



Isotope, Radioaktive Zerfälle und Strahlungen II.

L. Smeller

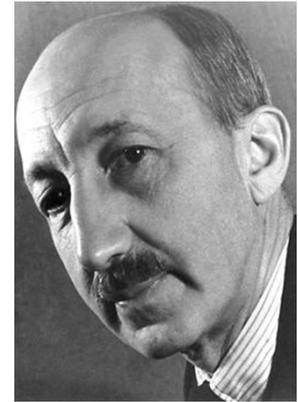
Zur Erinnerung

Isotope

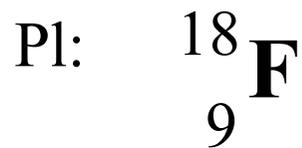
Atomkerne mit gleicher Ordnungszahl aber unterschiedlicher Massenzahl

=> gleiche Protonenzahl unterschiedliche Neutronenzahl

Varianten des gleichen Elementes => Chemische Eigenschaften sind identisch!



Hevesy György



instabil
(radioaktiv)

stabil

instabil
(radioaktiv)

Isotop <-> radioaktives Isotop

Zur Erinnerung

Zerfälle und radioaktive Strahlungen

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

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

K-Einfang charakteristische
Röntgenstrahlung

Isomere Kernumwandlung γ -Strahlung

Zur Erinnerung

Wichtigste Begriffe für Charakterisierung der Isotopen

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

*diese sind von der Isotopenart abhängig

Zur Erinnerung

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:

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

Exponentialfunktion!

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

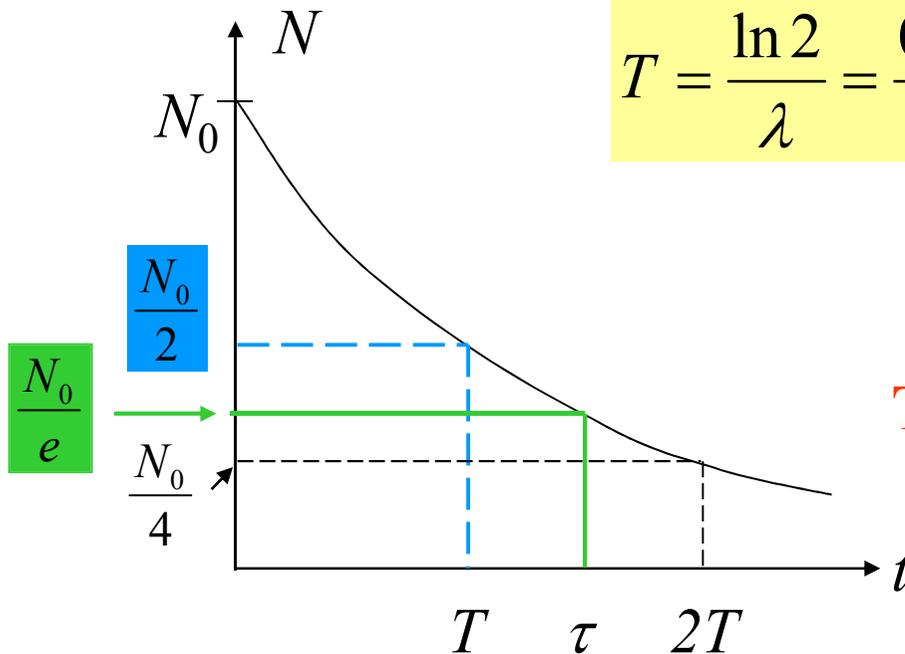
Zur Erinnerung

Zerfallsgesetz

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

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

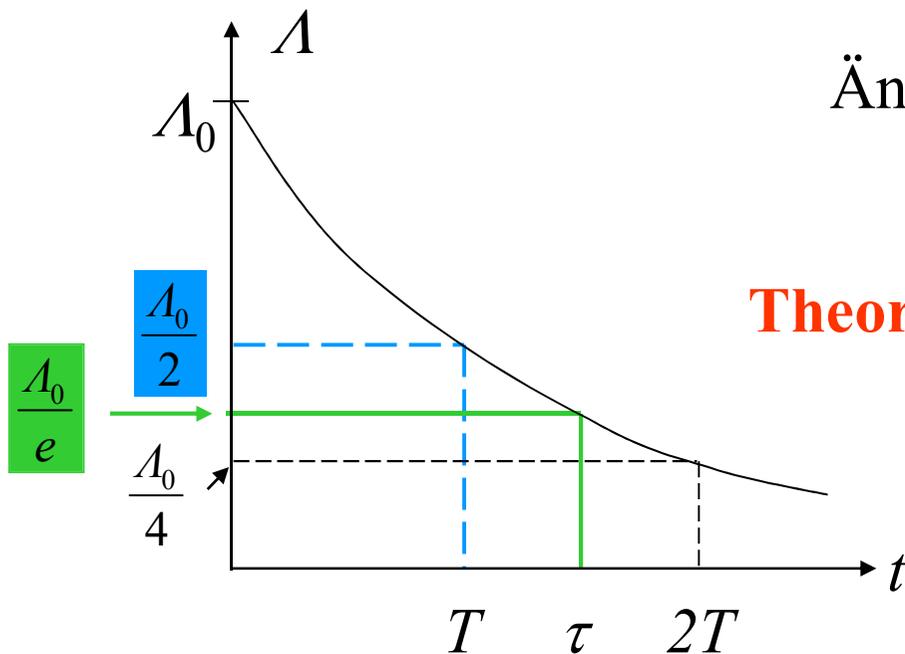
λ Zerfallskonstante
 T Halbwertszeit



Theoretisch erreicht es nie 0 !

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 $1,4 \cdot 10^{10}$ J

^{238}U $4,5 \cdot 10^9$ J

^{40}K $1,3 \cdot 10^9$ 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.

$$\alpha \text{ und } \beta: E = E_{\text{kin}}$$

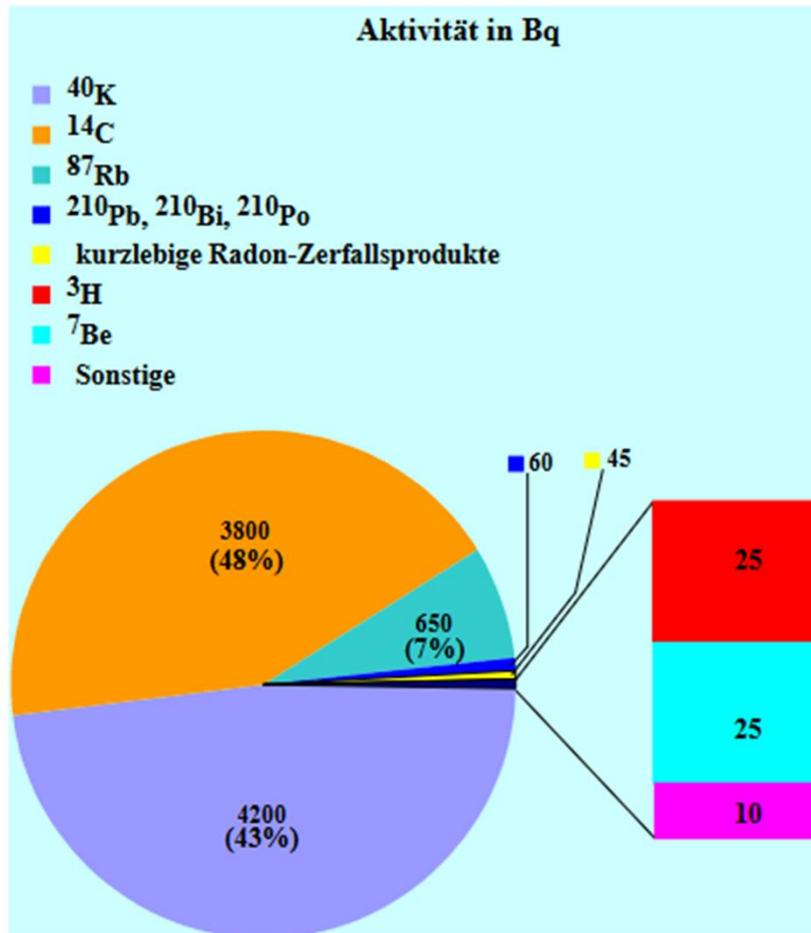
je höher ist die Teilchenenergie desto größer Reichweite

Ergänzungen zur Aktivität

1. spezifische Aktivität:
auf die Masseneinheit bezogene Aktivität
Einheit: Bq/g
2. Aktivitätskonzentration:
auf die Volumeneinheit bezogene Aktivität
Einheit: Bq/m

Freigrenze: z.B: ^{137}Cs :10 kBq
 ^{14}C : 10 MBq
 ^{40}K : 1MBq

Radioaktive Isotope im menschlichen Körper



Gesamtaktivität:

8-9 kBq
(70 kg)

Wie können Isotope künstlich hergestellt werden?

