



Isotope, Radioaktive Zerfälle und Strahlungen II.

L. Smeller

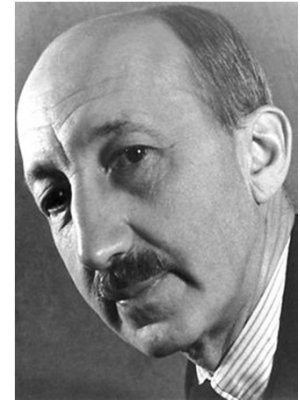
Zur Erinnerung

Isotope

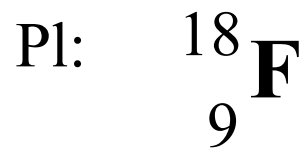
Atomkerne mit gleicher Ordnungszahl aber unterschiedlicher Massenzahl

=> gleiche Protonenzahl unterschiedliche Neutronenzahl

Varianten des gleichen Elementes => Chemische Eigenschaften sind identisch!



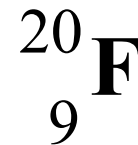
Hevesy György



instabil
(radioaktiv)



stabil



instabil
(radioaktiv)

Isotop <-> radioaktives Isotop



Zerfälle und radioaktive Strahlungen

α - Zerfall

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

β -Zerfall: β^-
 β^+

β^- Teilchen = Elektron

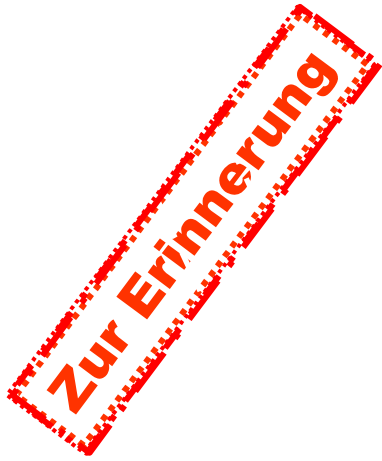
β^+ Teilchen = Positron

K-Einfang

charakteristische
Röntgenstrahlung

Isomere Kernumwandlung

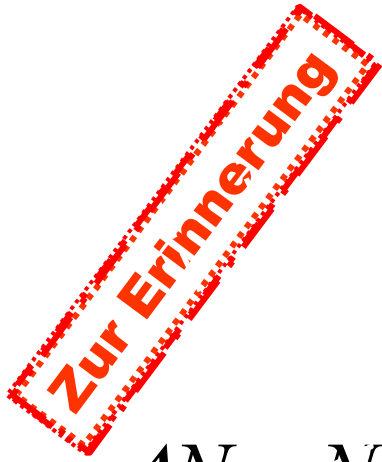
γ -Strahlung



Wichtigste Begriffe für Charakterisierung der Isotopen

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

*diese sind von der Isotopenart abhängig



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 ($t=0$)

