



Biophysik für Pharmazeuten II

2016/17

Vorlesung 1

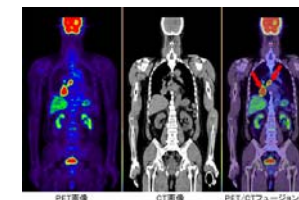
Warum ist es interessant?

Medizinische Anwendungen der radioaktiven Strahlungen:

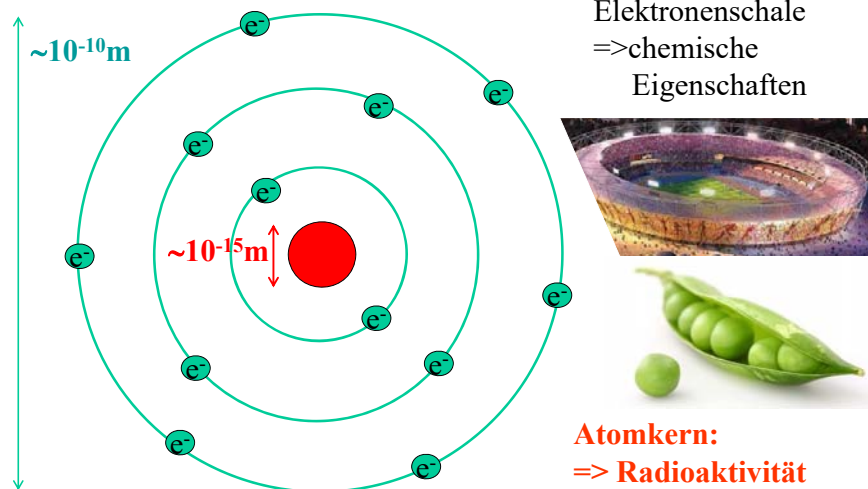
- Diagnostik (Isotopendiagnostik)
- Therapie (Strahlentherapie)

Pharmazeutische Anwendungen:

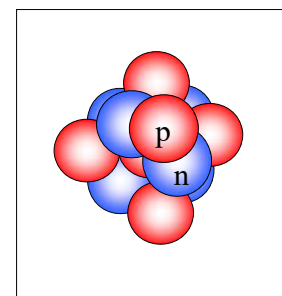
- Pharmakokinetische Untersuchungen



Aufbau des Atoms

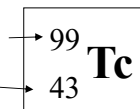


Aufbau des Atomkernes



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

A (Massenzahl) = Protonenzahl + Neutronenzahl
Z (Ordnungszahl) = Protonenzahl

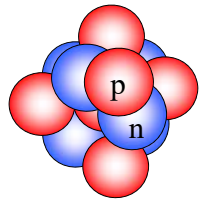


99 Nukleon: 43 Proton és 56 Neutron



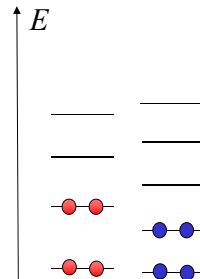
Stabilität des Atomkernes

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



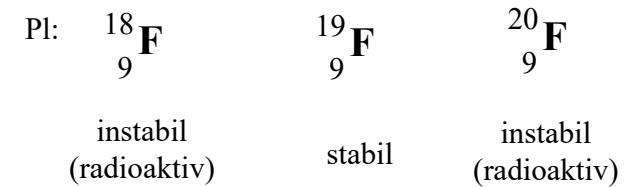
Diskrete Energieniveaus

Typische Übergangsenergie-
 verte: einige MeV



Isotope

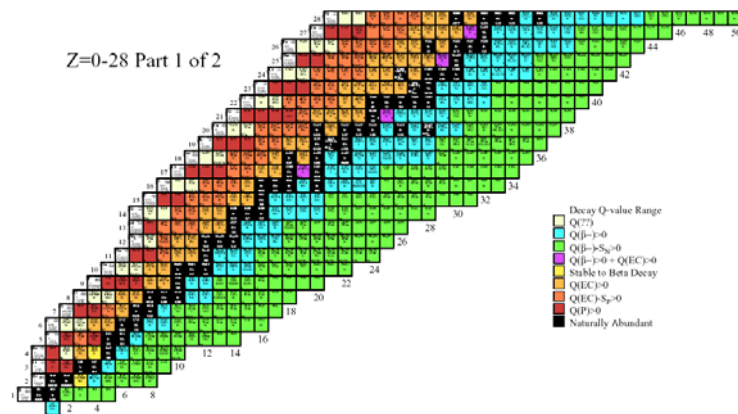
Atomkerne mit gleicher Ordnungszahl aber
 unterschiedlicher Massenzahl
 => gleiche Protonenzahl unterschiedliche Neutronenzahl
 Varianten des gleichen Elementes => Chemische
 Eigenschaften sind identisch!



