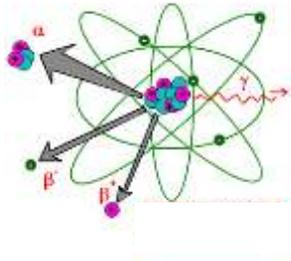


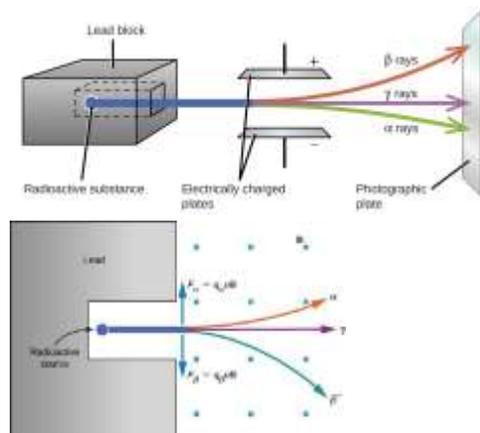
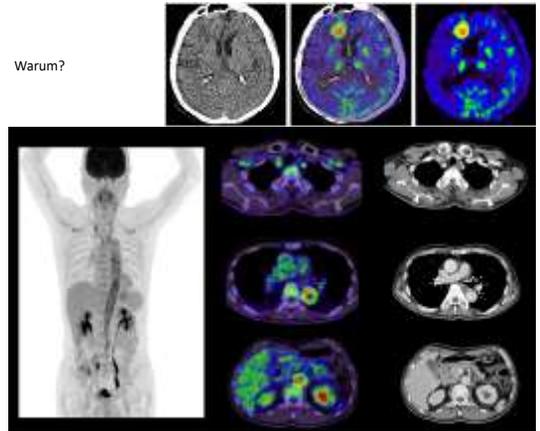
Physikalische Grundlagen der Nuklearmedizin. Radioaktivität und Kernstrahlungen.



Biophysik I.
Fakultät für Zahnheilkunde

G.Schay

Warum?



Isotop: Z ist gleich, aber N ist variabel
Iso-topos

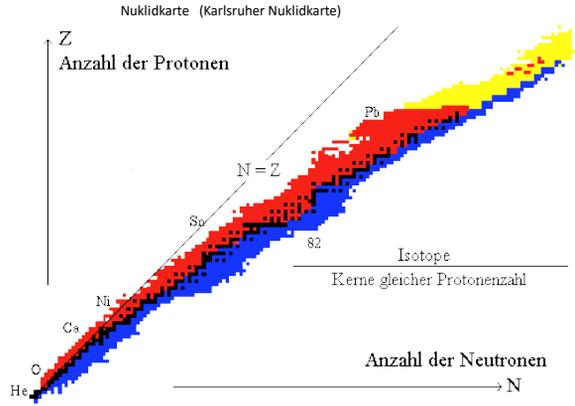
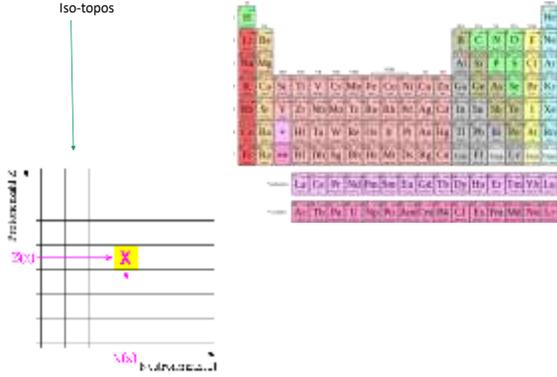
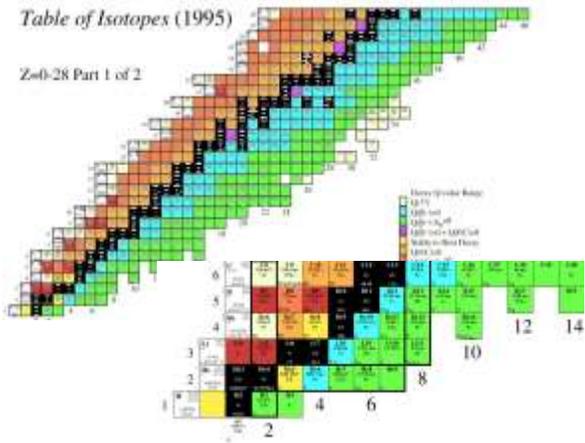
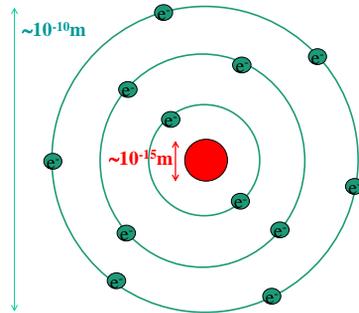


