



Isotope, Radioaktive Zerfälle und Strahlungen II.

L. Smeller

Biophysik für Pharmazeuten I 2019/20

Wichtigste Begriffe für
Charakterisierung der Isotopen

- Aktivität
- Halbwertszeit*
- Typ des Zerfalles (emittierte Teilchen)*
- Teilchenenergie*

*diese sind von der Isotopenart abhängig

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, EBq

Zerfallsgesetz

$$\Delta N \sim N \quad \begin{array}{l} N \text{ Anzahl der zerfallsfähigen Kerne} \\ \lambda: \text{ Zerfallskonstante} \\ \text{Zerfallswahrscheinlichkeit [1/s]} \\ 1/\lambda = \tau \text{ Zeit! durchschnittlicher Lebensdauer} \end{array}$$

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

Differentialgleichung

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

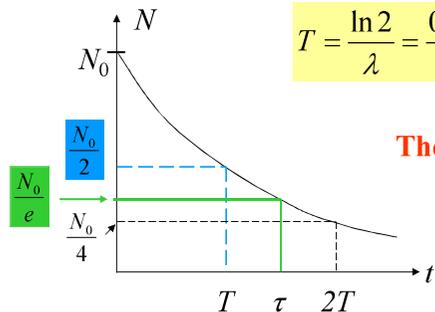
N_0 Anzahl der zerfallsfähigen Kerne am Anfang ($t=0$)

Zerfallsgesetz

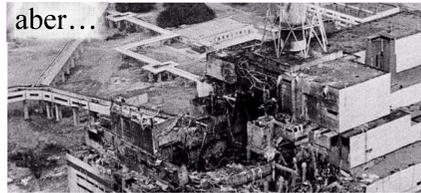
$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 2^{-\frac{t}{T}}$$

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

λ Zerfallskonstante
 T Halbwertszeit



Theoretisch erreicht es Null nie!



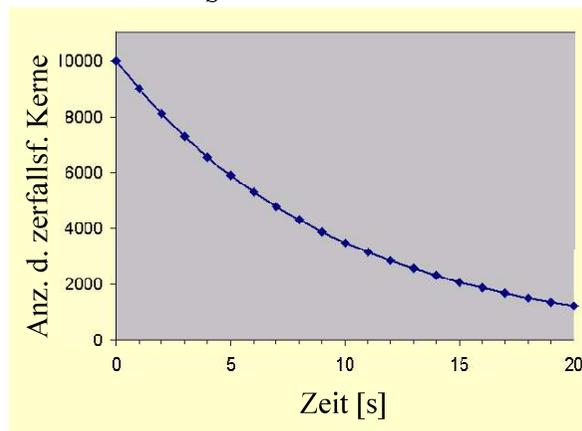
Beispiel

- Sei $N_0=10000$ $\lambda=0,1 \text{ 1/s}$
- 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

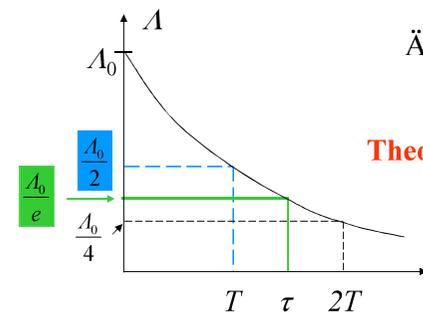
- Sei $N_0=10000$ $\lambda=0,1 \text{ 1/s}$
- 1 sec 9000
- 2 sec 8100
- 3 sec 7290
- 4 sec 6561
-



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!

Absorption von radioaktiven Strahlungen

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

Teilchenenergie

Gemessen in Elektronenvolt (eV).