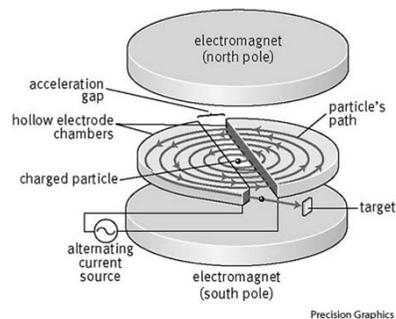
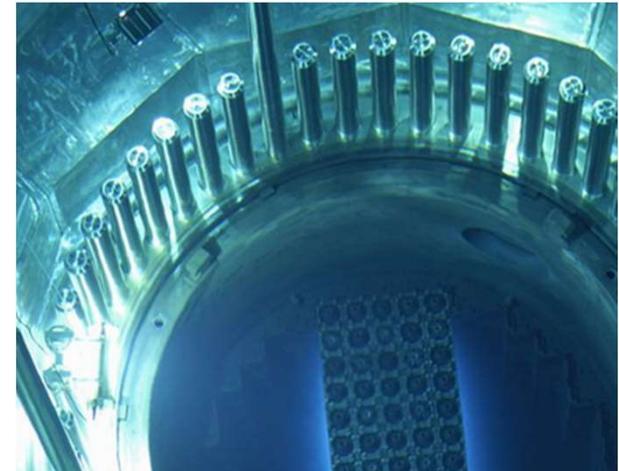
Isotope mit...

β^- Zerfall: in einem Atomreaktor.
(mit Neutronenstrahlung)

β^+ Zerfall: Teilchenbeschleuniger
(z.B. Zyklotron)

Proton oder α Teilchen wird auf einiges mal 10 MeV
Energie beschleunigt und auf einen Atom geschossen.

rein γ -Strahler: Isotopengenerator (zB: Tc-generator)

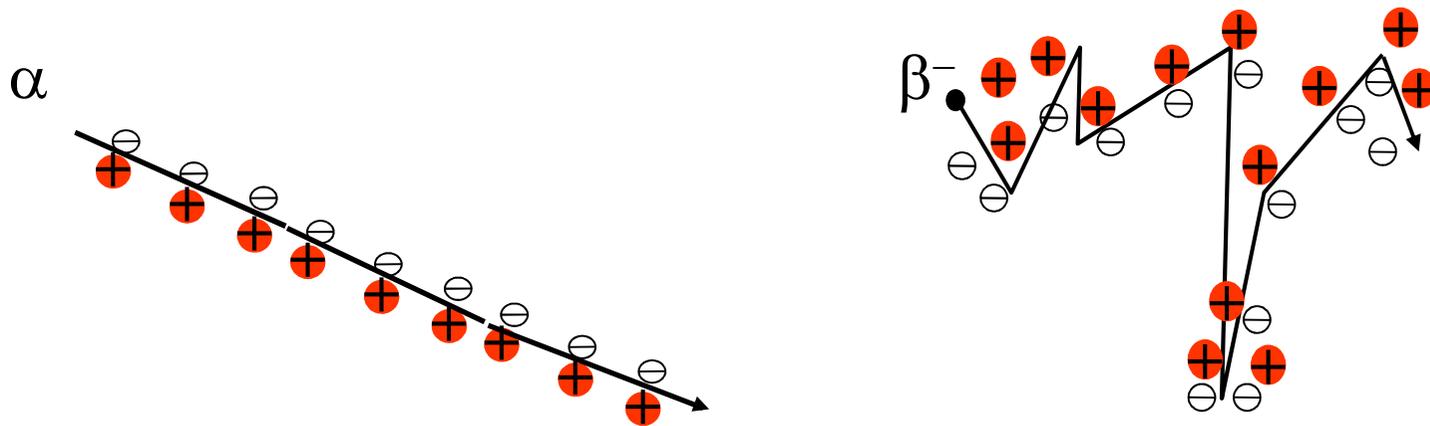


Absorption von ionisierenden Strahlungen

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

Schwächung der geladenen Teilchen

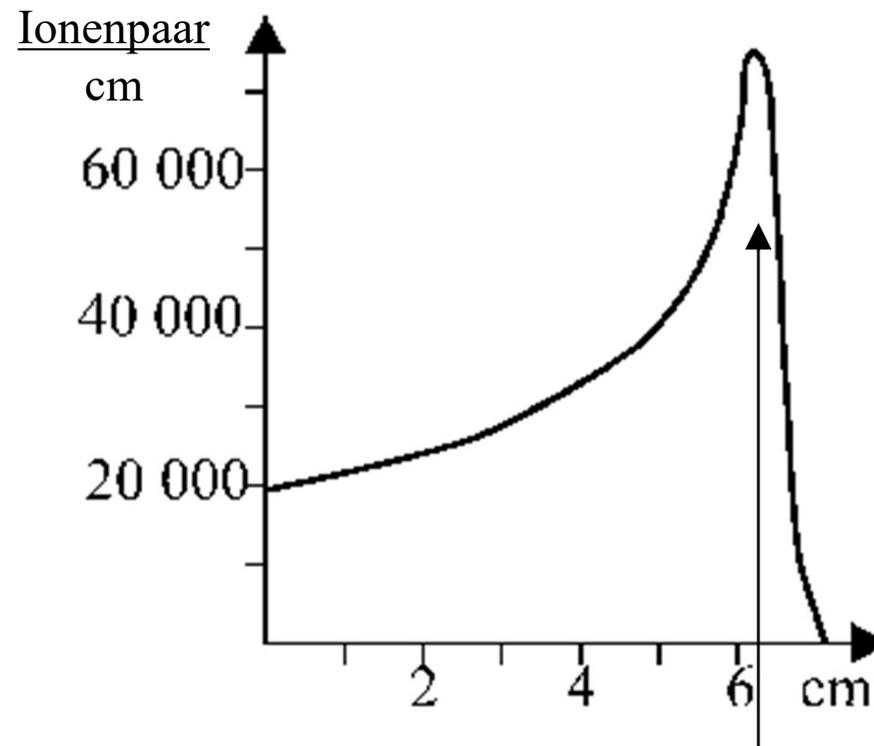
Ionisieren: ihre Energie wird auf einem bestimmten Weg verbraucht
Reichweite



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

Reichweite

α -Teilchen

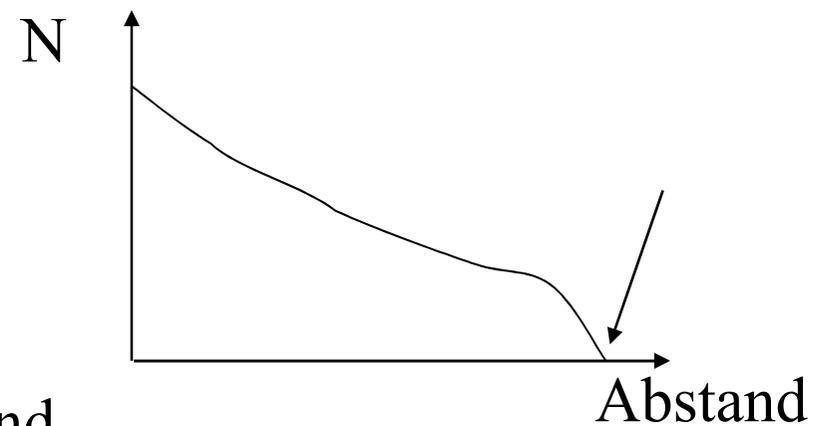
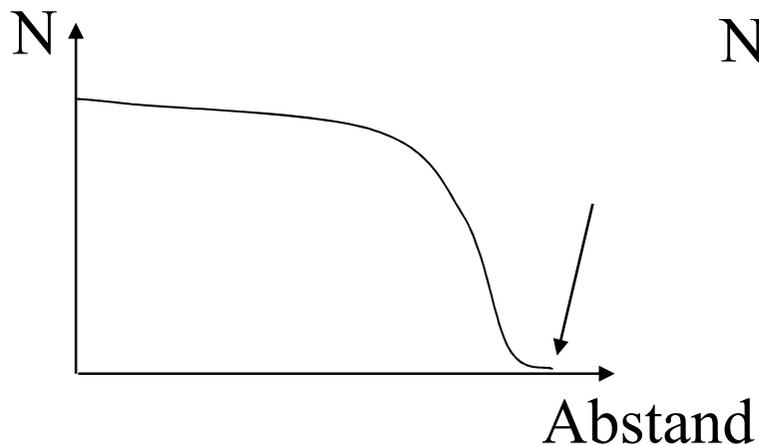
β^- -Teilchen

