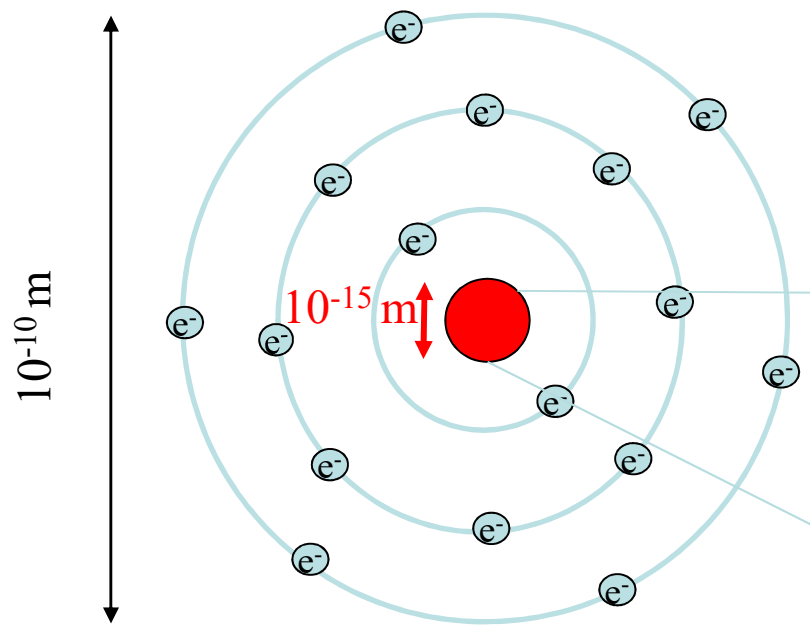
Medizinische Anwendung der radioaktiven Isotope und Strahlungen :

- Diagnostik
(Isotopendiagnostik)
- Therapie (Strahlentherapie)
- pharmakokinetische Untersuchungen

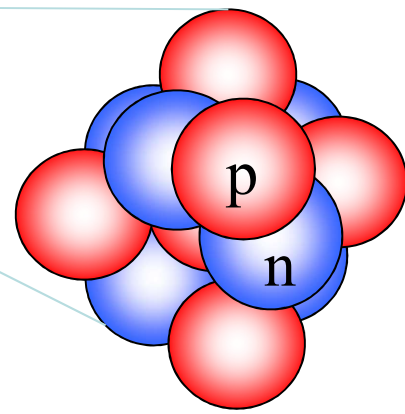


György Hevesy 1885-1966, Nobel Preis: 1943

Der Atomkern



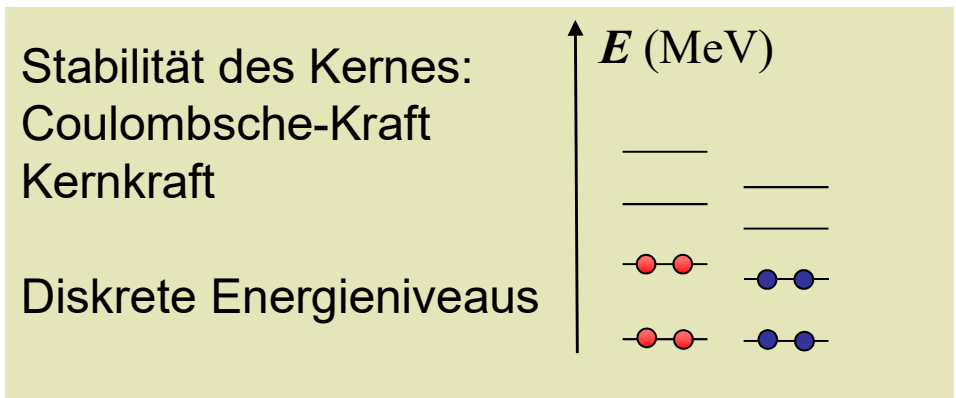
A (Massenzahl) = Anzahl der Protonen+Neutronen
 Z (Ordnungszahl) = Protonenzahl



z.B.: $\begin{matrix} 99 \\ 43 \text{ Tc} \end{matrix}$
 99 Nukleonen, d.h.
 43 Protonen und
 99-43=56 Neutronen