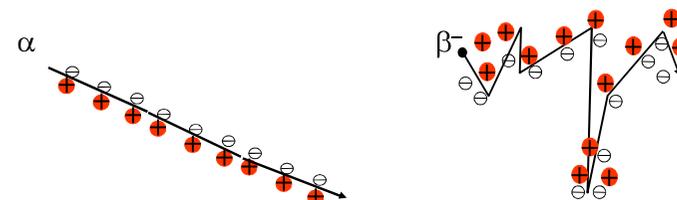
$$\text{eV} = \text{Ladung eines Elektrons} \times 1 \text{ Volt} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

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

Schwächung der geladenen Teilchen

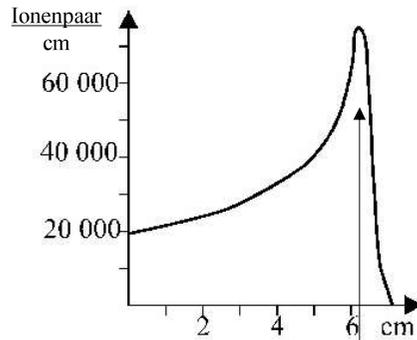
Ionisieren: ihre Energie wird auf einem bestimmten Weg verbraucht
Reichweite



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

15

Reichweite

α -Teichen

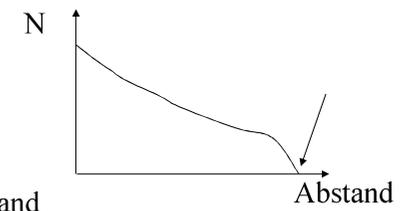
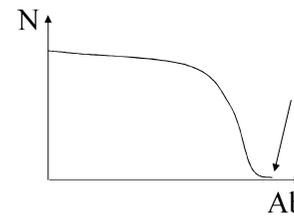
β^- -Teilchen

in Luft **einige cm**

in Luft **m**

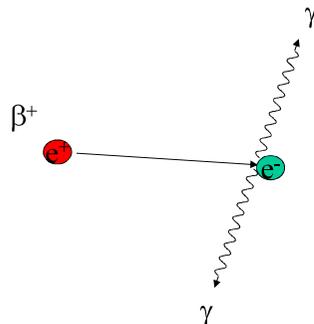
in Gewebe **0,01-0,1 mm**

in Gewebe **cm**



β^+ -Strahlung

Annihilation



Medizinische Anwendung: Positron Emissionstomographie (PET)

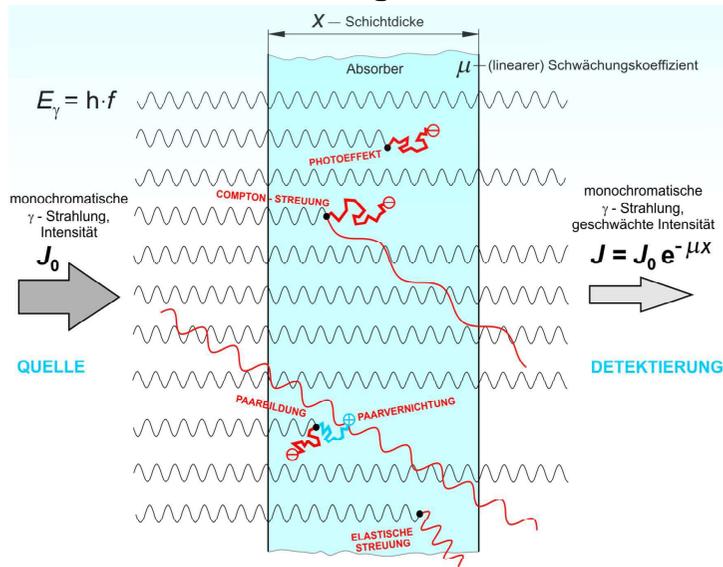
Einsteinsche Formel:

$$E=mc^2$$

Energie - Masse Equivalenz !