in Luft **einige cm**

in Luft **m**

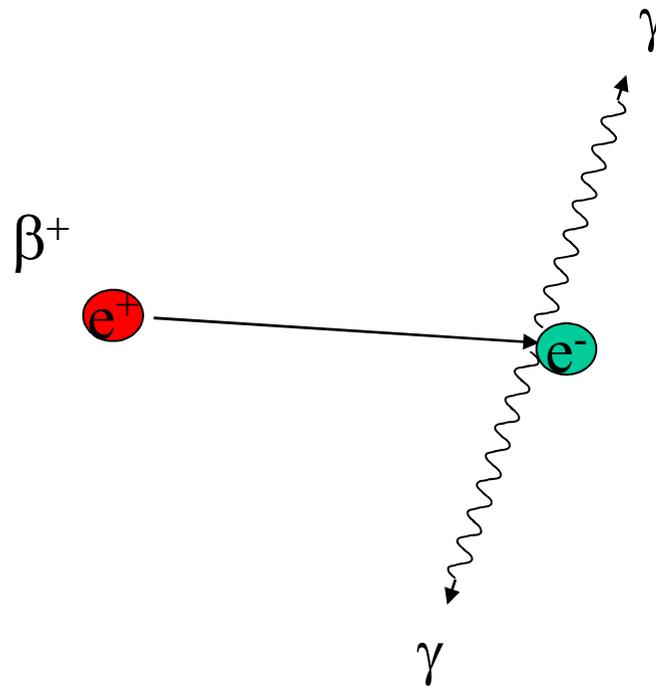
in Gewebe **0,01-0,1 mm**

in Gewebe **cm**



β^+ -Strahlung

Annihilation



Medizinische Anwendung: Positron Emissionstomographie (PET)

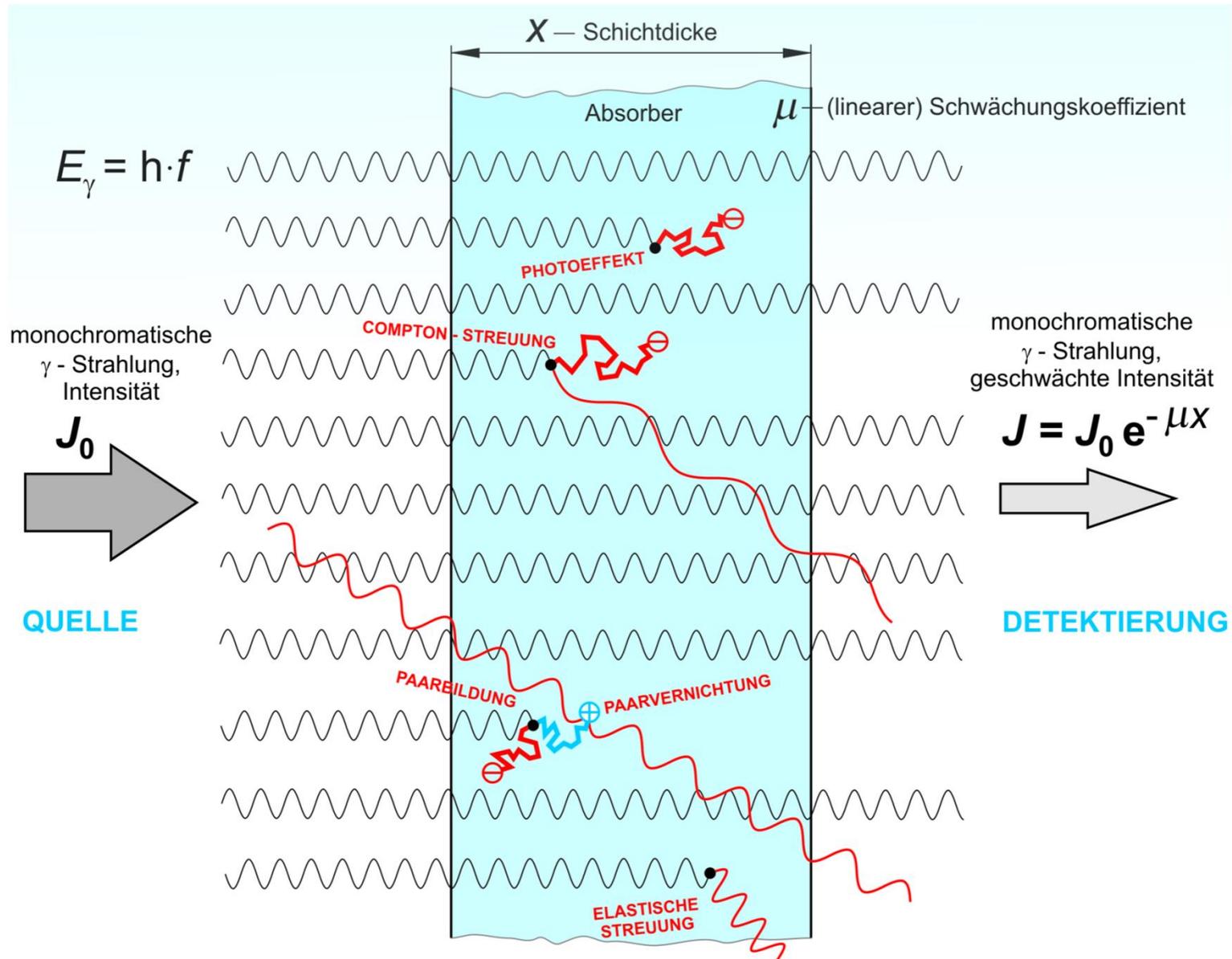
Einsteinsche Formel:

$$E=mc^2$$

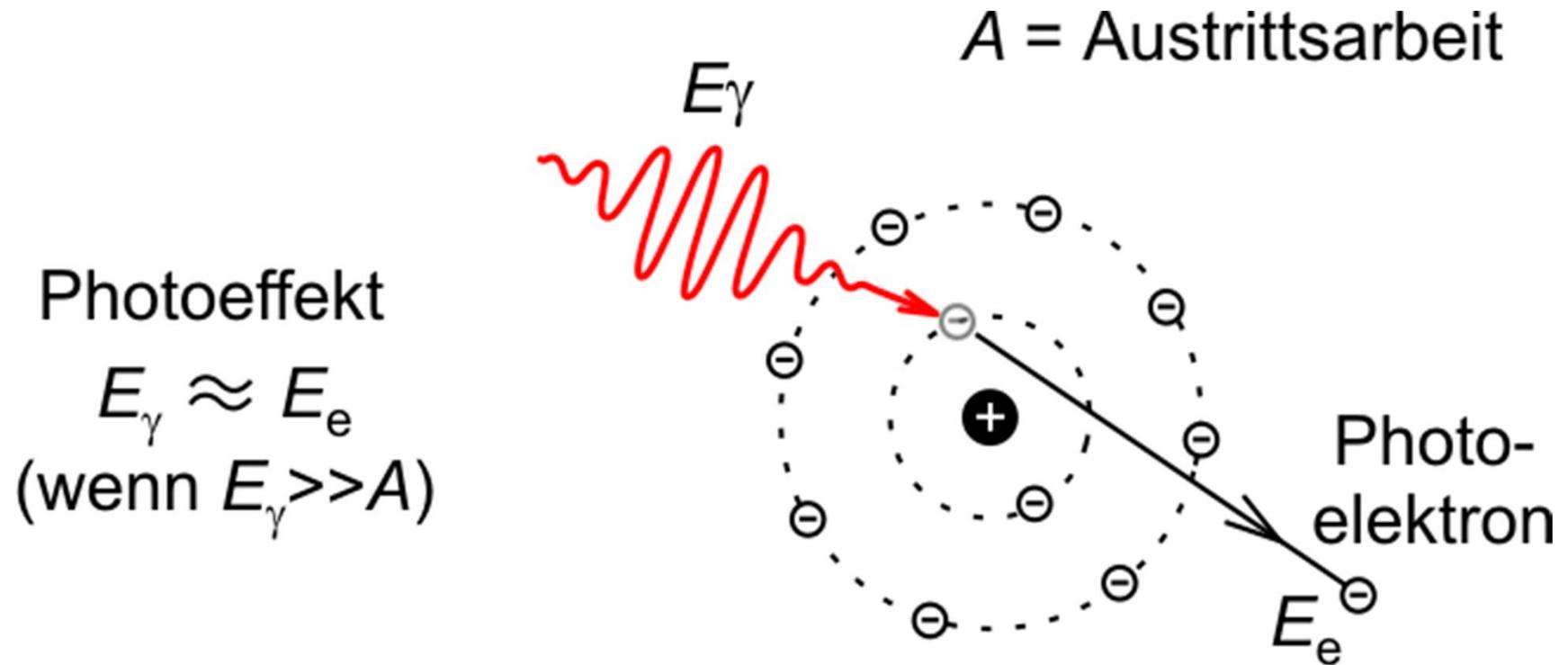
Energie - Masse Equivalenz !