Elektronenhülle: Chemie
Atomkern: Radioaktivität (Physik)

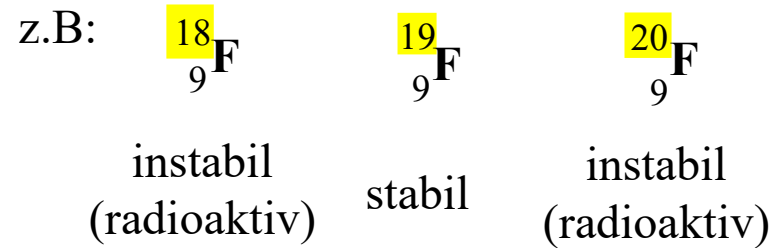
Isotop:
 -identische Ordnungszahl (Protonenzahl)
 -unterschiedliche Massenzahl
 (unterschiedliche Neutronenzahl).



Isotope und Zerfälle

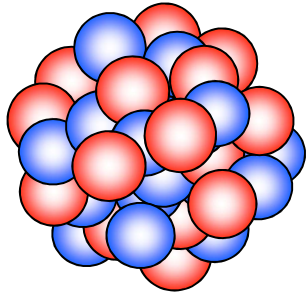
Isotop:

- identische Ordnungszahl
- unterschiedliche Massenzahl



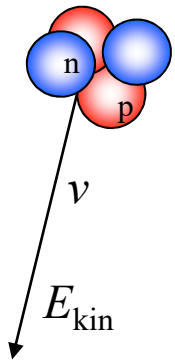
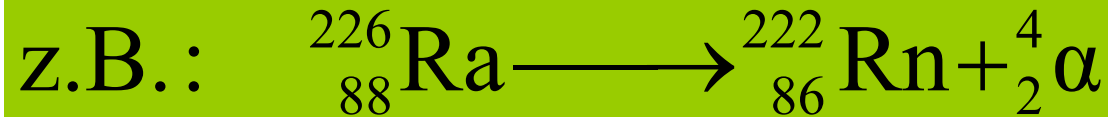
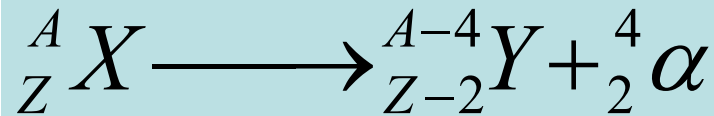
Radioaktiver Zerfall: Kernumwandlung + Strahlung

Typ des Zerfalles	Emittierte Teilchen (Strahlung)	Typisches Auftreten
α - Zerfall	α - Teilchen = ${}_{2}^{4}\text{He}$ Atomkern	Hoche Massenzahl
β^{-} -Zerfall: β^{+} -Zerfall:	β^{-} Teilchen= Elektron β^{+} Teilchen= Positron	Neutronenüberschuss Neutronenmangel
Prompte γ -Emission Isomere Kernumwandlung	γ -Photon	Nach α - oder β -Zerfall

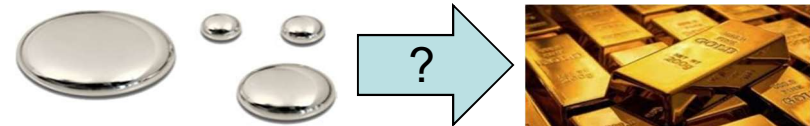
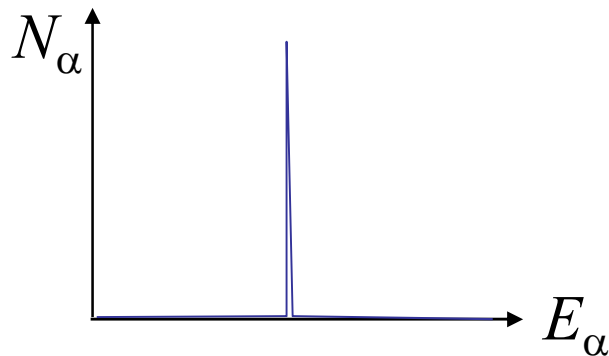


α - Zerfall

α - Zerfall: ein ${}^4\text{He}$ Atomkern wird aus dem Mutterkern emittiert.
Typisch bei schwere Atomkerne.