~~Umwandlung~~

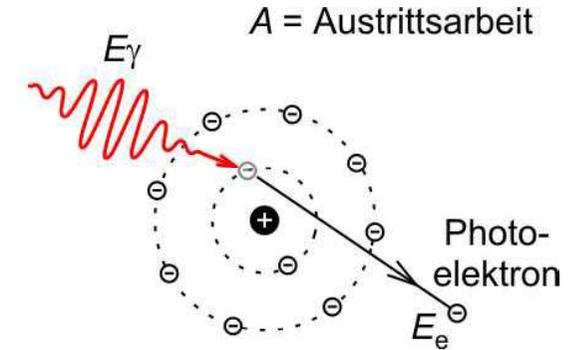
Wechselwirkung der Röntgen- und Gamma-Strahlung mit der Materie



19

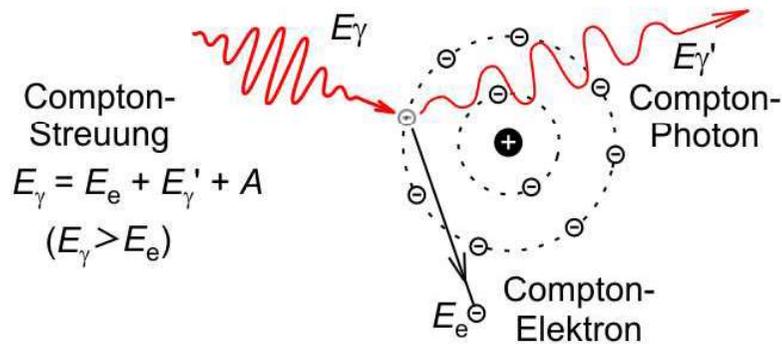
Photoelektrischer Effekt

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



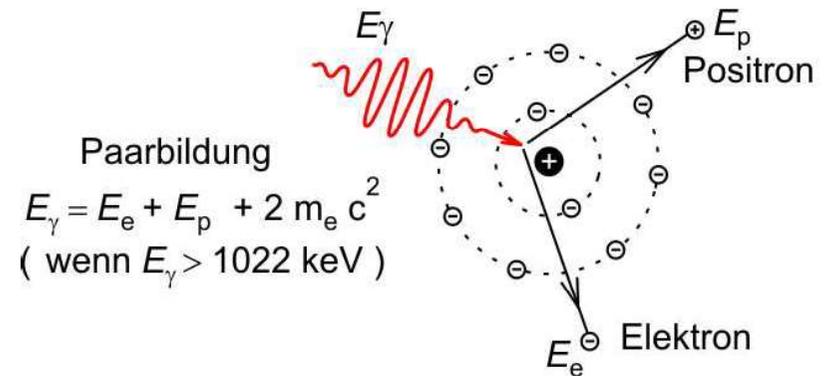
20

Compton Effekt



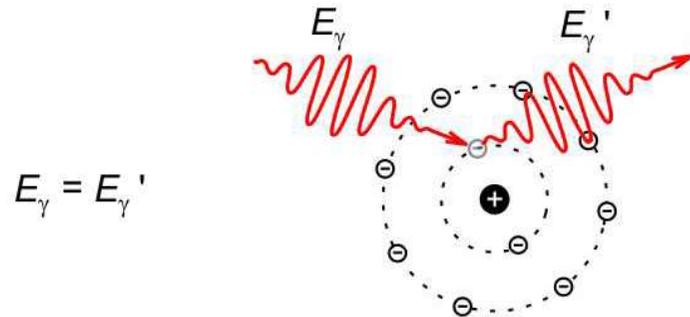
21

Paarbildung



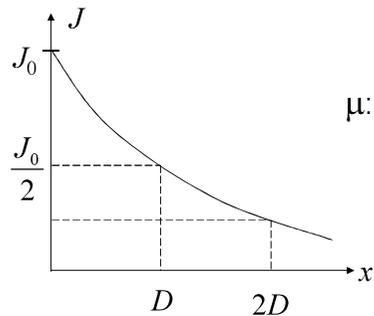
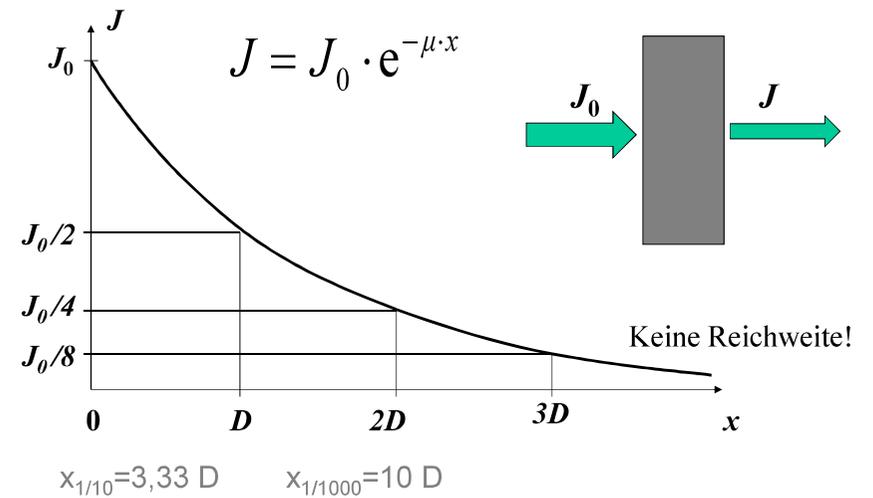
22