~~Umwandlung~~

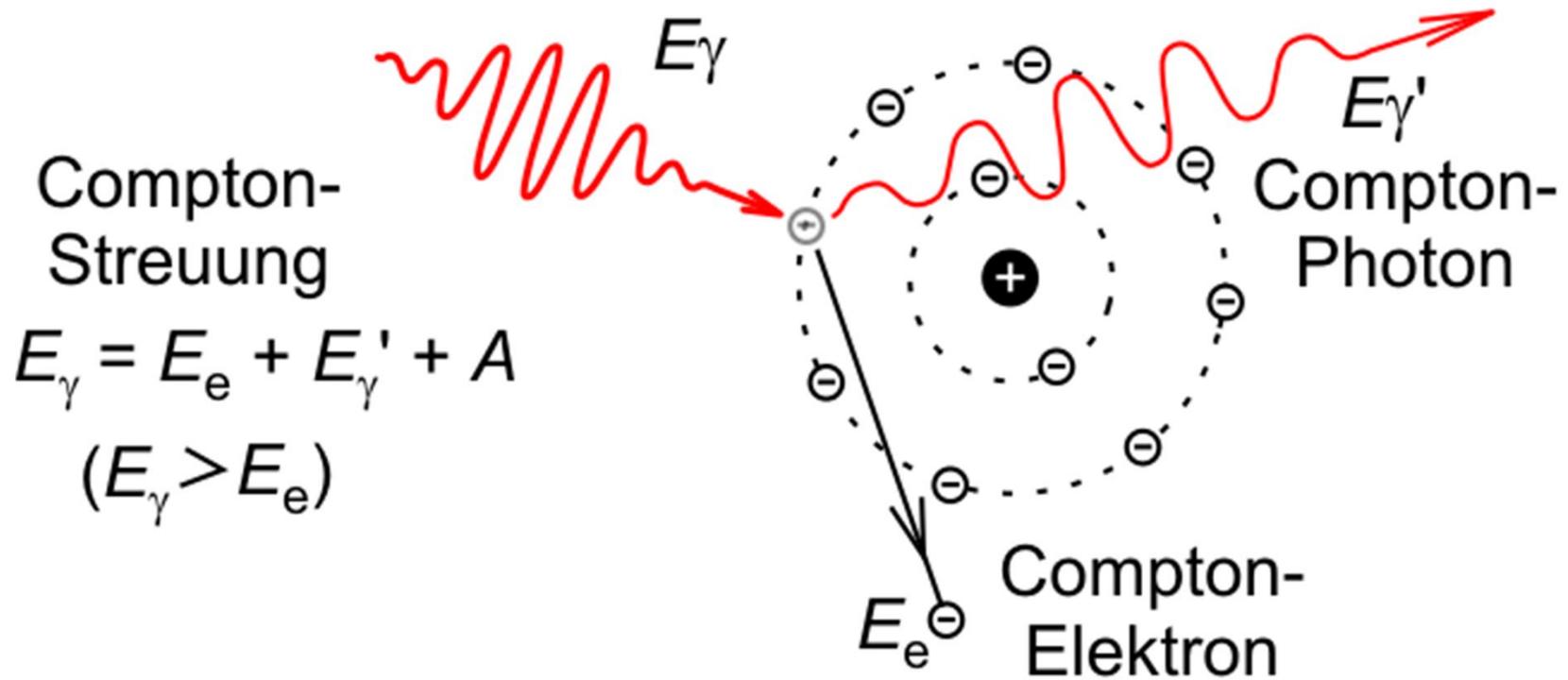
Wechselwirkung der Röntgen- und Gamma-Strahlung mit der Materie



Photoelektrischer Effekt



Compton Effekt

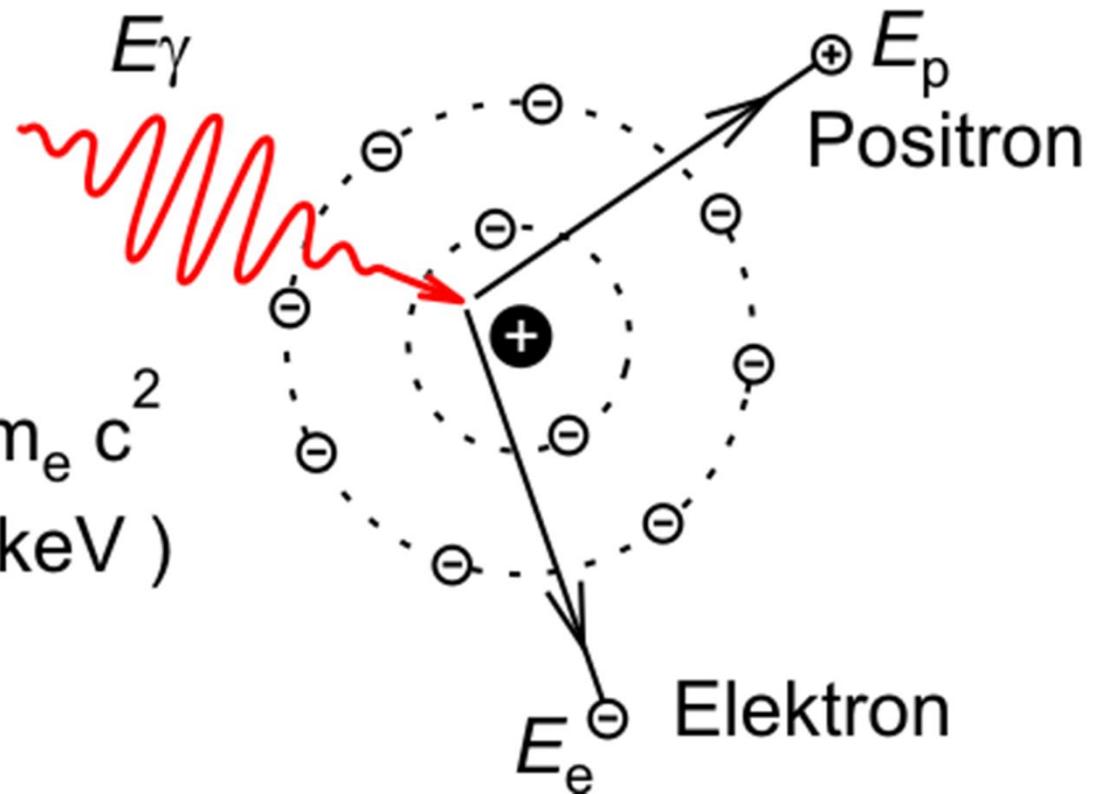


Paarbildung

Paarbildung

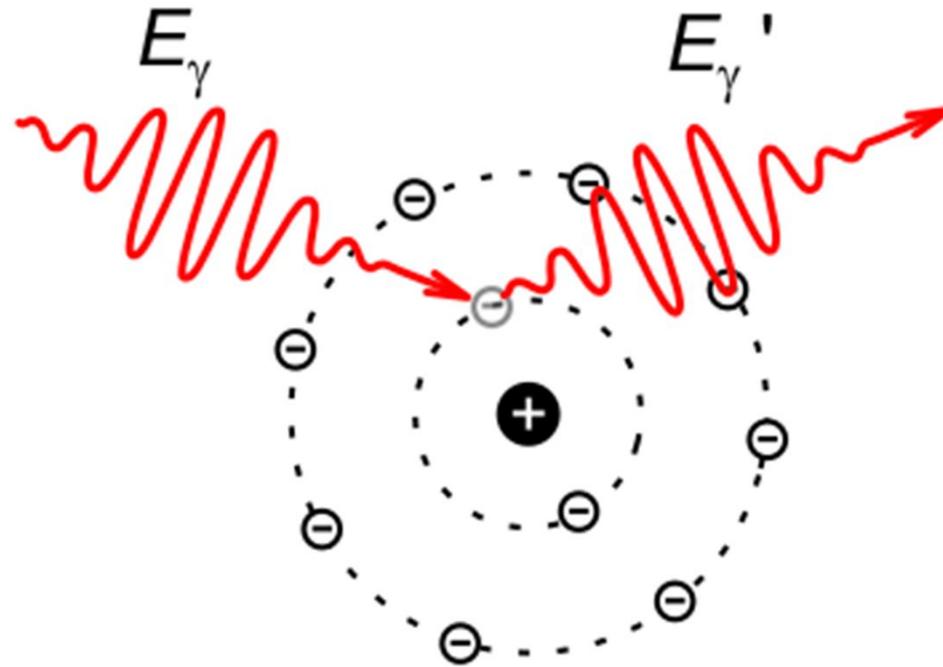
$$E_{\gamma} = E_e + E_p + 2 m_e c^2$$

(wenn $E_{\gamma} > 1022 \text{ keV}$)