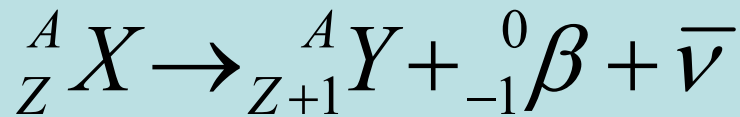
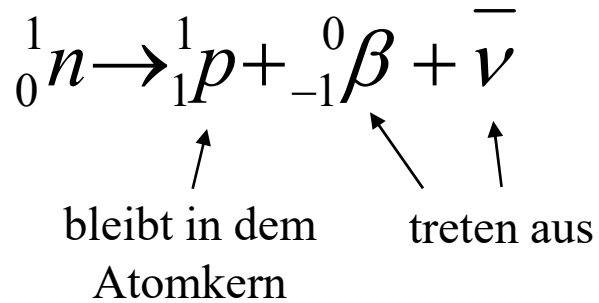
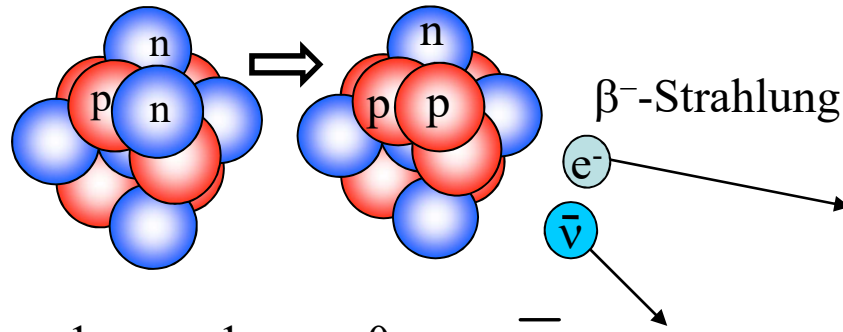


Linienspektrum
(alle α -Teilchen haben gleiche Energie)
 $E_\alpha \sim \text{MeV}$

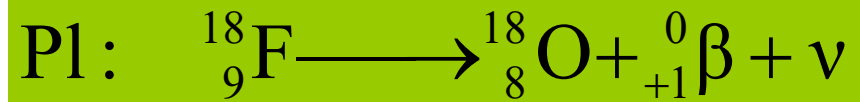
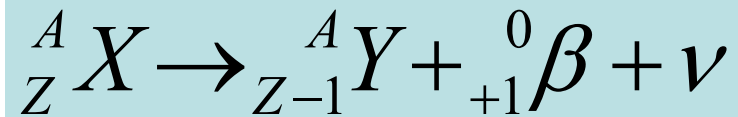
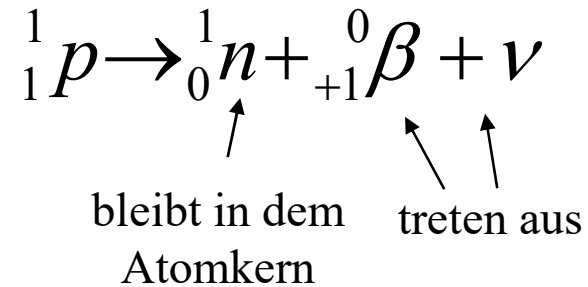
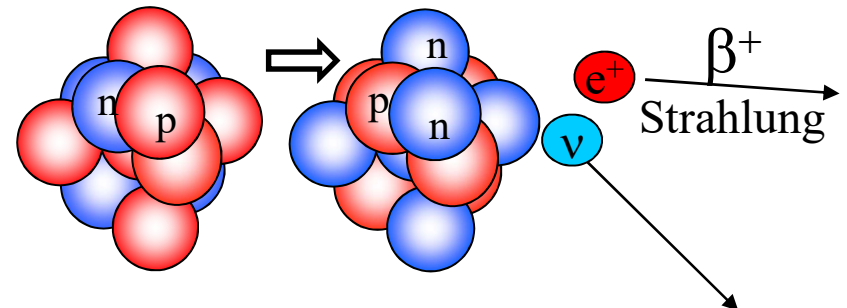