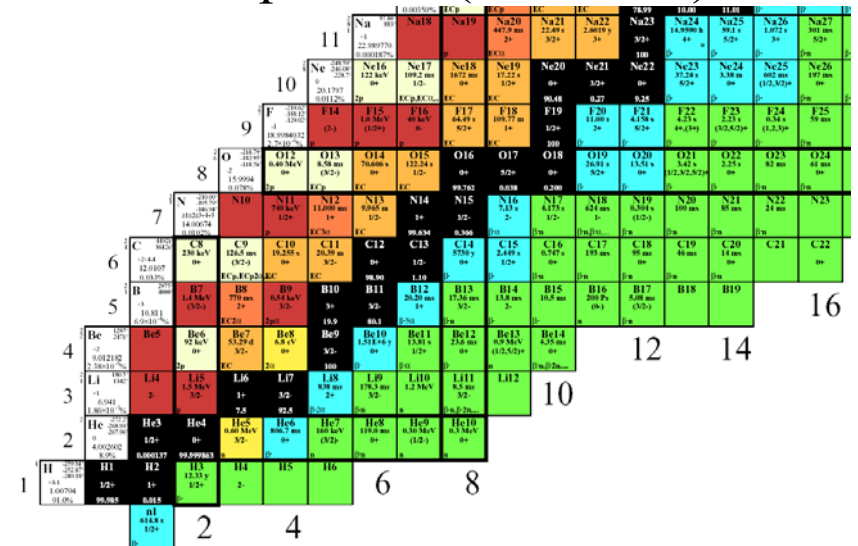
Isotop <-> radioaktives Isotop

Isotoptabelle

Table of Isotopes (1998)



Isotoptabelle (Abschnitt)



Zerfälle und radioaktive Strahlungen

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

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

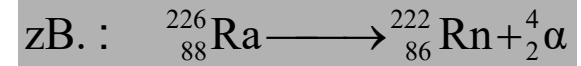
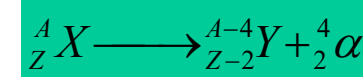
K-Einfang charakteristische
Röntgenstrahlung