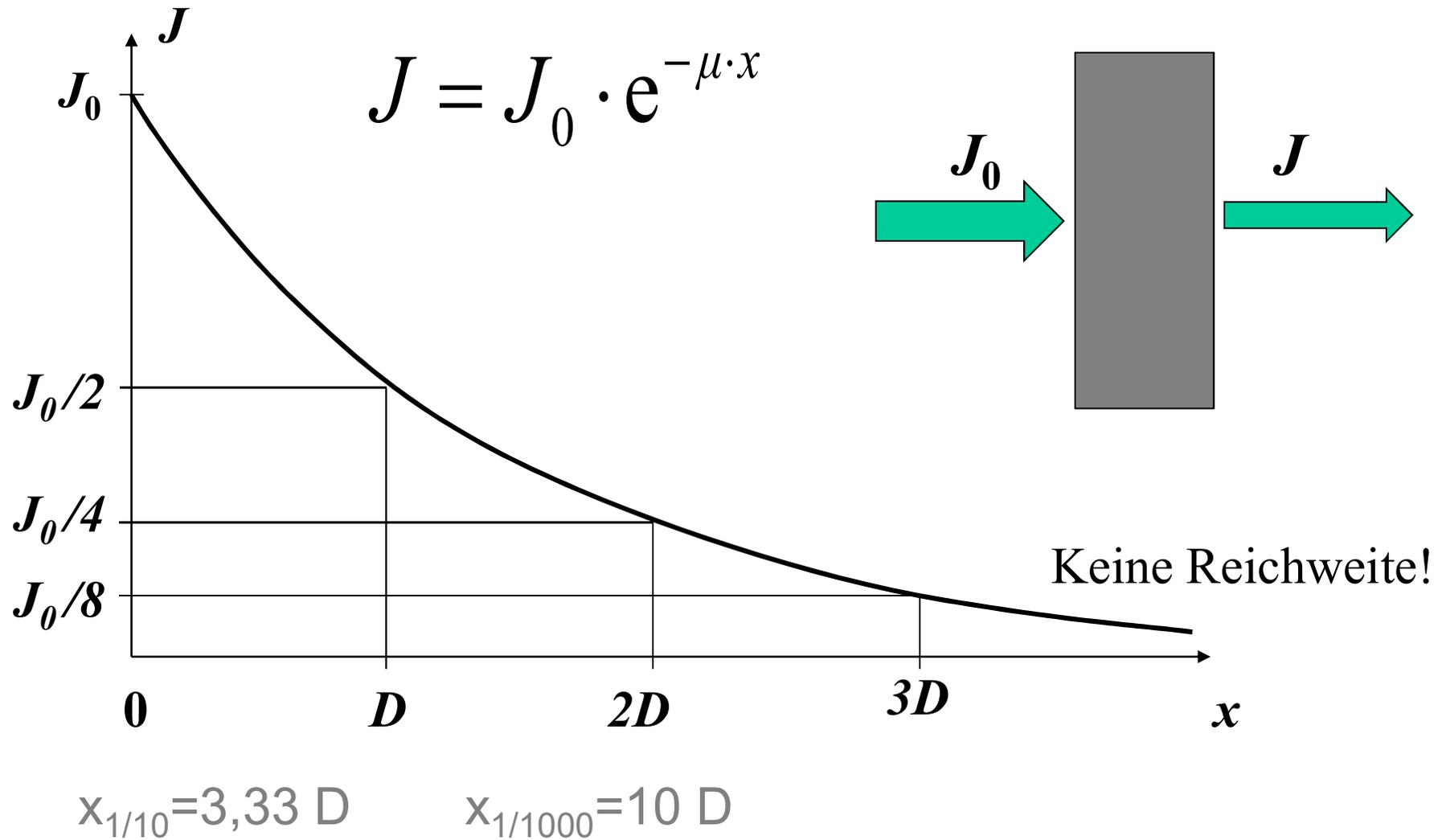


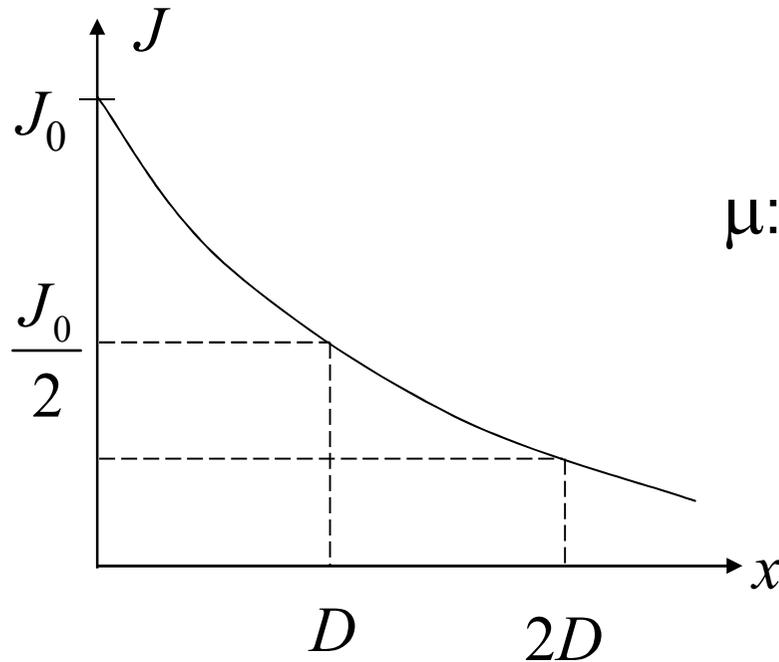
Elastische Streuung

$$E_{\gamma} = E_{\gamma}'$$



Schwächung der γ - und Röntgenstrahlung





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

μ : (linearer) Schwächungskoeffizient

Maßeinheit: 1/m, 1/cm

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

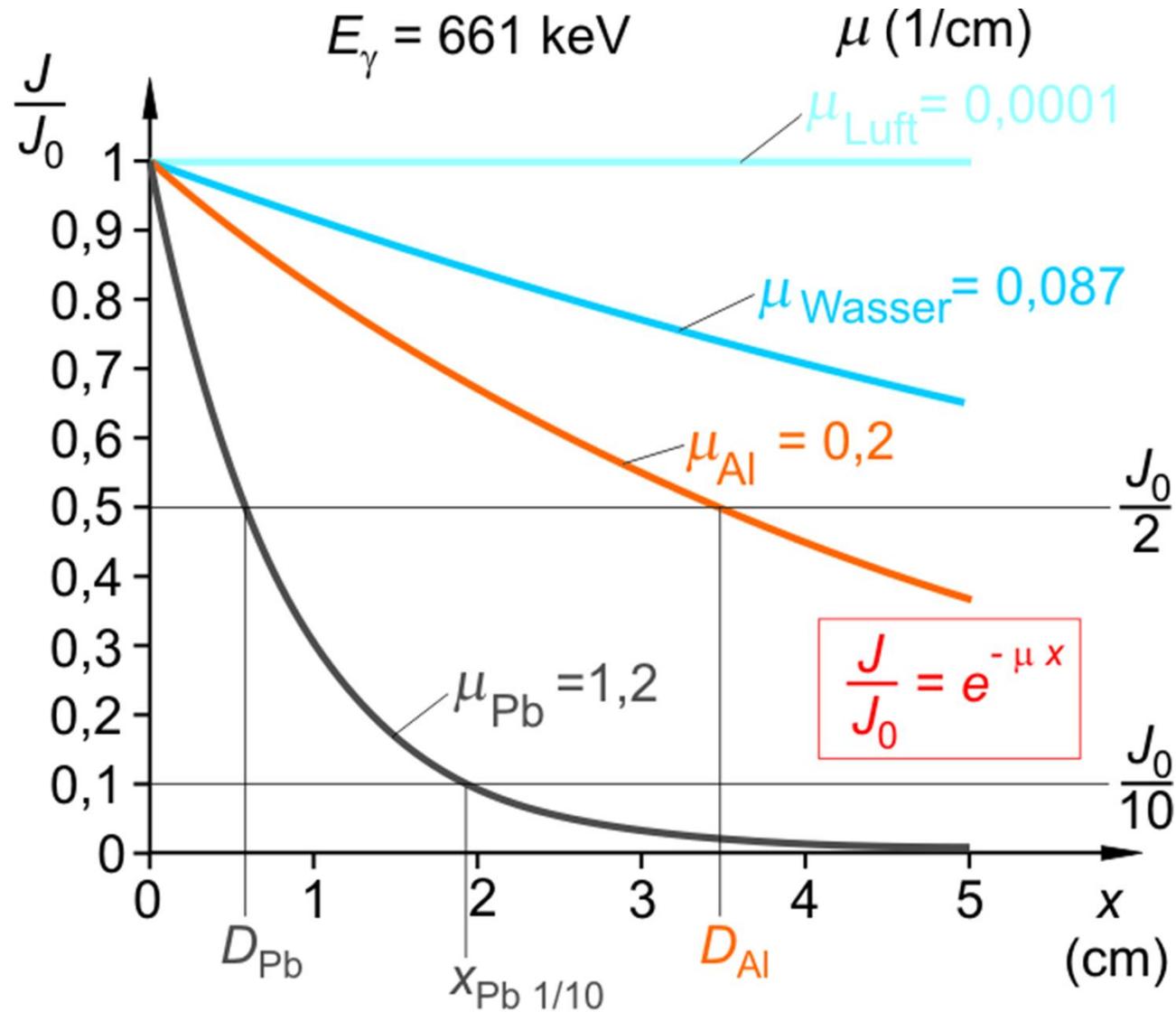
Die Intensität sinkt auf den e-ten Teil des Anfangswertes ($\approx 37\%$)