β - Zerfall

β^- - Zerfall (Neutronenüberschuss)



β^+ - Zerfall (Protonenüberschuss)



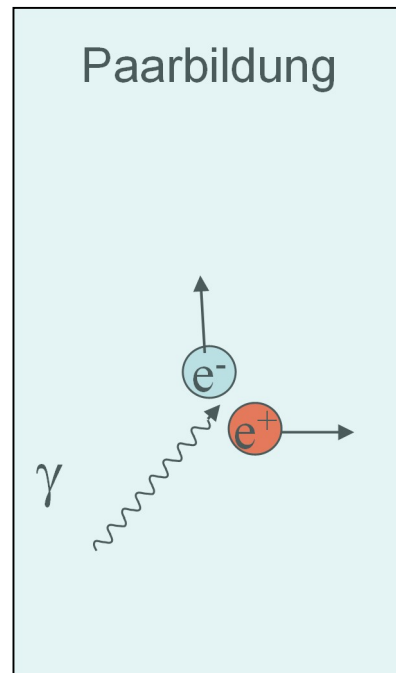
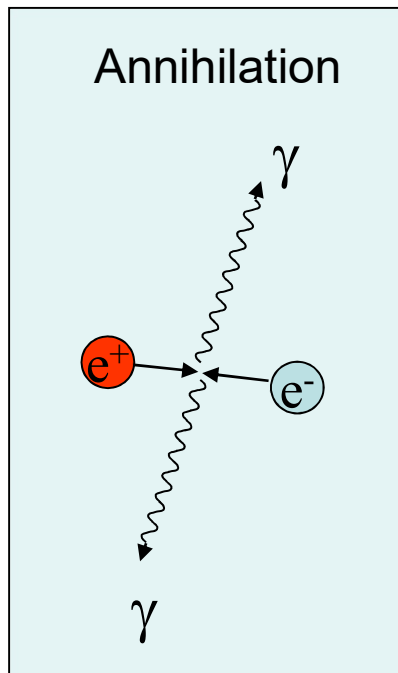
Bezeichnung: $\beta^- = {}^0_{-1}\beta = e^-$

Kontinuierliches
Energiespektrum

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

Ein kleiner Umweg: Elektron - Positron

- Antiteilchen
- gleiche Masse, umgekehrte Ladung
- Annihilation und Paarbildung



Einstein:

Äquivalenz von
Masse und Energie

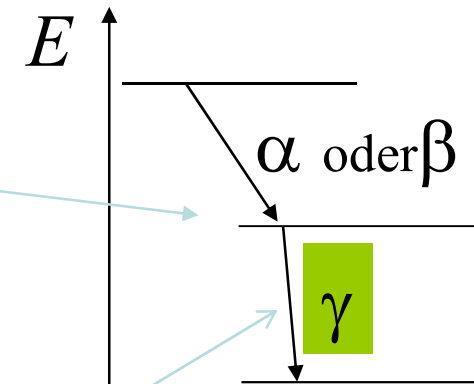
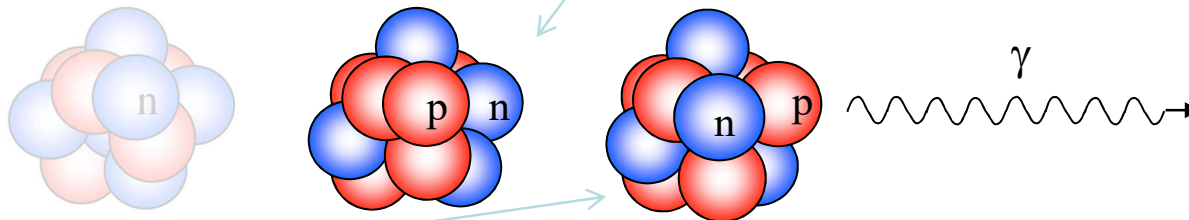
$$E=mc^2$$