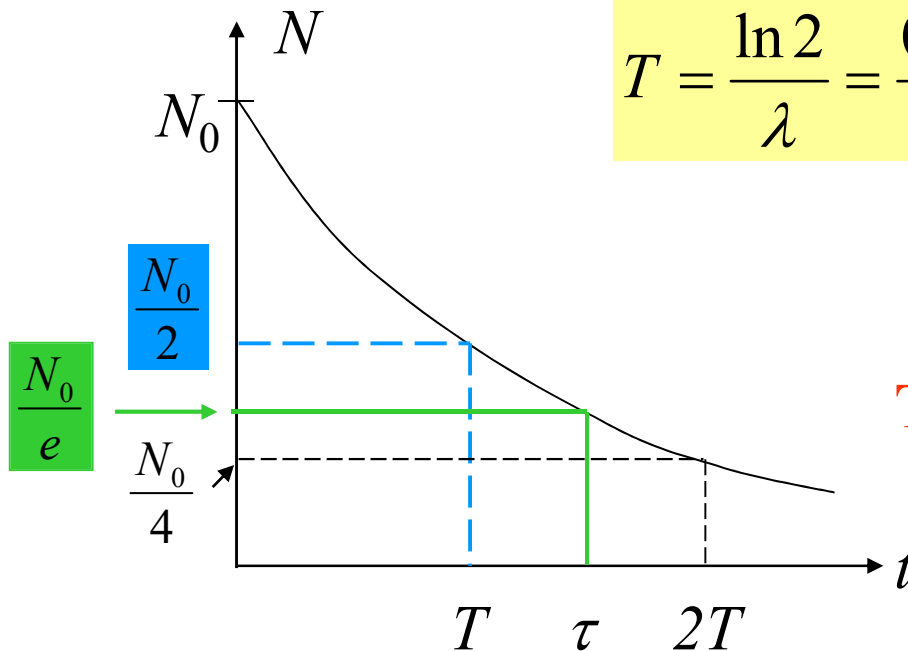
Zur Erinnerung

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

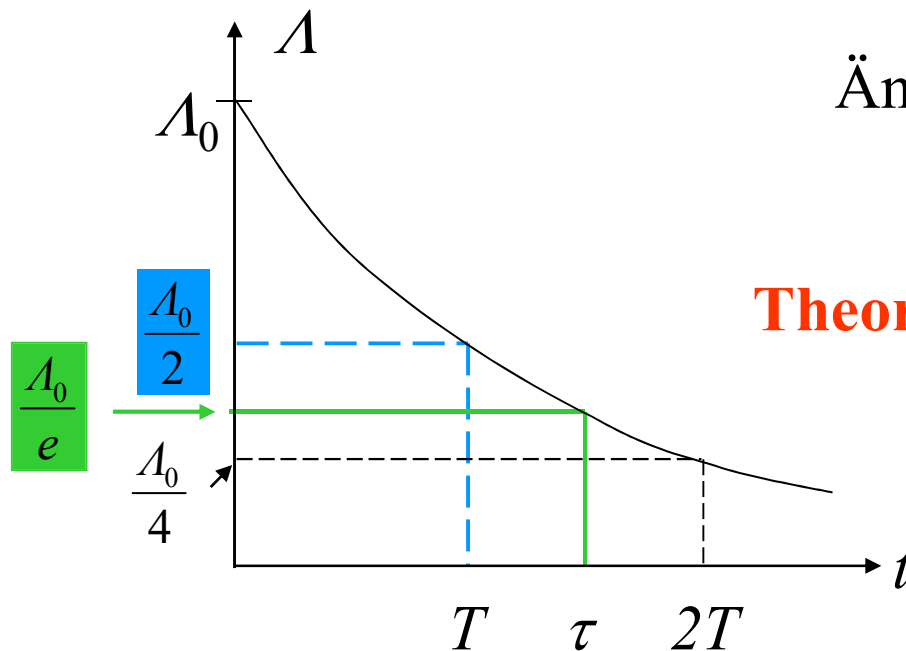


Theoretisch erreicht es nie 0 !

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

^{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	$12,3 \text{ J}$
--------------	------------------

^{60}Co	$5,3 \text{ J}$
------------------	-----------------

^{59}Fe	$1,5 \text{ M}$
------------------	-----------------

^{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	$2,8 \text{ ms}$
-------------------	------------------

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.