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

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

Maßeinheit: cm^2/g

Schwächung der γ - und Röntgenstrahlung

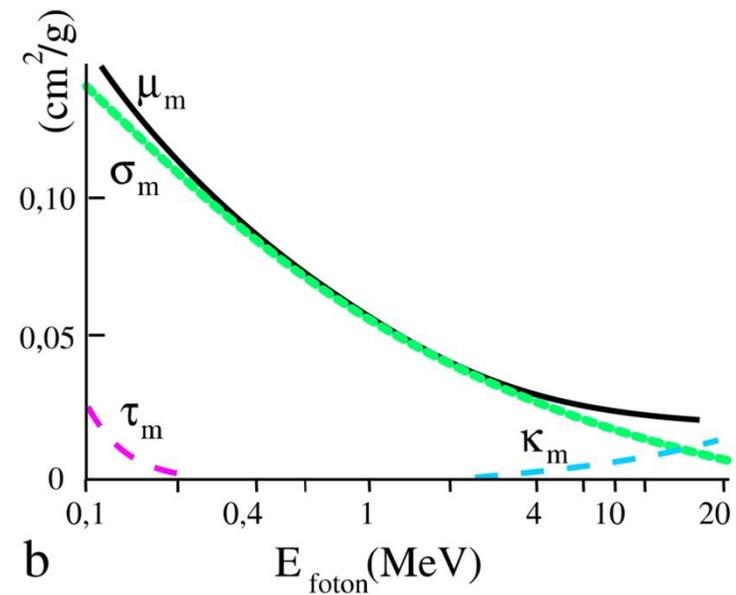
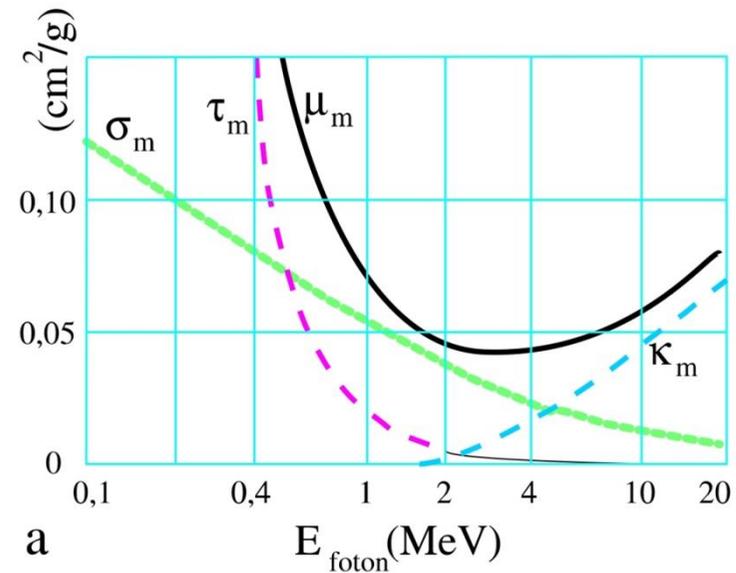


Massenschwächungs-
koeffizient:

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

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

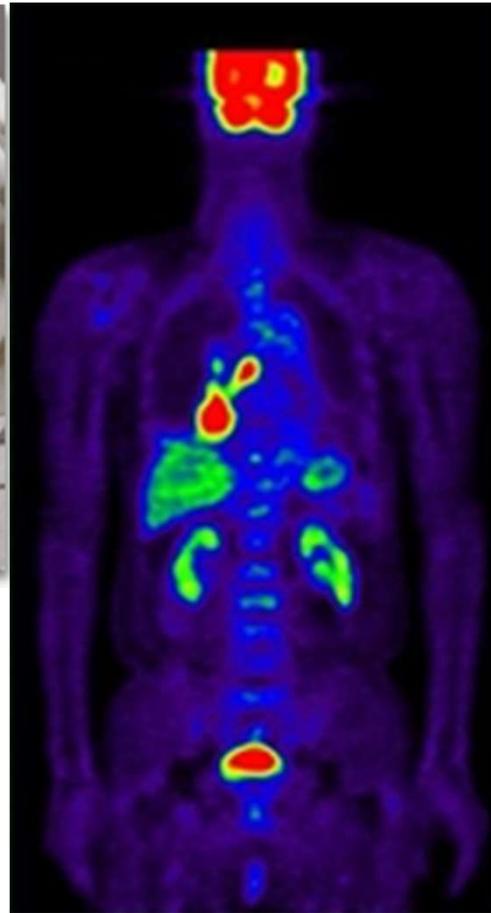
$$\tau_m = c \lambda^3 Z^3$$



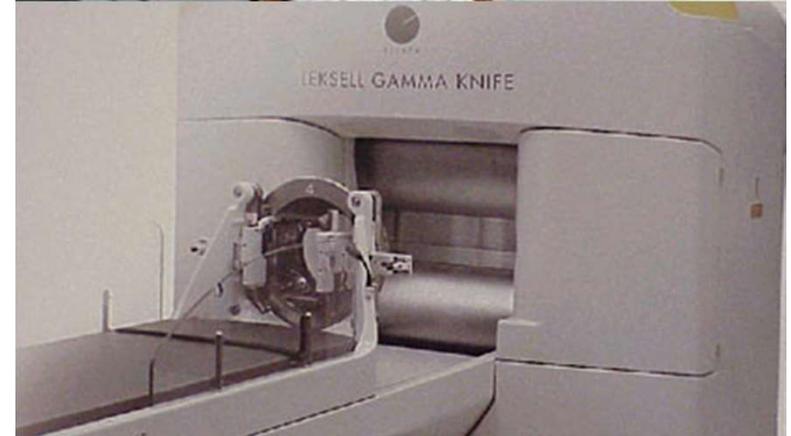
Anwendungen

(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



Schutz für die Schilddrüse

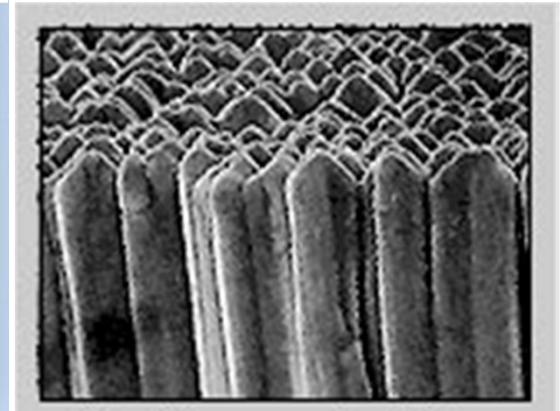
Bleimantel



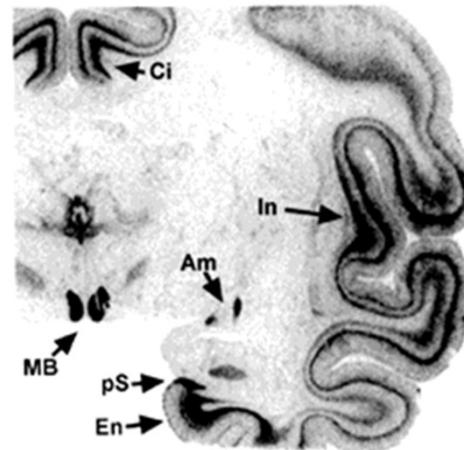
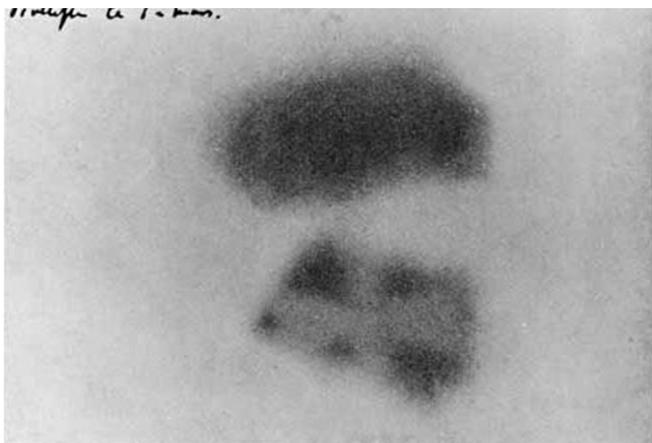