$$m_e c^2 = 511 \text{ keV} \approx 0,5 \text{ MeV}$$

Entstehung der γ -Strahlung

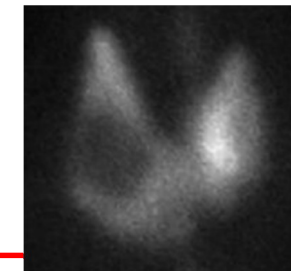
Nach dem Zerfall die Anordnung der Nukleonen kann

energetisch ungünstig sein
(Kern in angeregtem Zustand)



Umordnung: die überflüssige Energie wird in Form von γ Photon emittiert. Protonenzahl, Neutronenzahl sind ungeändert.

Linienspektrum.



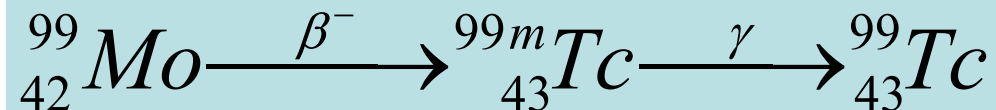
Prompte γ -Strahlung

Sofort nach dem Zerfall
 $<10^{-10}$ s

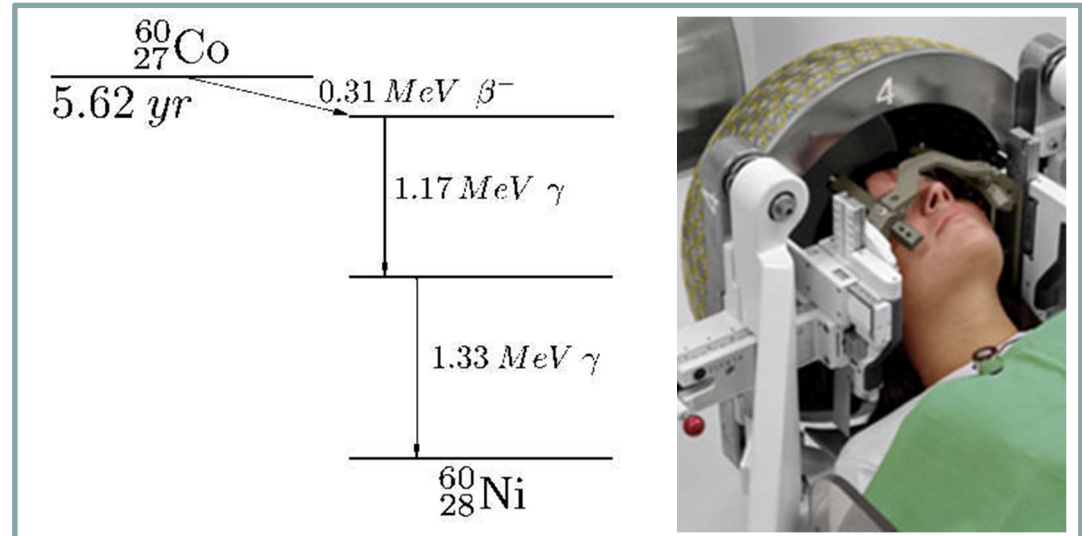
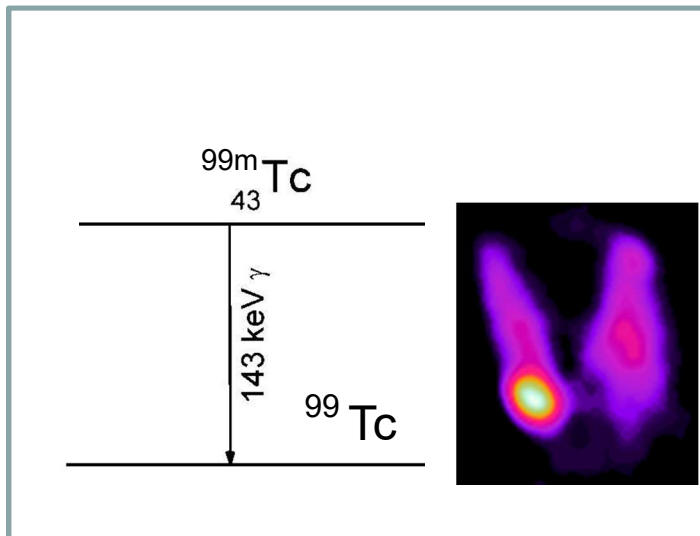
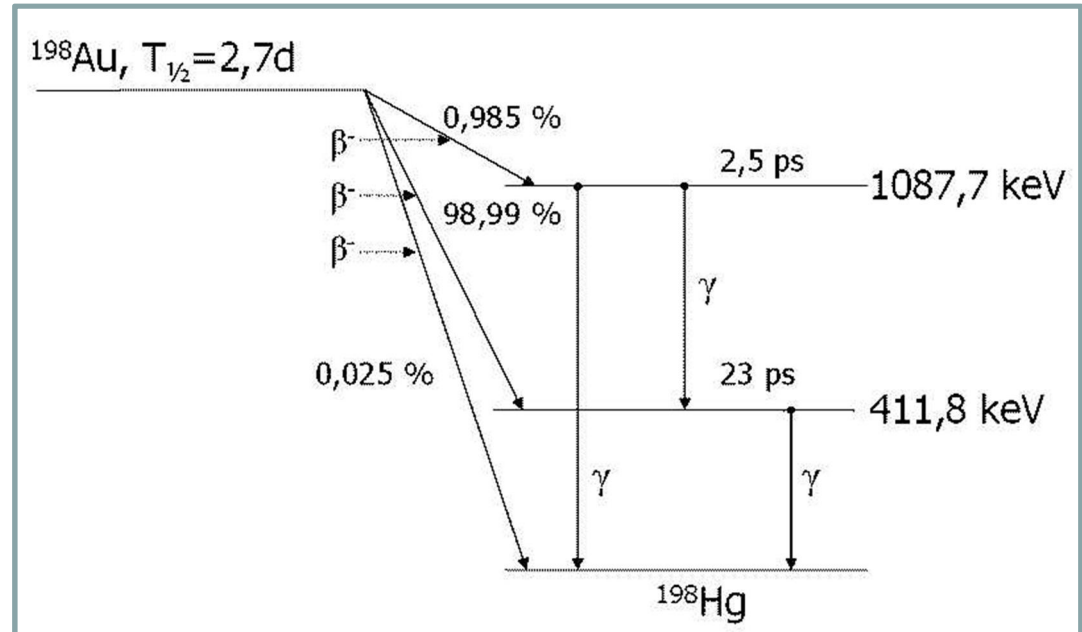
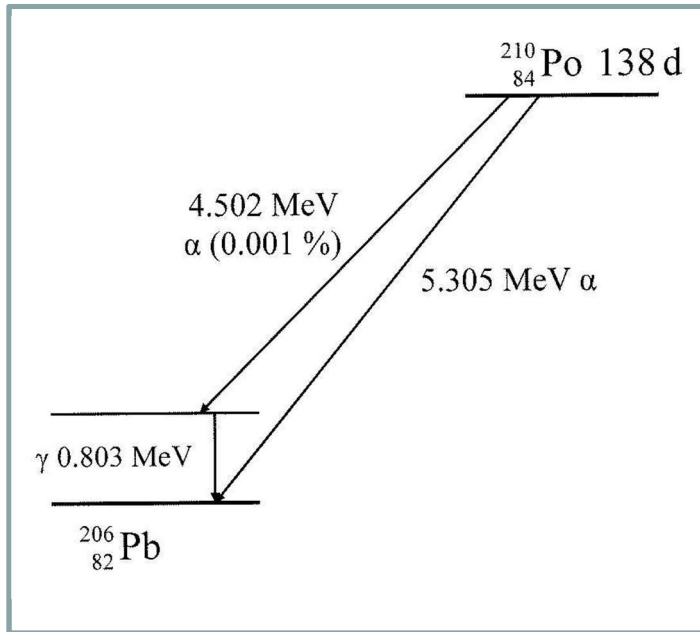
Isomere Kernumwandlung