Table of Isotopes (1995)

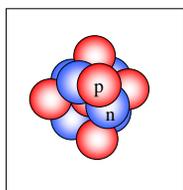
Z=0-28 Part 1 of 2



Atomäre Größen



Aufbau des Atomkerns



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

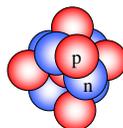
A (Massenzahl) = Protonenzahl + Neutronenzahl → 99
 Z (Ordnungszahl) = Protonenzahl → 43 **Tc**

99 Nukleon: 43 Proton és 56 Neutron

Kräfte

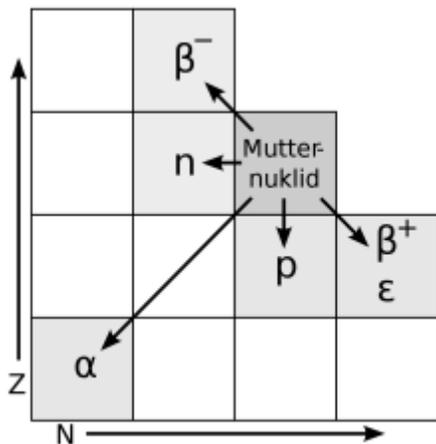
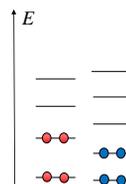
Materienwellen → Diskrete Energiewerte (Quantenphysik)

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



Diskrete Energieniveaus

Typische Übergangsenergie-
 verte: einige MeV

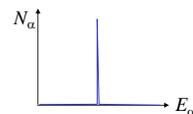
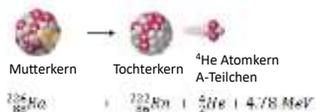
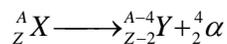


α - Zerfall

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



Massenzahl ↓4 Ordnungszahl ↓2



Tröpfchenmodell

The experiments were made for the conventional liquid drop model.

(1) **Quasi-motivale analogie**
 The ideas for the drop model are given simply in plain language for (a) ^{238}U and (b) ^{235}U .
 The general idea is that the nucleus is a drop of liquid.

The experiments are made for the conventional liquid drop model. The experiments are made for the conventional liquid drop model.

Kraft	Wirkt auf	Reichweite	Relative Stärke	Folgeeffekt
elektromagnetische Kraft	richtig geladene Teilchen	unendlich weit / ab	10^{-2}	Zusammenhalt des Atoms
starke Kraft	Nuclonen (Quarks)	10^{-15} m	1	Zusammenhalt des Atomkerns
schwache Kraft	alle Teilchen	10^{-17} m	10^{-13}	Beta-Zerfall
Gravitationskraft	alle Teilchen	unendlich weit / ab	10^{-38}	Zusammenhalt des Planetensystems

β^- - Zerfall

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

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

Neutronenüberschuss

bleibt im Atomkern

treten aus

β^- -Strahlung

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

Kontinuierliches Energiespektrum

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

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

β^+ - Zerfall

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

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

Protonenüberschuss

bleibt im Atomkern

treten aus

β^+ Strahlung

Kontinuierliches Energiespektrum

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

${}^{12}_6 \text{C}$
 ${}^{15}_7 \text{O}$
 ${}^{18}_8 \text{F}$
 ${}^{52}_{26} \text{Fe}$