Detektierung der ionisierenden Strahlungen

Szintillation



Photographie

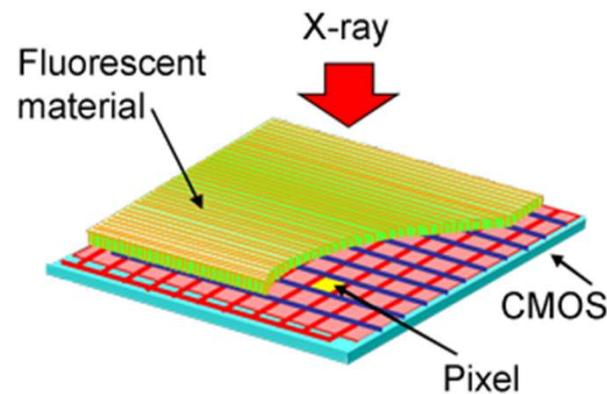


Detektierung der ionisierenden Strahlungen

Gasionisation

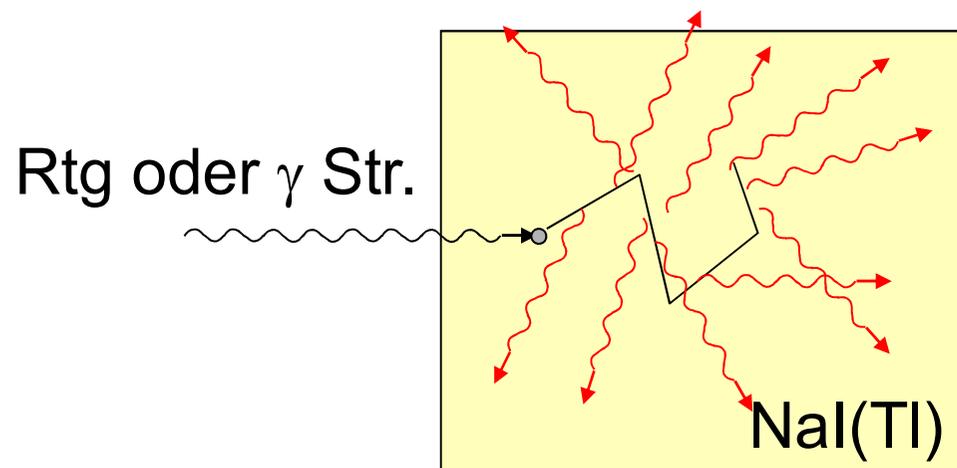


Halbleiter



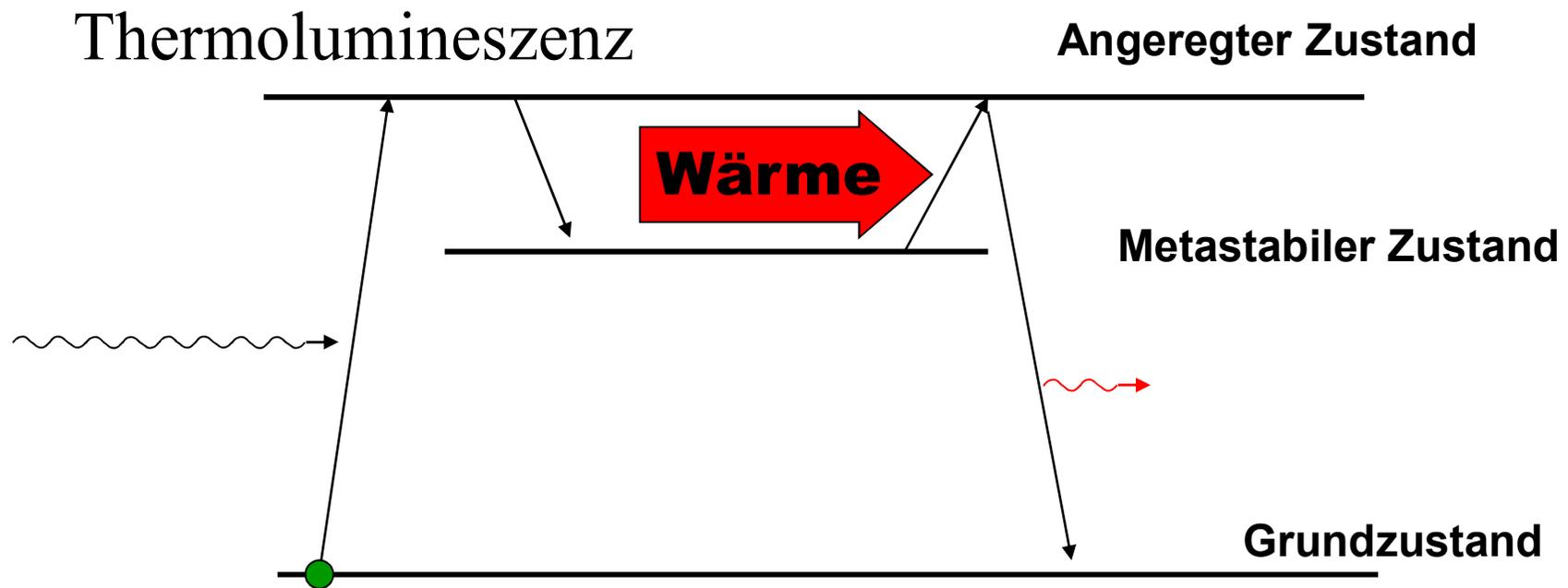
Szintillation

- Szintillationskristall
(Szintillationszähler)
(siehe Praktikum!)



Licht

Lumineszenz

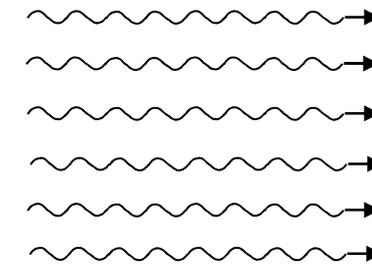
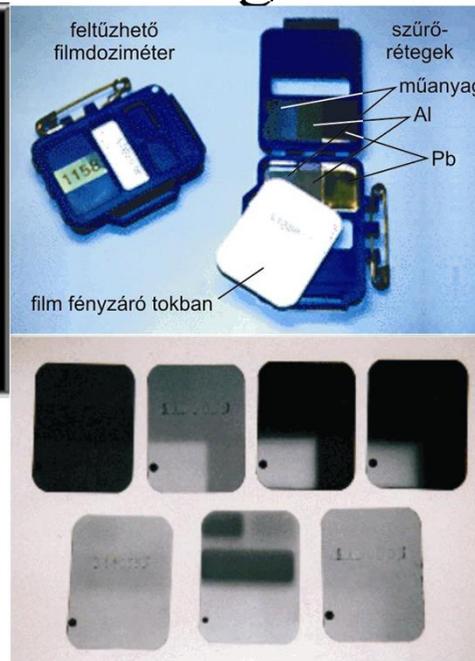
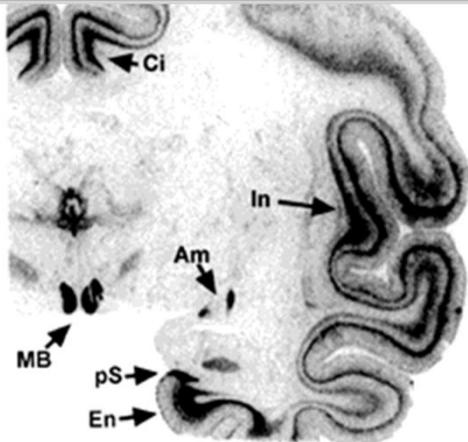


Anwendung: Dosimetrie

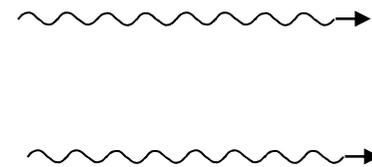


Photographie

Photochemischer Effect der Röntgenstrahlung:
Schwärzung des Röntgenfilmes.