Isomere Kernumwandlung γ -Strahlung

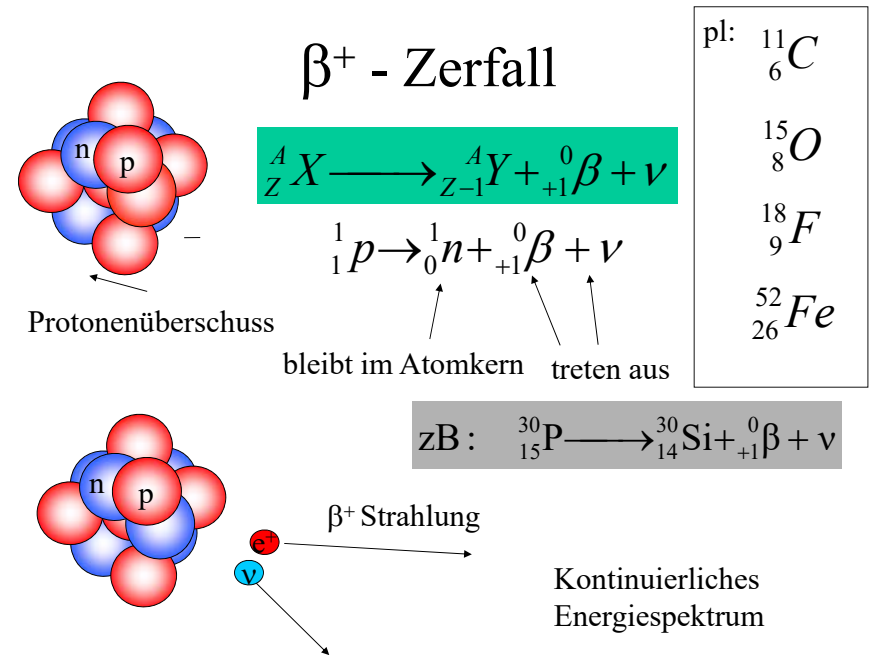
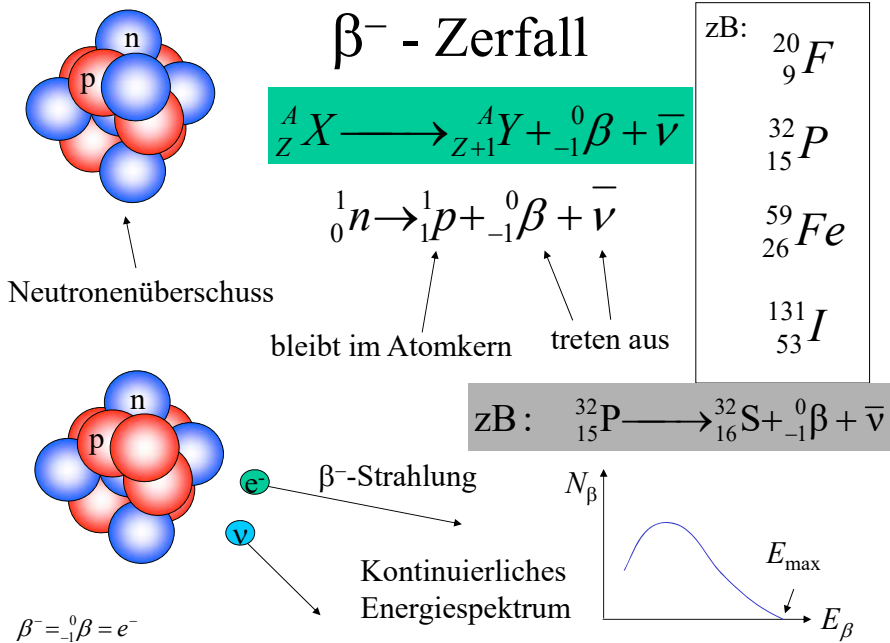
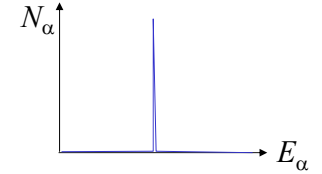
α - Zerfall

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

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



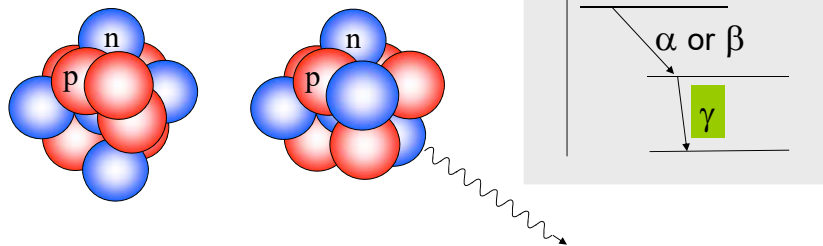
Ennergiespektrum: Linienspektrum
 $E_{\alpha} \sim \text{MeV}$



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.



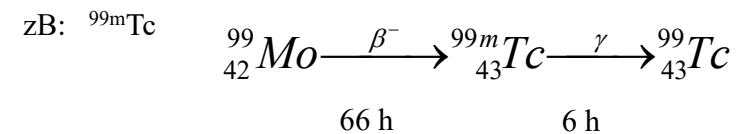
Protonenzahl u. Neutronenzahl sind unverändert!