Potentialtopfmodell

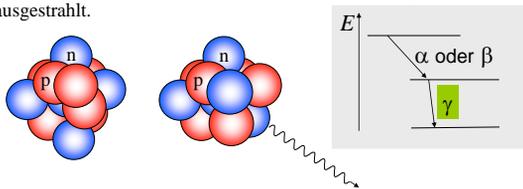
Boltzmann!

The diagram shows a potential well with discrete energy levels. A Boltzmann distribution curve is shown above the well, indicating the probability of particles occupying different energy states.

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.



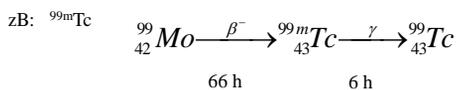
Protonenzahl u. Neutronenzahl sind unverändert!

Isomere Kernumwandlung

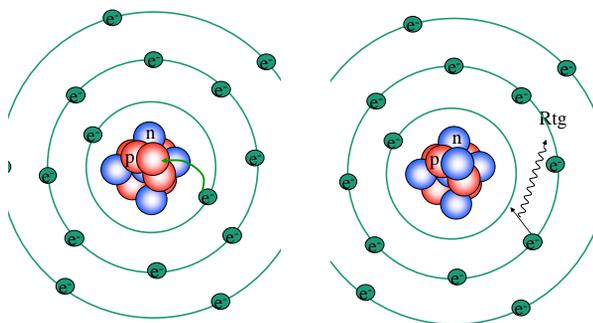
Wenn die Umordnen nicht einfach vor sich gehen kann, entsteht γ -Strahlung nicht sofort, sondern erst nach einer gut messbaren Zeit.

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

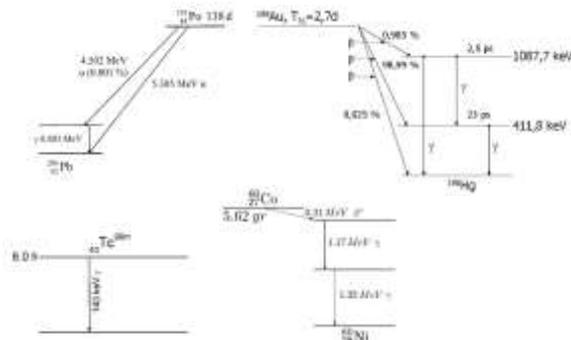
Man kann ein reines γ -strahlen Isotop herstellen!
=> **Isotopendiagnostik**

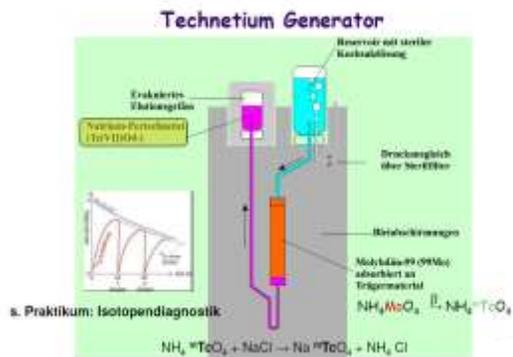


K-Einfang



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, PBq

Zerfallsgesetz

$\Delta N \sim N$ N Anzahl der zerfallsfähigen Kerne
 λ : Zerfallskonstante
Zerfallswahrscheinlichkeit [1/s]
 $1/\lambda = \tau$ Zeit! durchschnittlicher Lebensdauer

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

Differentialgleichung

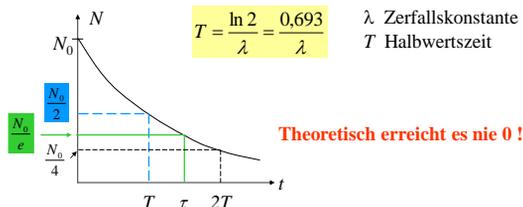
Lösung:

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

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

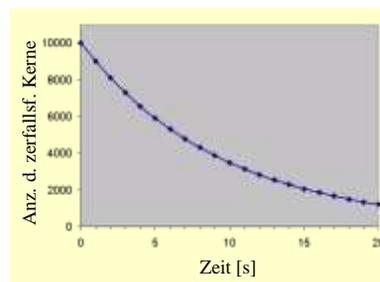
Zerfallsgesetz

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



Beispiel

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



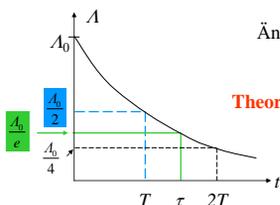
Zeitliche Änderung der Aktivität

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

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 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.

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

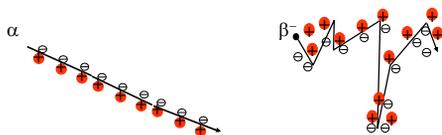
Absorption von radioaktiven Strahlungen

α	}	haben elektrische Ladung
β^+		
β^-		
γ	}	ungeladene Teilchen (elektromagnetische Strahlung)
Rtg		
ν		

Schwächung der geladenen Teilchen

Ionisieren: ihre Energie wird auf einem bestimmten Weg verbraucht

Reichweite

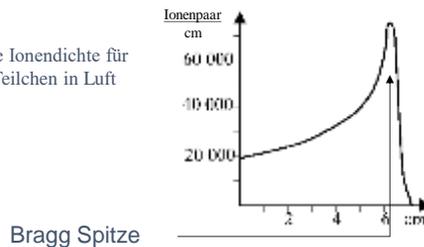


α

Lineare Energieübertragung (**LET**, Linear Energy Transfer)

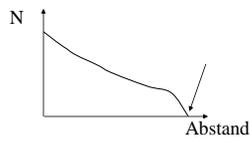
$$LET = (\text{lineare Ionendichte}) \cdot (\text{zur Ionisation notwendige Energie})$$

Lineare Ionendichte für ein α -Teilchen in Luft



Bragg Spitze

β



Reichweite

α -Teilchen

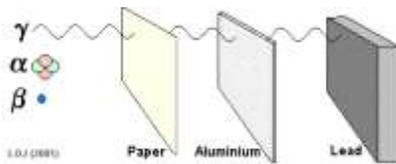
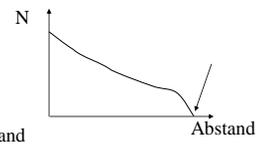
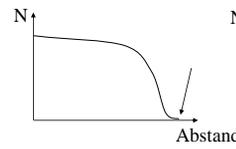
in Luft **einige cm**

in Gewebe **0,01-0,1 mm**

β^- -Teilchen

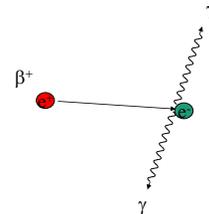
in Luft **m**

in Gewebe **cm**



β^+ -Strahlung

Annihilation



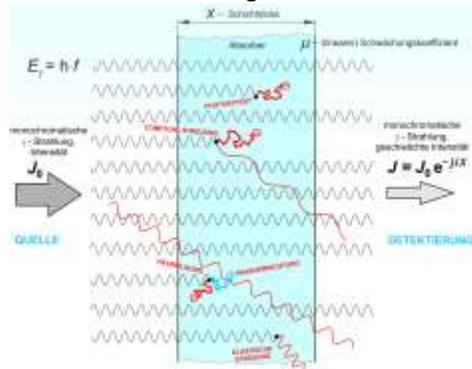
Medizinische Anwendung: Positron Emissionstomographie (PET)

Einsteinsche Formel:

$$E=mc^2$$

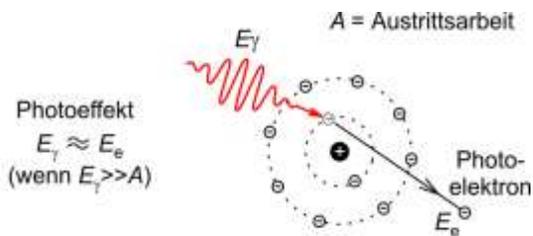
Energie - Masse Equivalenz !