Elastische Streuung



23

Schwächung der γ - und Röntgenstrahlung



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

μ : (linearer) Schwächungskoeffizient
Maßeinheit: 1/m, 1/cm

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

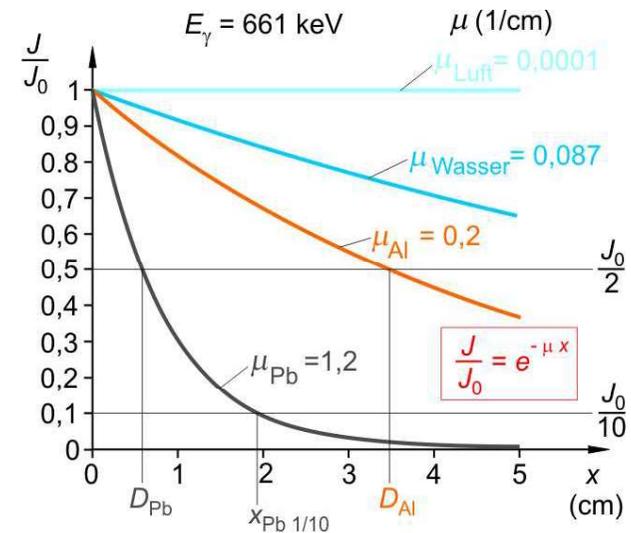
Die Intensität sinkt auf den e-ten Teil des Anfangswertes ($\approx 37\%$)

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

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

Maßeinheit: cm^2/g

Schwächung der γ - und Röntgenstrahlung



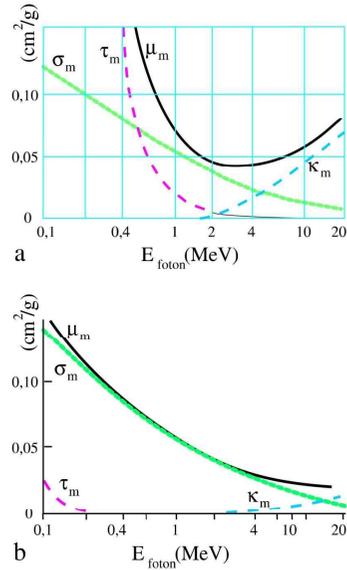
26

Massenschwächungs-
koeffizient:

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

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

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

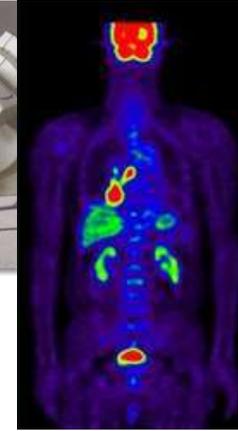


Anwendungen

(Strahlungen und Strahlungsquellen)

Isotopendiagnostik

Strahlentherapie



Brandmeldeanlage



Anwendungen

(Schwächung der Strahlungen)



Absorption der Rtg Strahlung

Lagerung der Isotopen (Blei)



Wolframhülle für Isotopenspritze



Anwendungen

(Schwächung der Strahlungen)



Bleiglas

Bleimantel



Schutz für die Schilddrüse