Isomere Kernumwandlung

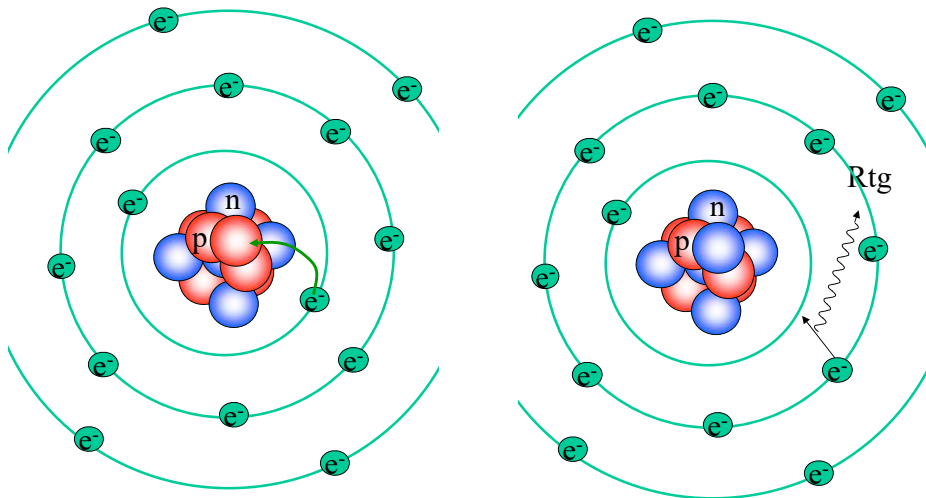
Wenn die Umordnen nicht einfach vor sich gehen kann, entsteht γ -Strahlung nicht sofort, sondern erst nach einer gut messbaren Zeit.

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

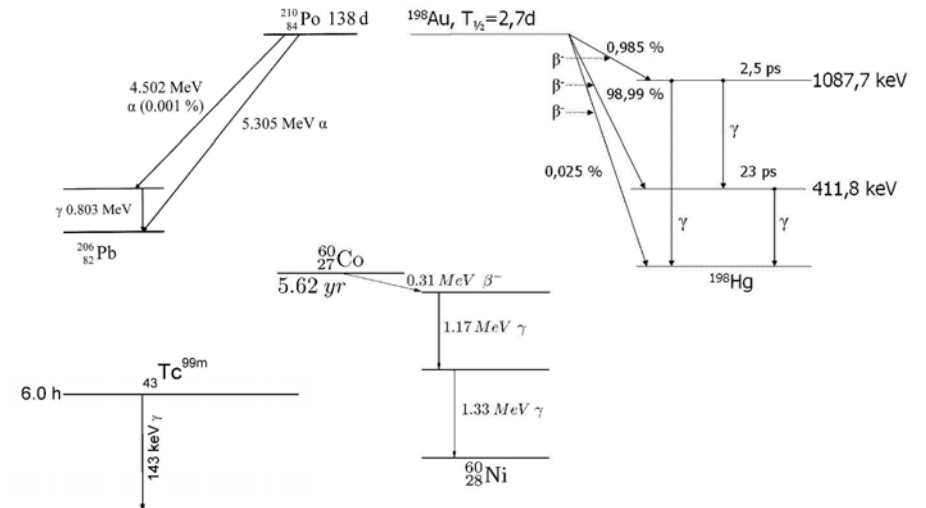
Man kann ein reines γ -strahlen Isotop herstellen!
=> **Isotopendiagnostik**



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

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

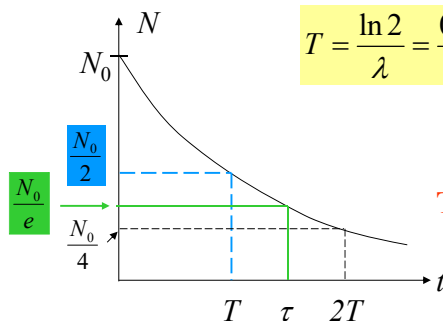
Lösung:

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

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 !

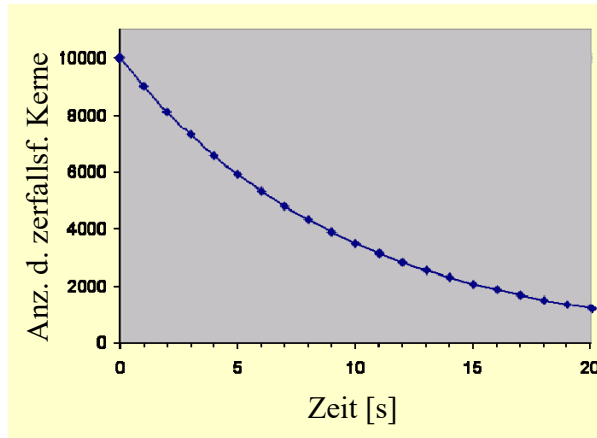
Beispiel

- Sei $N_0 = 10000$ $\lambda = 0,1 \text{ 1/s}$
- nach 1 sec: 9000 (10000 $\times 0,1 = 1000$ sind zerfallen)
- nach 2 sec: 8100 (9000 $\times 0,1 = 900$ sind zerfallen)
- nach 3 sec: 7290 (8100 $\times 0,1 = 810$ sind zerfallen)
- nach 4 sec: 6561 (7290 $\times 0,1 = 729$ sind zerfallen)
-



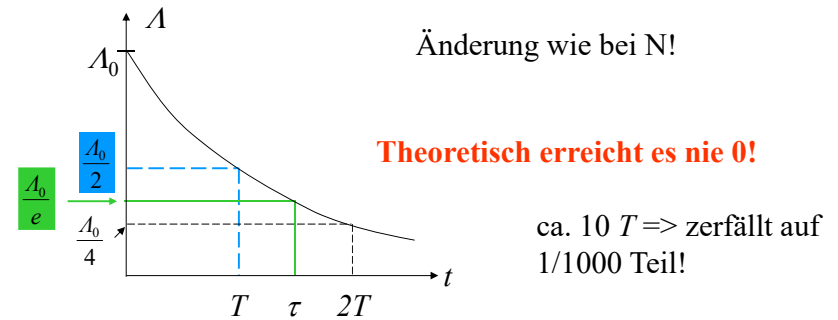
Beispiel

- 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

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



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
 β^+
 β^-

haben elektrische Ladung

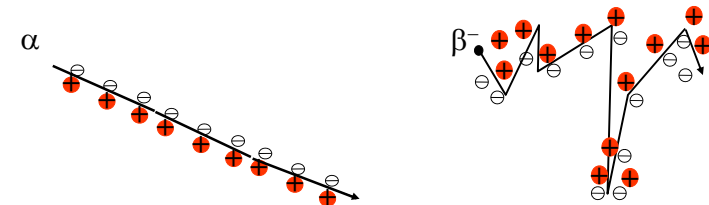
γ
 Rtg

ungeladene Teilchen (elektromagnetische Strahlung)

Schwächung der geladenen Teilchen

Ionisieren: ihre Energie wird auf einem bestimmten Weg verbraucht

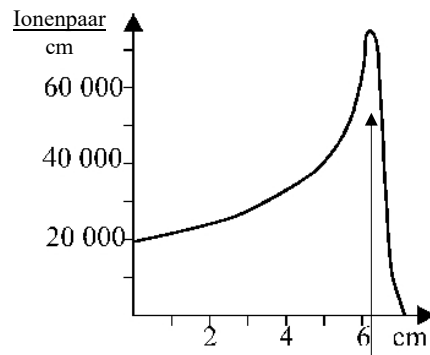
Reichweite



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

27

Reichweite

α -Teilchen

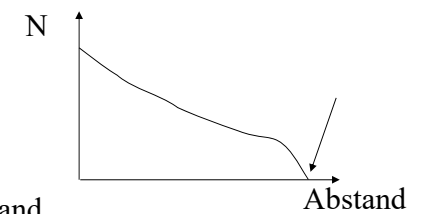
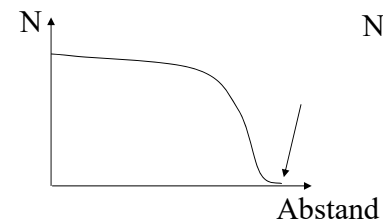
β^- -Teilchen

in Luft **einige cm**

in Luft **m**

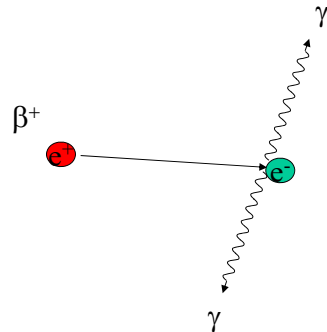
in Gewebe **0,01-0,1 mm**

in Gewebe **cm**



β^+ -Strahlung

Annihilation



Medizinische Anwendung: Positron Emissionstomographie (PET)