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

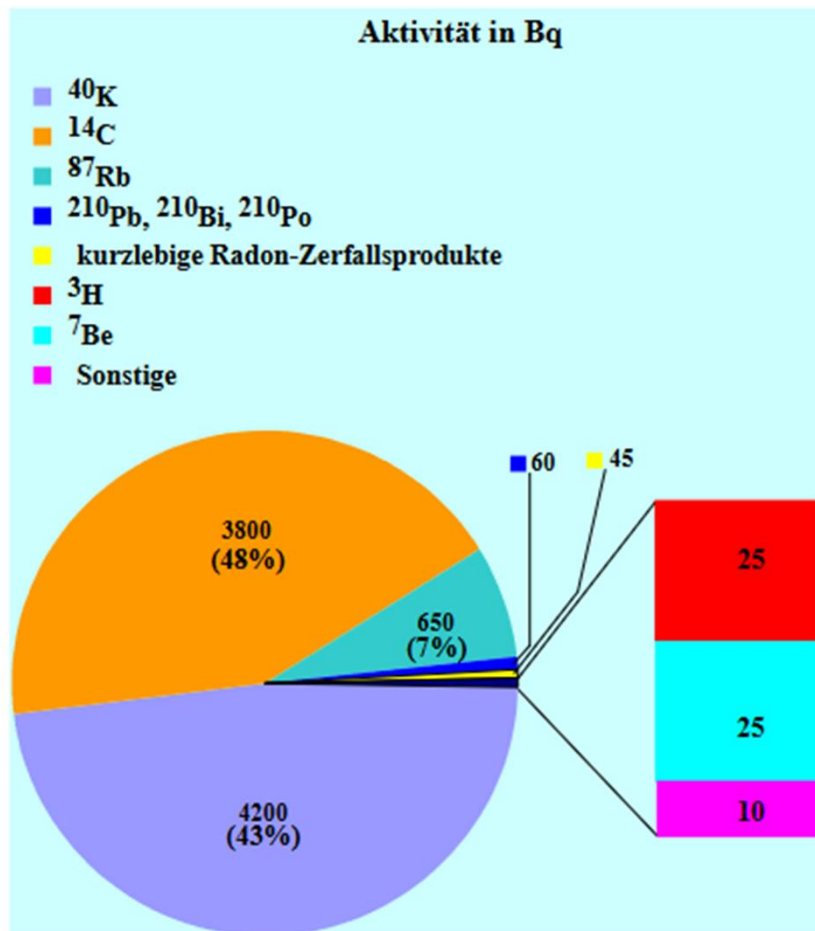
je höher ist die Teilchenenergie desto größer Reichweite

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?

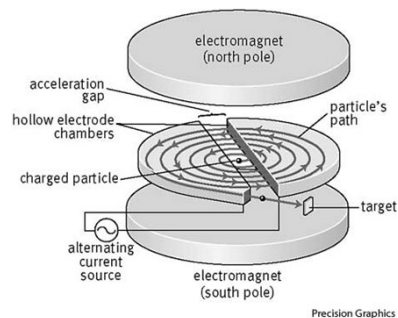
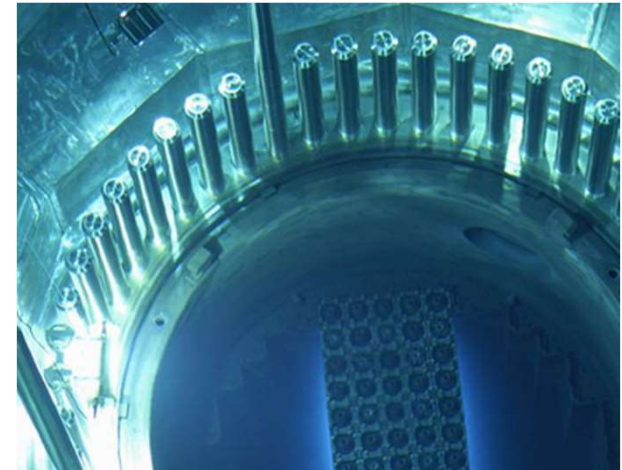
Isotope mit...