Wechselwirkung der Röntgen- und Gamma-Strahlung mit der Materie



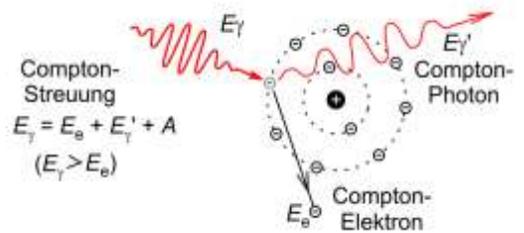
38

Photoelektrischer Effekt



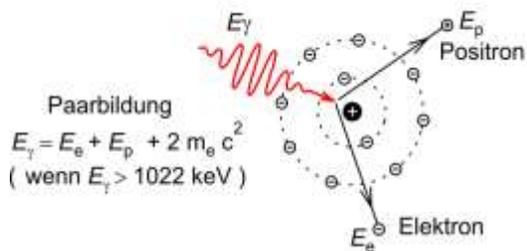
39

Compton Effekt



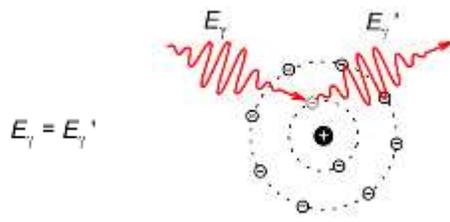
40

Paarbildung



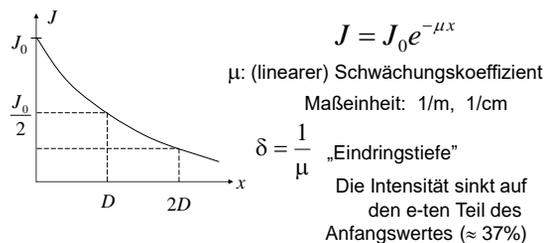
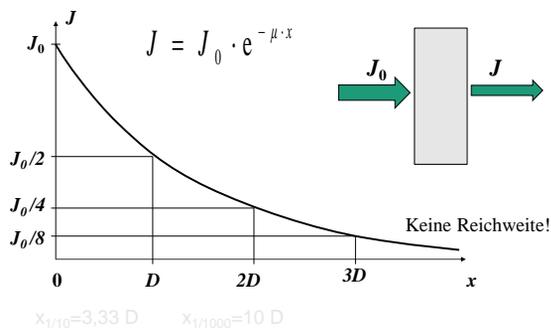
41

Elastische Streuung



42

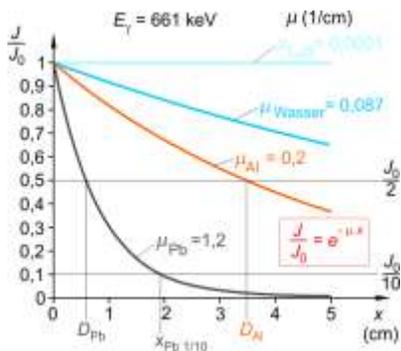
Schwächung der γ - und Röntgenstrahlung



$\mu(\text{Stoffart, Dichte, Energie der Strahlung}) = \mu(\text{Stoffart}, \rho, E_{\text{photon}}) \sim \rho$

$\mu_m = \frac{\mu}{\rho}$ Massenschwächungskoeffizient
 Maßeinheit: cm^2/g

Schwächung der γ - und Röntgenstrahlung



45

Massenschwächungskoeffizient:

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho}$$

$$\mu_m = \tau_m + \sigma_m + \kappa_m$$

$$\tau_m = c\lambda^3 Z^3$$