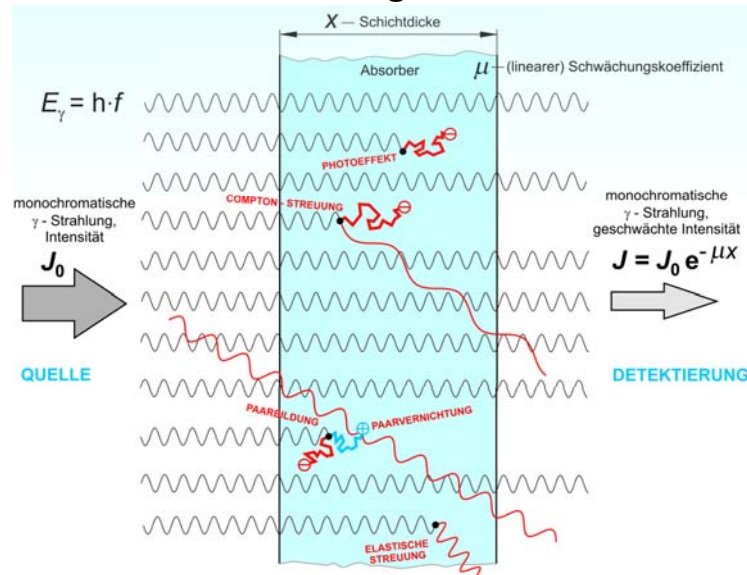
Einsteinsche Formel:

$$E=mc^2$$

Energie - Masse Equivalenz !

~~Umwandlung~~

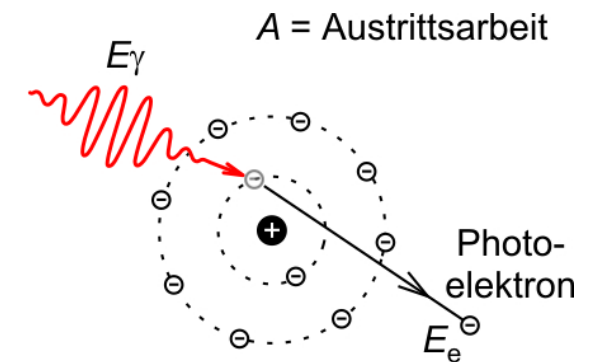
Wechselwirkung der Röntgen- und Gamma-Strahlung mit der Materie



31

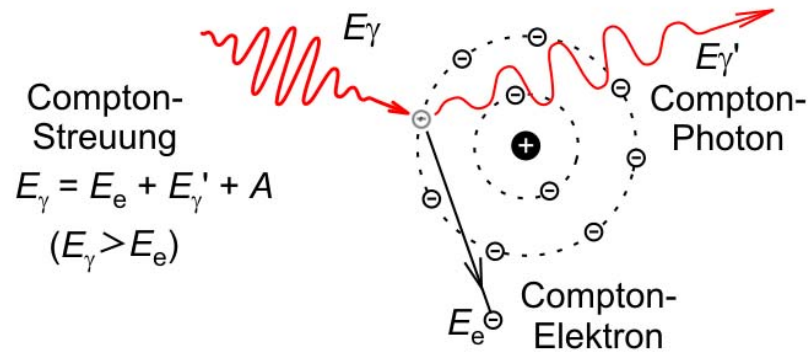
Photoelektrischer Effekt

Photoeffekt
 $E_\gamma \approx E_e$
 (wenn $E_\gamma \gg A$)



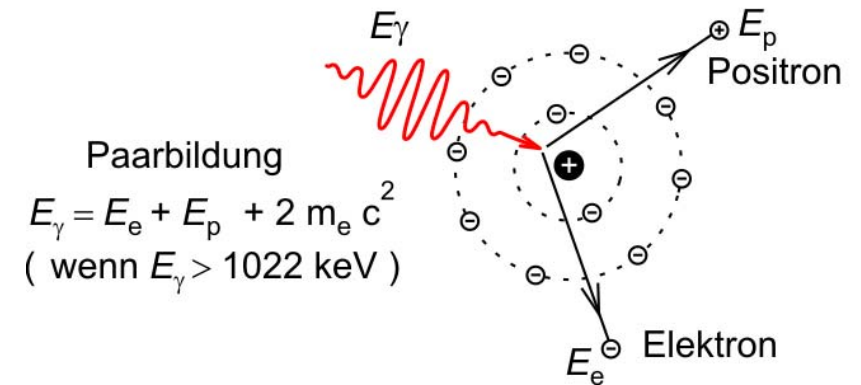
32

Compton Effekt



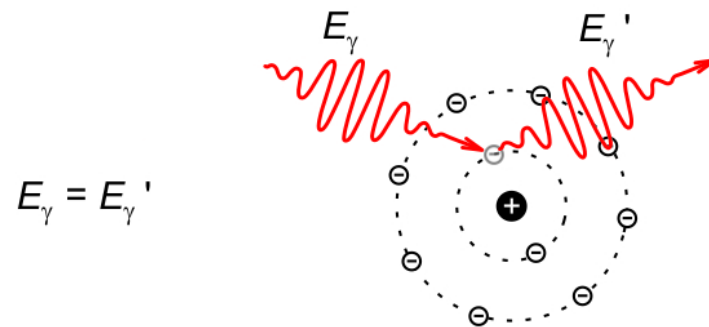
33

Paarbildung



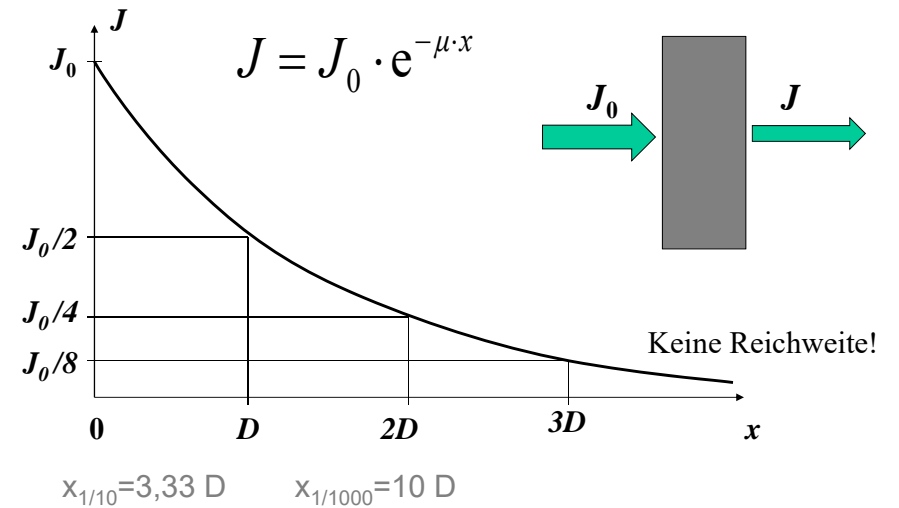
34

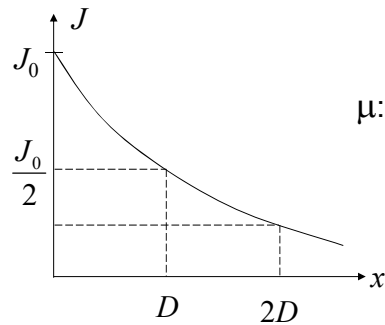
Elastische Streuung



35

Schwächung der γ - und Röntgenstrahlung





$$J = J_0 e^{-\mu x}$$

μ : (linearer) Schwächungskoeffizient

Maßeinheit: 1/m, 1/cm

$$\delta = \frac{1}{\mu} \text{ „Eindringtiefe“}$$

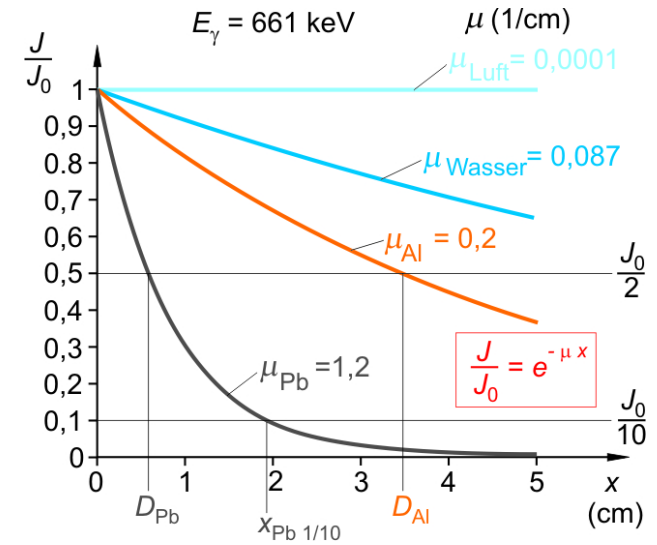
Die Intensität sinkt auf den e-ten Teil des Anfangswertes ($\approx 37\%$)

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

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

Maßeinheit: cm^2/g

Schwächung der γ - und Röntgenstrahlung



38

Massenschwächungskoeffizient:

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

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

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