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)

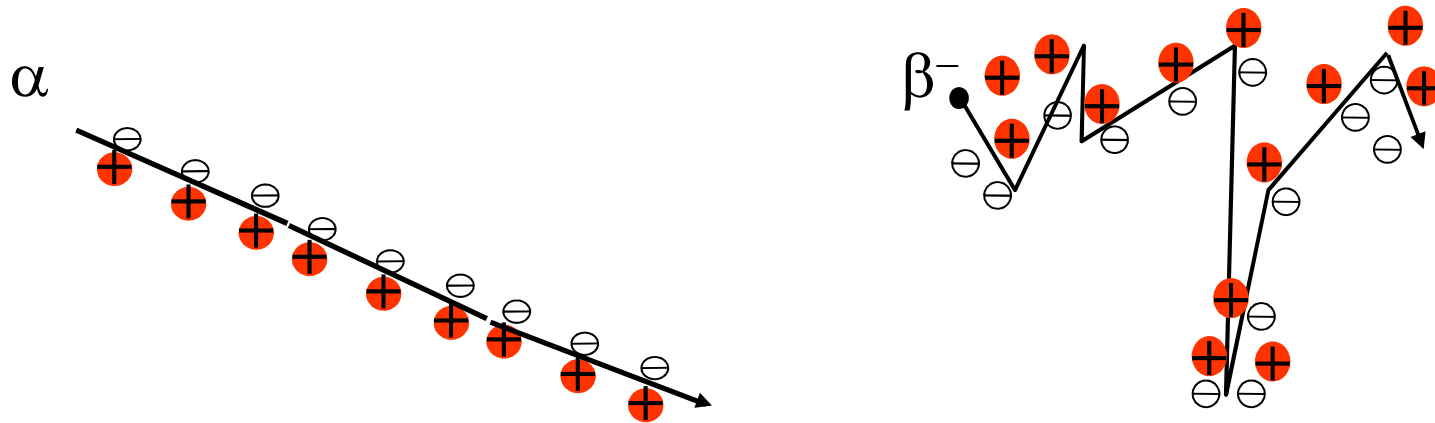


Absorption von ionisierenden Strahlungen

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

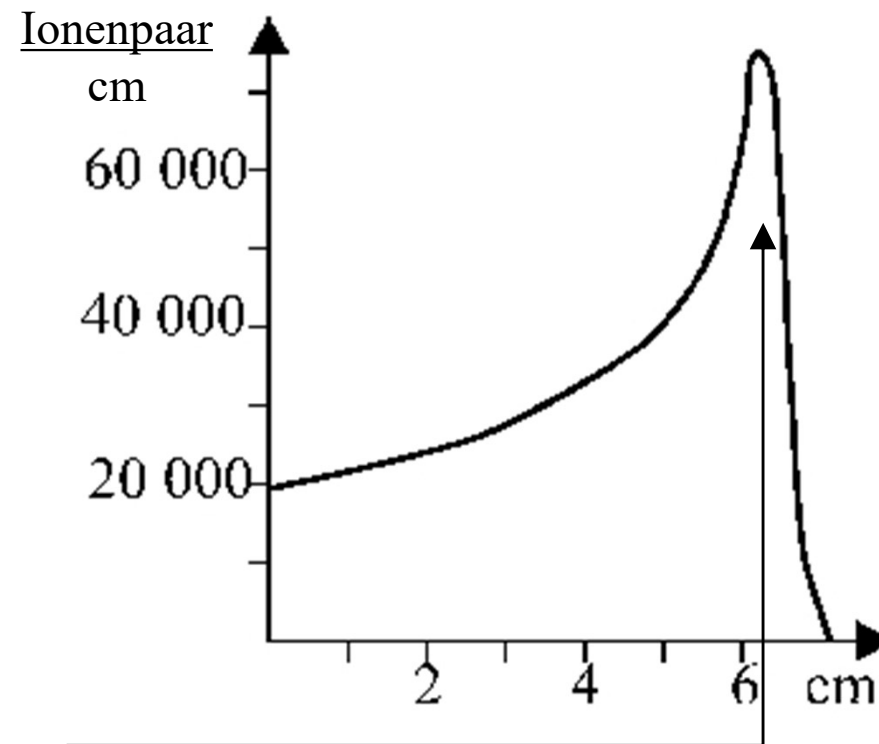


Lineare Energieübertragung (**LET**, Linear Energy Transfer)

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

Lineare Ionendichte für
ein α -Teilchen in Luft

Bragg Spitze



Reichweite

α -Teilchen

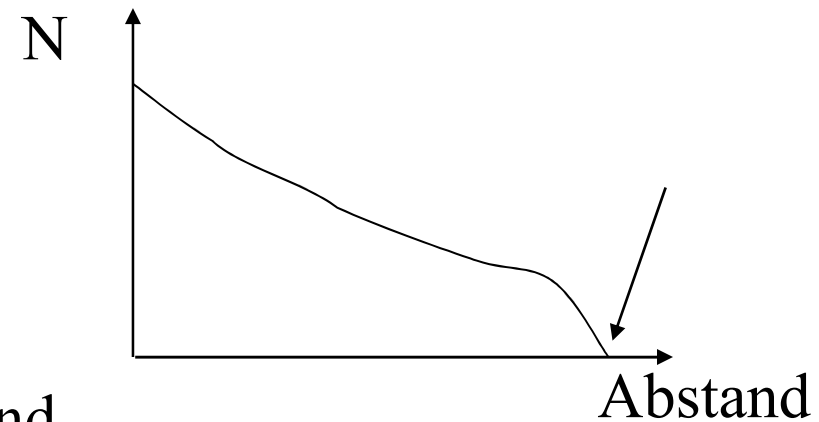
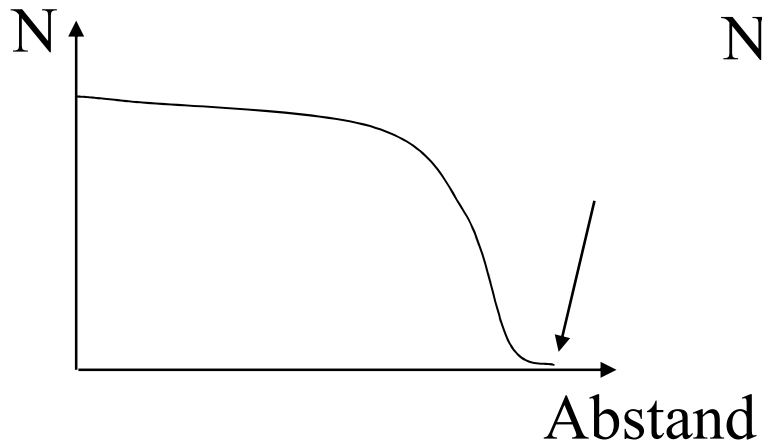
β^- -Teilchen

in Luft **einige cm**

in Luft **m**

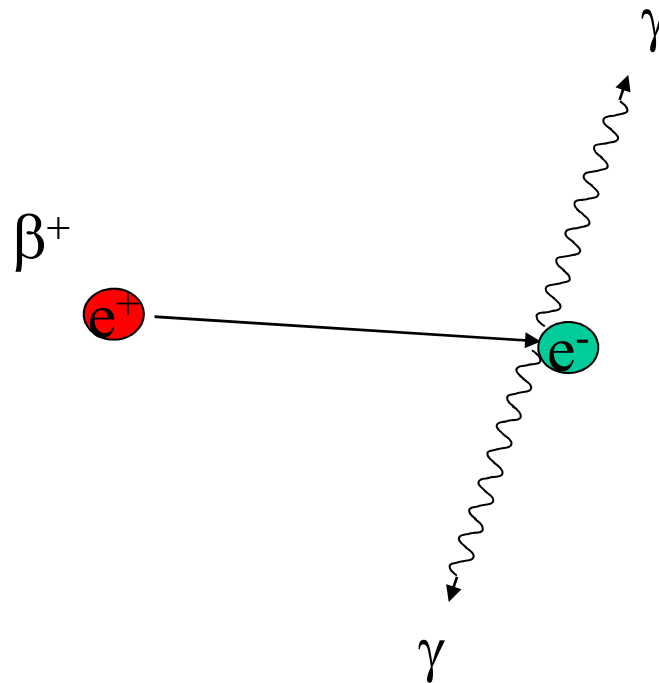
in Gewebe **0,01-0,1 mm**

in Gewebe **cm**



β^+ -Strahlung

Annihilation



Medizinische Anwendung: Positron Emissionstomographie (PET)