Die Umordnung läuft minuten- oder stundenlang.
Die β - und γ -Zerfälle können separiert werden.
z.B. ^{99m}Tc

Reines γ -strahlendes Isotop entsteht!
=> Isotopendiagnostik



Beispiele für Zerfälle



Wichtigste physikalische Grössen für die Charakterisierung der Isotpe

Aktivität (charakteristisch für die Strahlenquelle)

Halbwertszeit (zeigt die Geschwindigkeit des Zerfalles)*

Typ der emittierten Teilchen (siehe oben!)*

Teilchenenergie (charakterisiert die Strahlung)* (\approx MeV)

* hängt vom Isotopenart ab

Aktivität (Λ)

$$\Lambda = \left| \frac{\Delta N}{\Delta t} \right|$$

N = Anzahl der Zerfallsfähigen Kerne

t = Zeit

$-\Delta N$ = Anzahl der während Δt Zeit zerfallenen Atomkerne

Aktivität = Anzahl der Zerfälle pro Zeiteinheit.

Masseinheit: becquerel Bq

1 Bq = 1 Zerfall/sec

Alte Einheit: curie Ci

1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq = 37 GBq

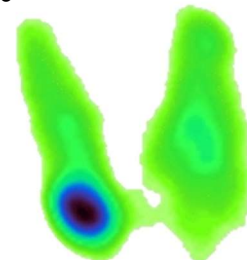
Unmessbar klein

In der Praxis verwendet man: kBq, MBq, GBq, TBq, PBq

Natürlich
vorkommende
Radioaktivität



in vivo
Diagn.



Vorsichtig
behandeln!

Therapie



Zerfallsgesetz

$$\Delta N \sim N$$

N = Anzahl der zerfallasfähigen Kerne
 $-\Delta N$ = Anzahl der während Δt Zeit zerfallenen Atomkerne

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

λ : Zerfallskonstante, Zerfallswahrscheinlichkeit [1/s]
 $1/\lambda = \tau$ Durchschnittlicher Lebensdauer