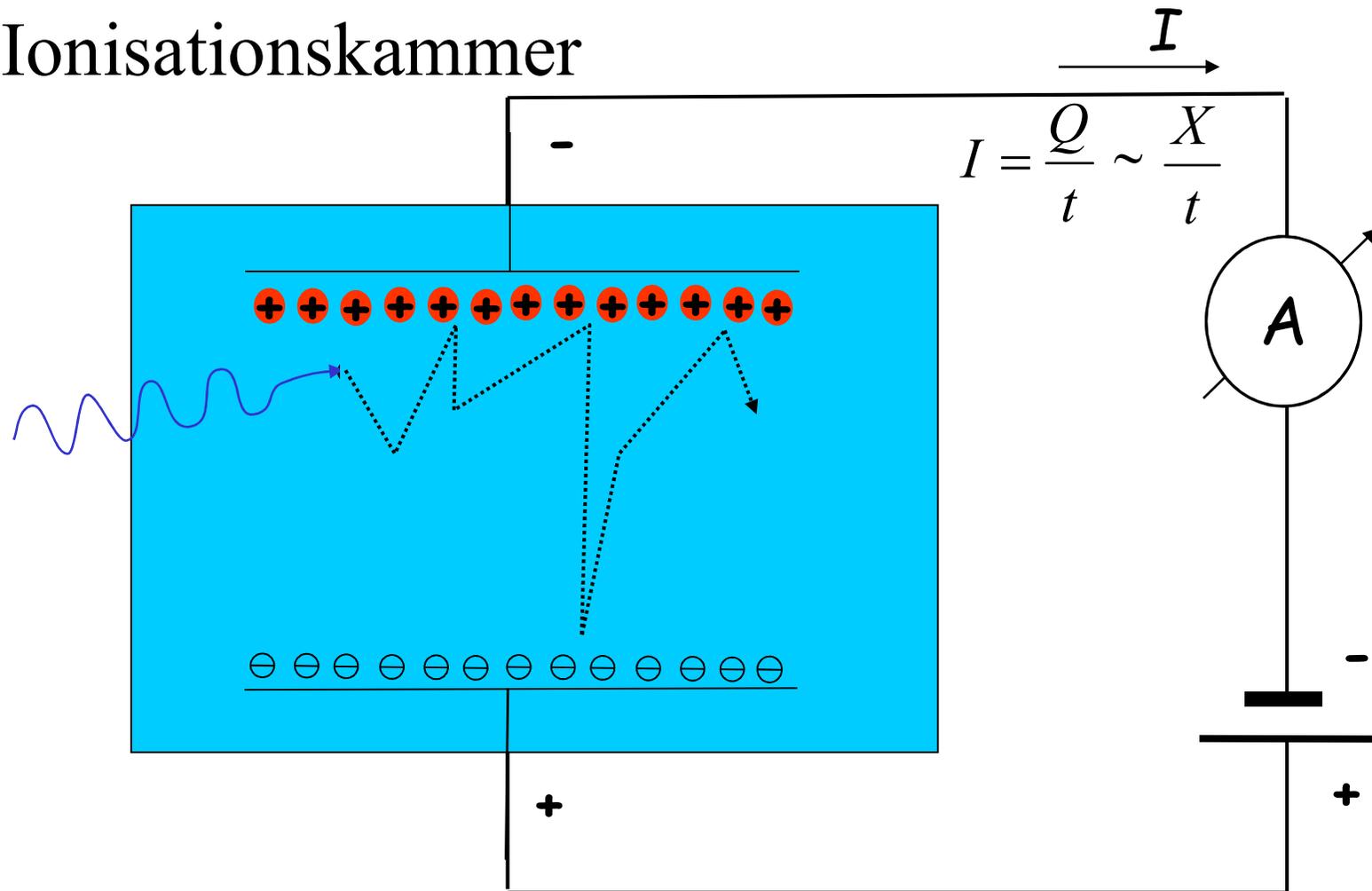
dunkel



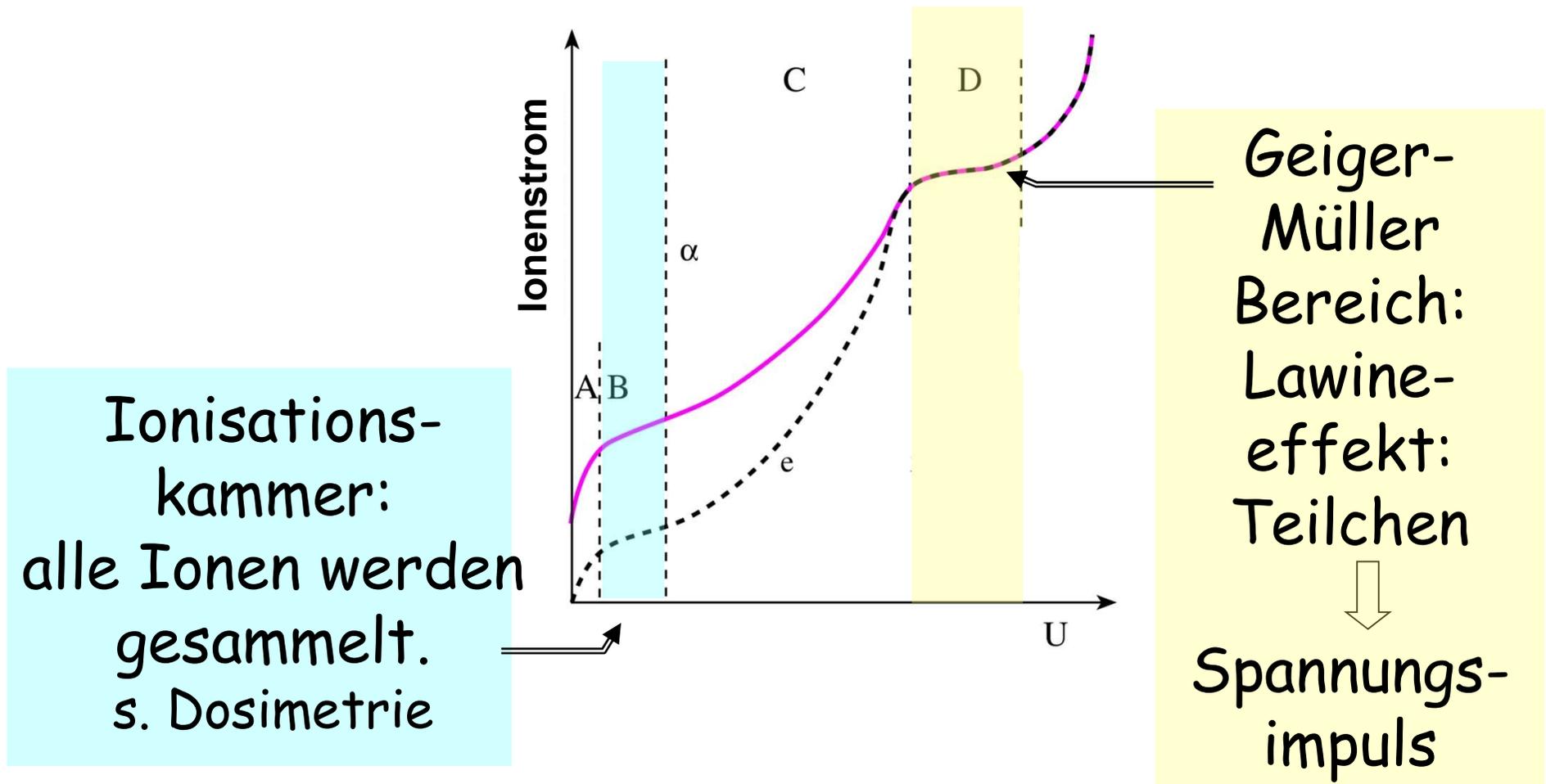
hell

Gasionisationsdetektoren

Ionisationskammer



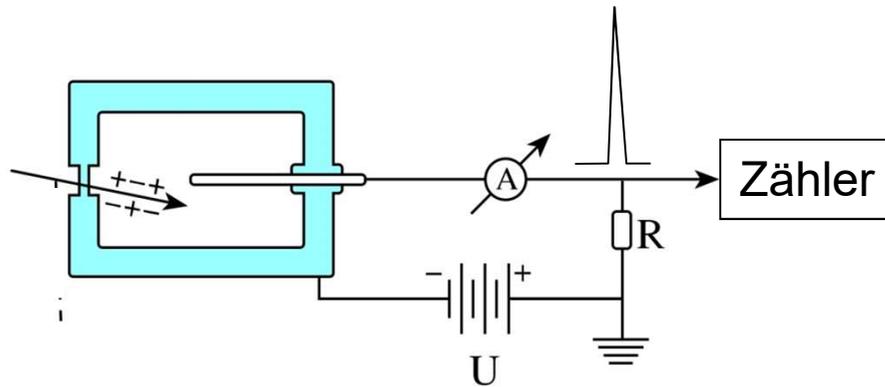
Gasionisationsdetektoren



Ionisationskammer:
alle Ionen werden
gesammelt.
s. Dosimetrie

Geiger-Müller
Bereich:
Lawineeffekt:
Teilchen
↓
Spannungsimpuls

Geiger-Müller Zahlrohr



Lawineeffekt !

Nachteil:

kleine Empfindlichkeit für γ -Strahlung

Nicht Energieselektive

Vorteil: einfache Aufbau

Anwendung: Dosimetrie



Halbleiter

Prinzip: Halbleiterdiode in Sperrichtung:

