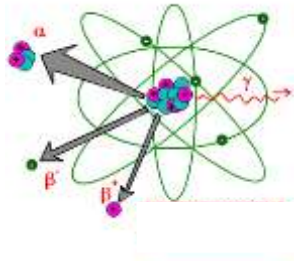


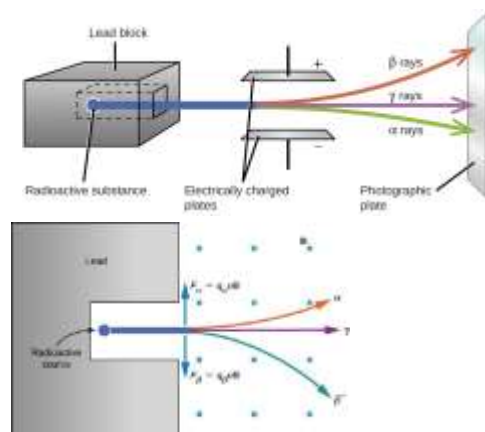
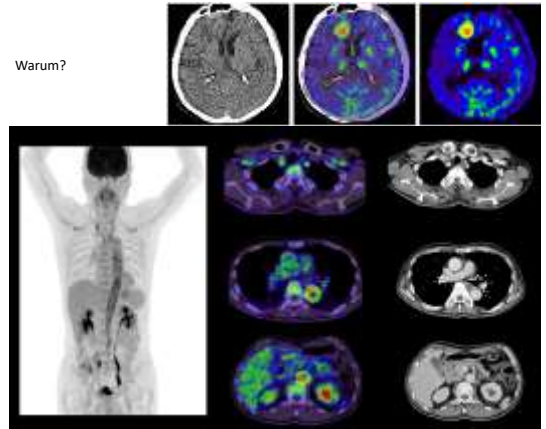
Physikalische Grundlagen der
Nuklearmedizin. Radioaktivität
und Kernstrahlungen.

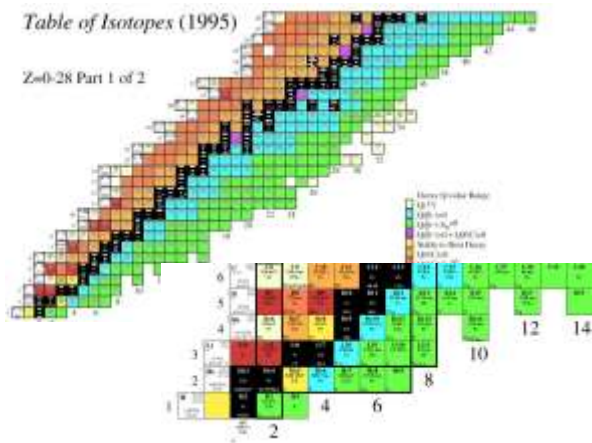
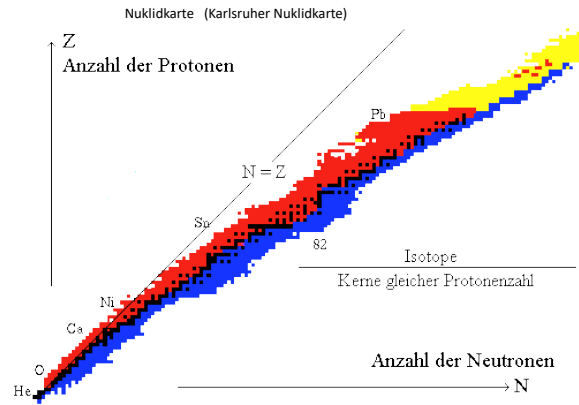
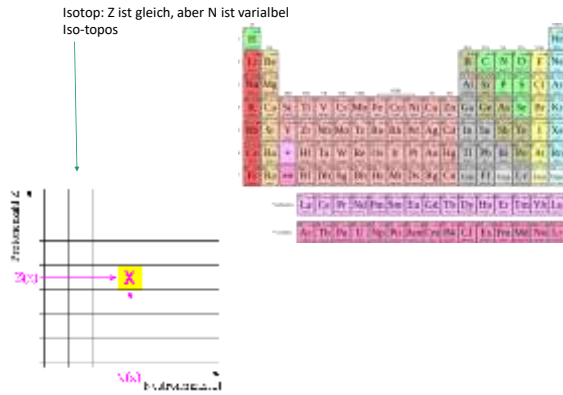


Biophysik I.
Fakultät für Zahnheilkunde

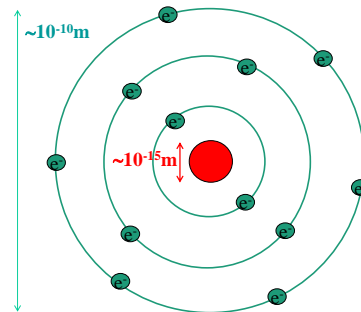
G.Schay

Warum?

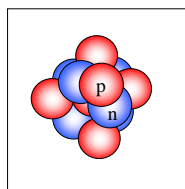




Atomäre Größen



Aufbau des Atomkerns



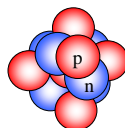
	Ladung	Masse
Proton	+1 e	1 a.u.
Neutron	0	1 a.u.

A (Massenzahl) = Protonenzahl + Neutronenzahl $\rightarrow 99$
 Z (Ordnungszahl) = Protonenzahl $\rightarrow 43$ **Tc**
 99 Nukleon: 43 Proton és 56 Neutron

Kräfte

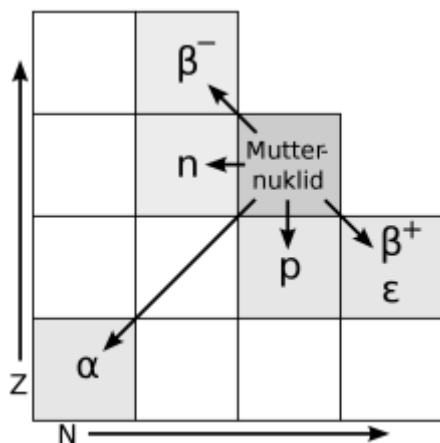
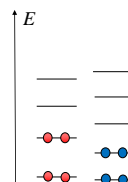
Materienwellen \rightarrow Diskrete Energiewerte
(Quantenphysik)

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



Diskrete Energieniveaus

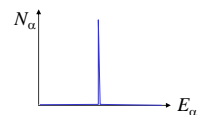
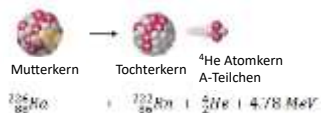
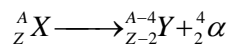
Typische Übergangsenergie-
werte: einige MeV



α - Zerfall

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

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



Tröpfchenmodell

The representations were made for the conventional liquid-drop model.

(a) **Quasi-molecular shapes**

The shape of the nucleus is not a given simply in polar coordinates for (a) ^{16}O , (b) ^{12}C , (c) ^{12}C , (d) ^{12}C , (e) ^{12}C , (f) ^{12}C .

The parameters in (f) - (h) define the shape of the nucleus.

(g) ^{16}O - (h) ^{12}C - (i) ^{12}C .

The same representation of the nucleus is used in the present paper as that in the preceding paper.

Kraft	Wicht auf	Reichweite	Relative Stärke	Beispiel
elektromagnetische Kraft	elektrisch geladene Teilchen	unendlich	10^{-2}	Zusammenhalt des Atoms
starke Kraft	Nukleonen (Quarks)	10^{-15} m	1	Zusammenhalt des Atomkerns
schwache Kraft	alle Teilchen	10^{-17} m	10^{-13}	Beta-Zerfall
Gravitationskraft	alle Teilchen	unendlich	10^{-38}	Zusammenhalt des Planetensystems

β^- - Zerfall

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

Neutronenüberschuss

bleibt im Atomkern

treten aus

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

β^- -Strahlung

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

Kontinuierliches Energiespektrum

N_β

E_{\max}

E_β

β^+ - Zerfall

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

Protonenüberschuss

bleibt im Atomkern

treten aus

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

β^+ Strahlung

Kontinuierliches Energiespektrum

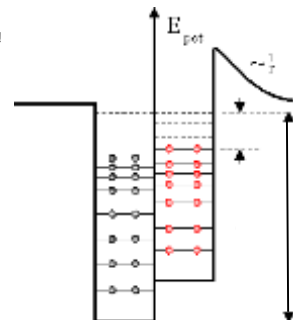
N_β

E_{\max}

E_β

Potentialtopfmodell

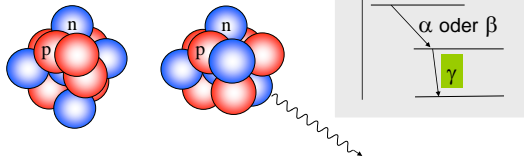
Boltzmann!



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!

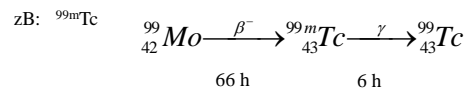
Isomere Kernumwandlung

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

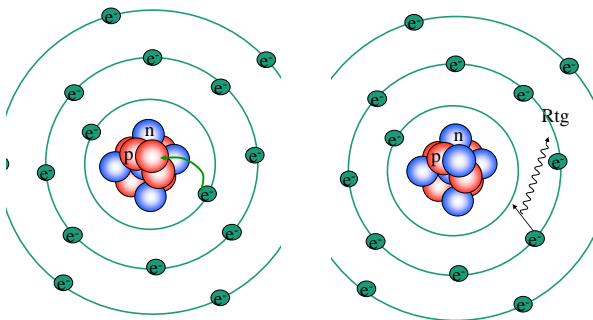
Die zwei Prozesse (α -oder β -Zerfall, γ -Strahlungsemission) können separiert werden.

Man kann ein reines γ -strahlen Isotop herstellen!

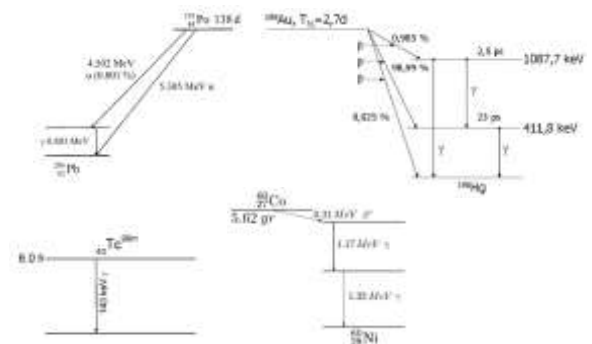
=> **Isotopendiagnostik**

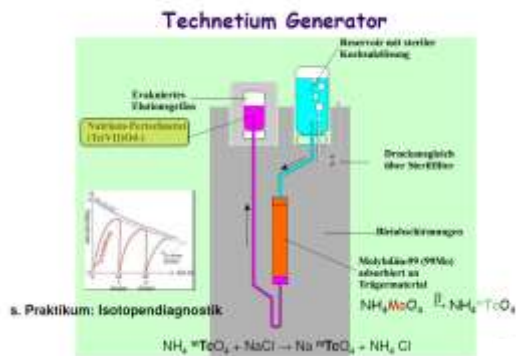


K-Einfang



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:

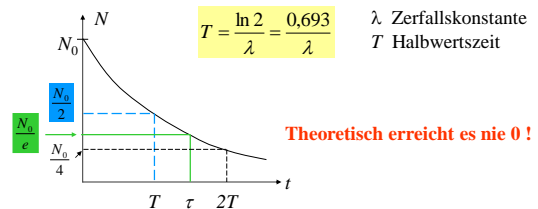
$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

Exponentialfunktion!