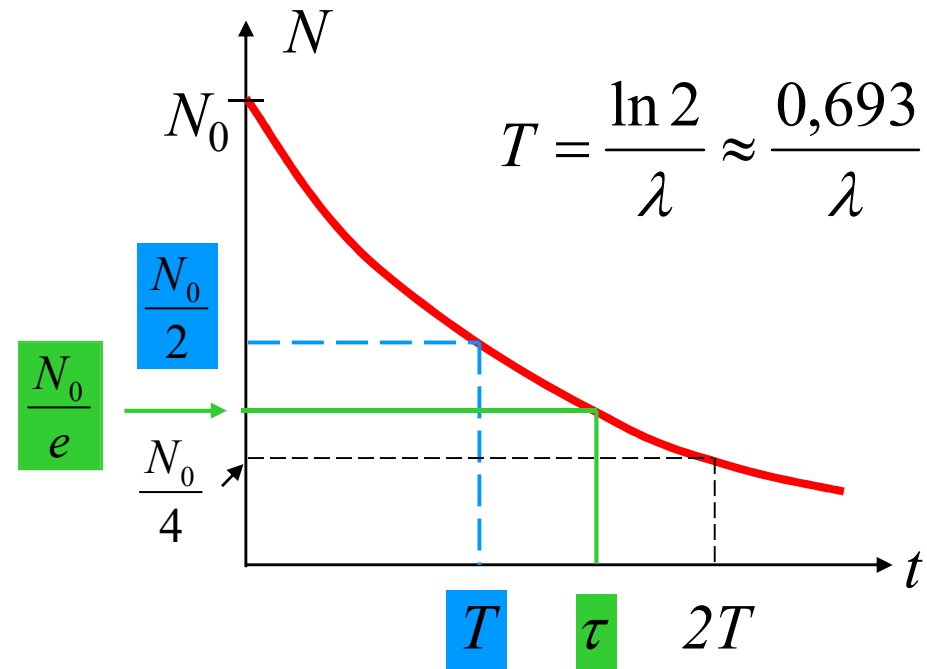
Differentialgleichung

Lösung:

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

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

exponentieller Abkling!



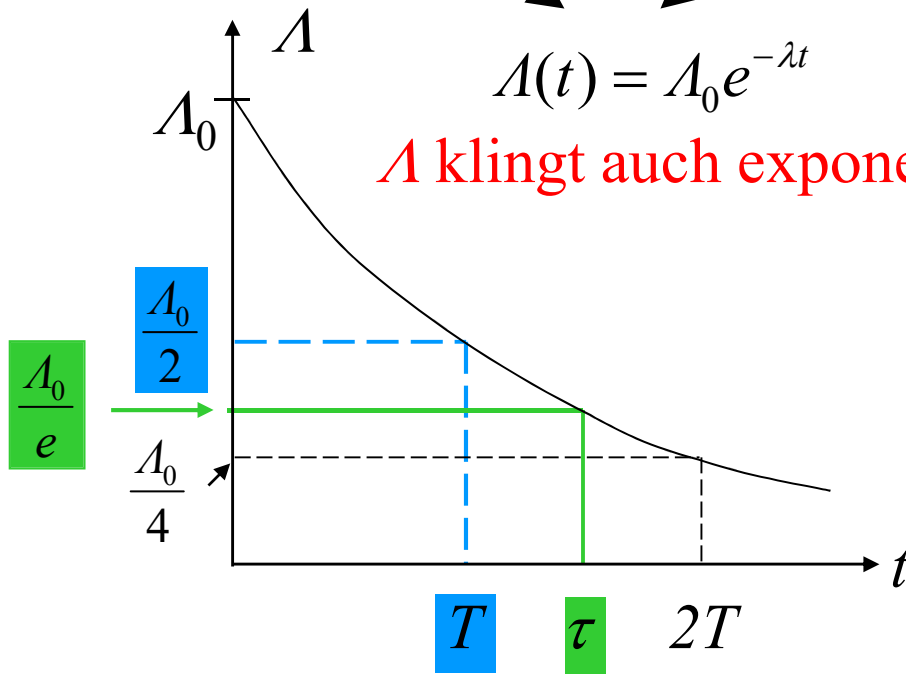
Zeitlicher Änderung der Aktivität

$$A = \left| \frac{\Delta N}{\Delta t} \right| \quad \frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda N \quad N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$A = \lambda N$$

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

A klingt auch exponentiell ab!



Einige Beispiele für T :

^{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 Tage)
^{131}I	8 Tage
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6 Stunden
^{18}F	110 Minuten

Diese Werte darf man nicht auswendig lernen!

Faustregel: während $10 \cdot T$ wird die Aktivität auf 1/1000 Teil reduziert:
 GBq \rightarrow MBq
 MBq \rightarrow kBq