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

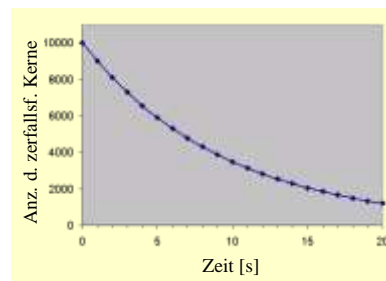
Zerfallsgesetz

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



Beispiel

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



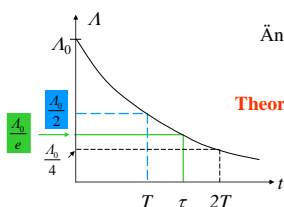
Zeitliche Änderung der Aktivität

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

Änderung wie bei N!

Theoretisch erreicht es nie 0!

ca. $10 T \Rightarrow$ zerfällt auf 1/1000 Teil!



Einige Beispiele für Halbwertszeit

^{232}Th	$1,4 \cdot 10^{10} \text{ J}$	^{60}Co	5,3 J
^{238}U	$4,5 \cdot 10^9 \text{ J}$	^{59}Fe	1,5 M
^{40}K	$1,3 \cdot 10^9 \text{ J}$	^{56}Cr	1 M (28 T)
^{14}C	5736 J	^{131}I	8 T
^{137}Cs	30 J	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6 h
^3H	12,3 J	^{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).

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

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

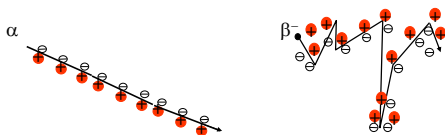
α und β : $E = E_{\text{kin}}$
je höher ist die Teilchenenergie desto größer Reichweite

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

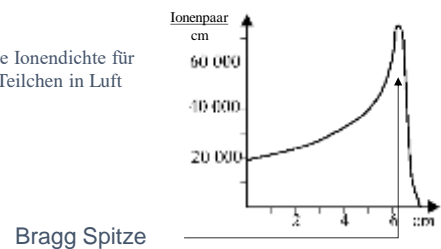


α

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

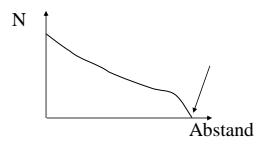
$\text{LET} = (\text{lineare Ionendichte}) \cdot (\text{zur Ionisation notwendige Energie})$

Lineare Ionendichte für ein α -Teilchen in Luft

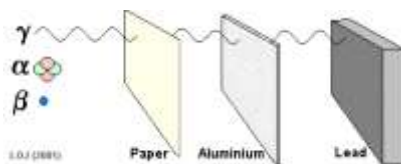
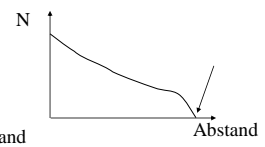
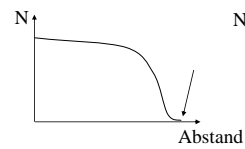


Bragg Spitze

32

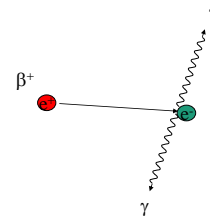
β 

Reichweite

 α -Teilchenin Luft **einige cm**in Gewebe **0,01-0,1 mm** β^- -Teilchenin Luft **m**in Gewebe **cm**

β^+ -Strahlung

Annihilation



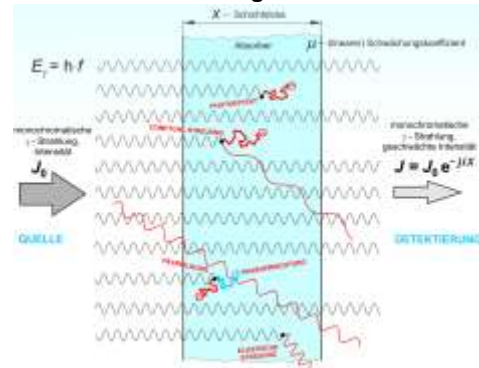
Medizinische Anwendung: Positron Emissionstomographie (PET)

Einsteinsche Formel:

$$E=mc^2$$

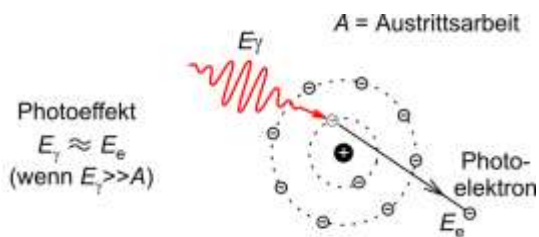
Energie - Masse Äquivalenz !

Wechselwirkung der Röntgen- und Gamma-Strahlung mit der Materie



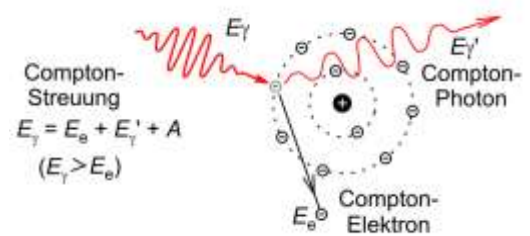
38

Photoelektrischer Effekt



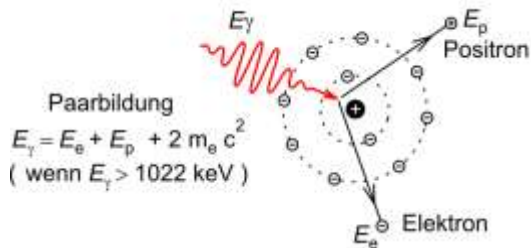
39

Compton Effekt



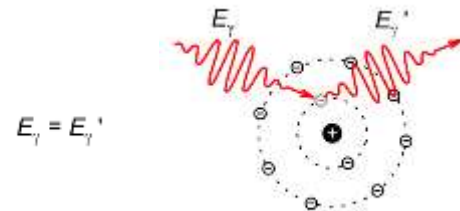
40

Paarbildung



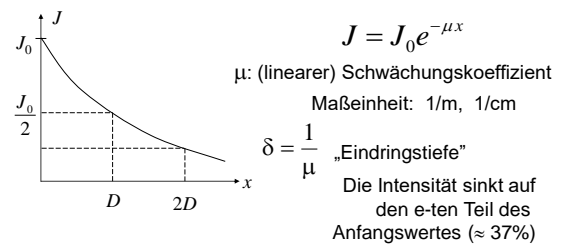
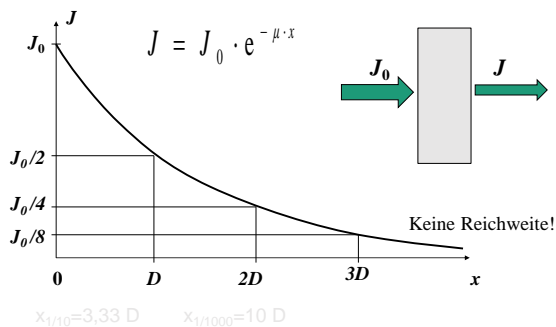
41

Elastische Streuung



42

Schwächung der γ - und Röntgenstrahlung

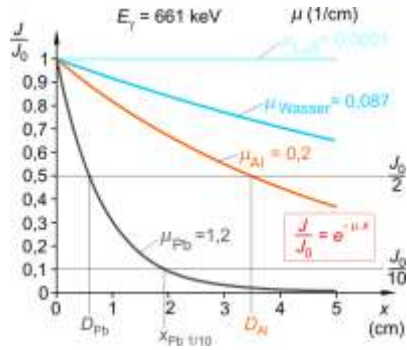


$$\mu(\text{Stoffart, Dichte, Energie der Strahlung}) = \mu(\text{Stoffart}, \rho, E_{\text{Photon}}) \sim \rho$$

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad \text{Massenschwächungskoeffizient}$$

Maßeinheit: cm^2/g

Schwächung der γ - und Röntgenstrahlung



45

Massenschwächungskoeffizient:

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

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

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