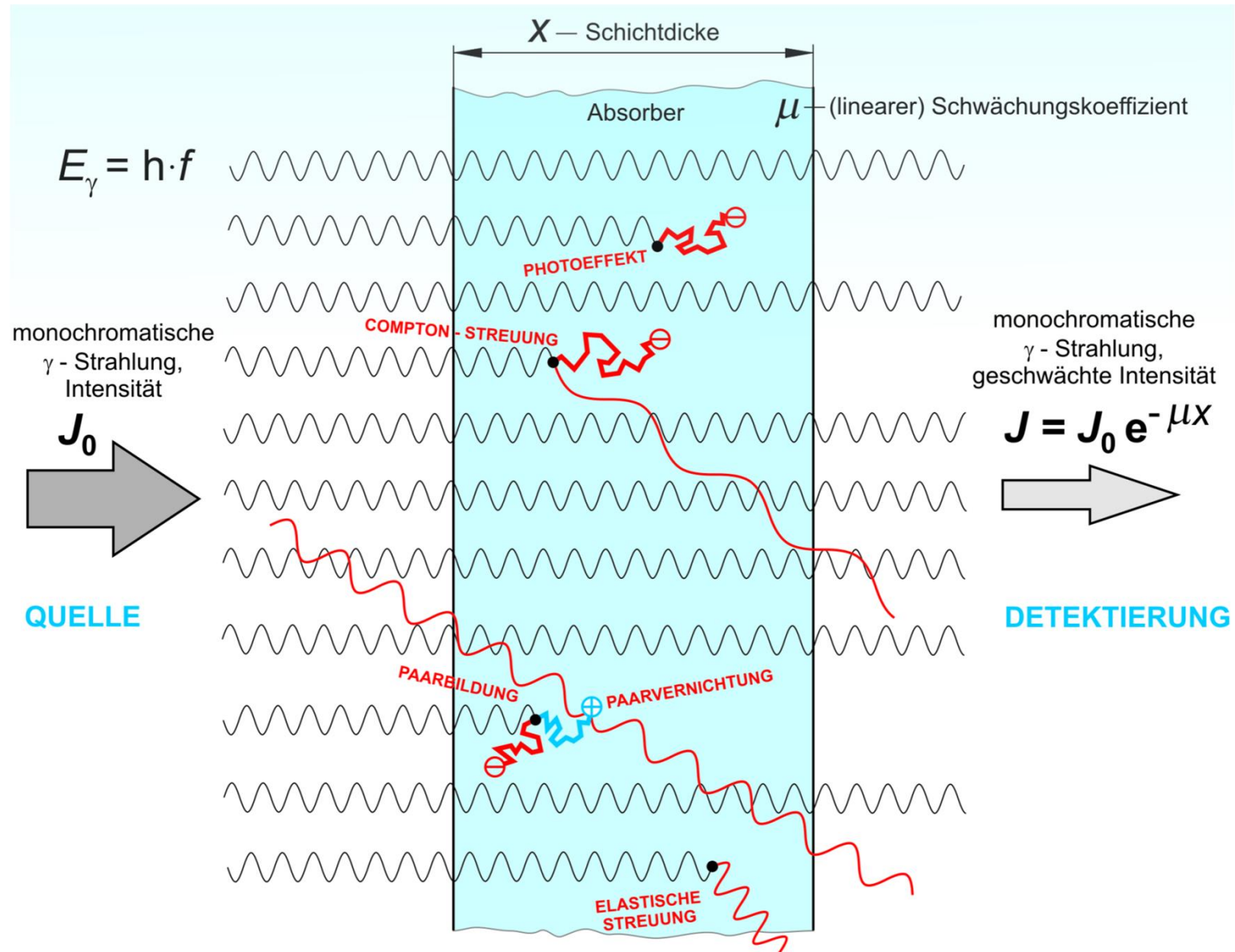
Einsteinsche Formel:

$$E=mc^2$$

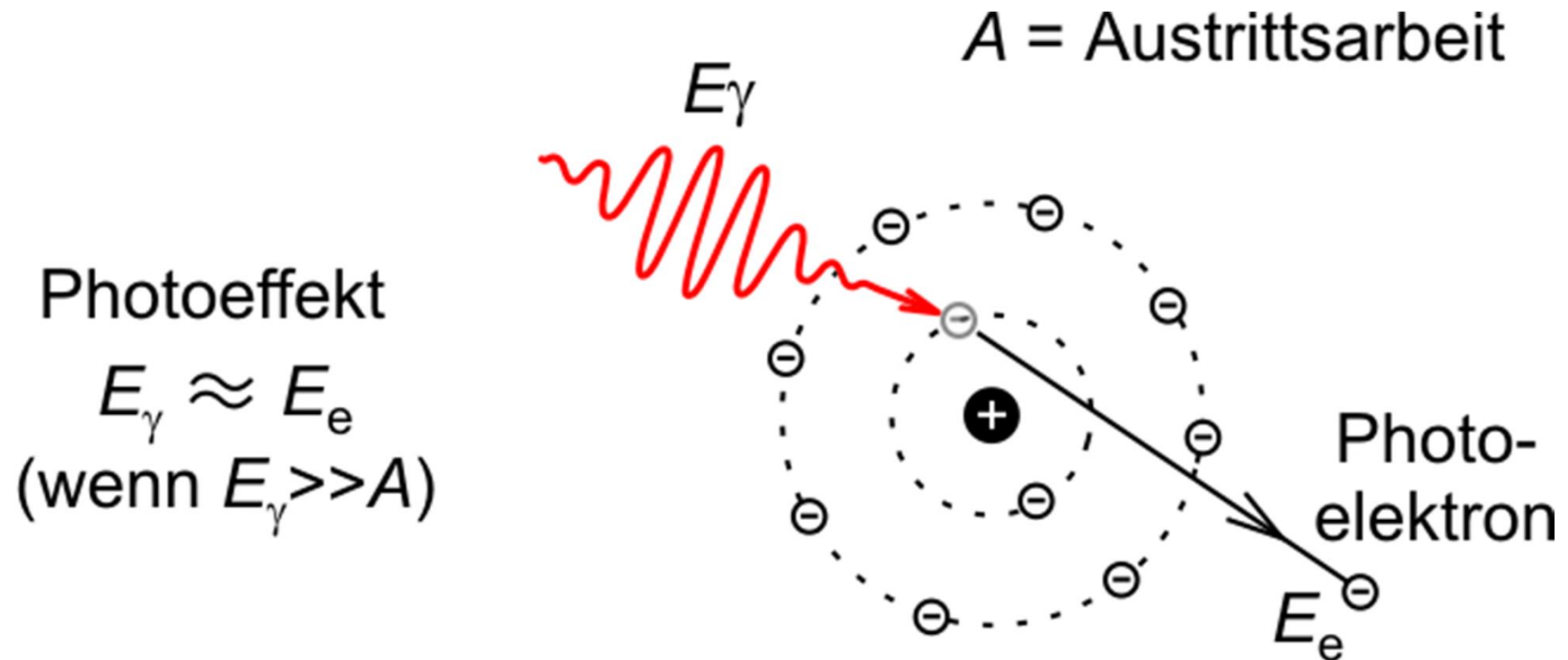
Energie - Masse Equivalenz !

~~Umwandlung~~

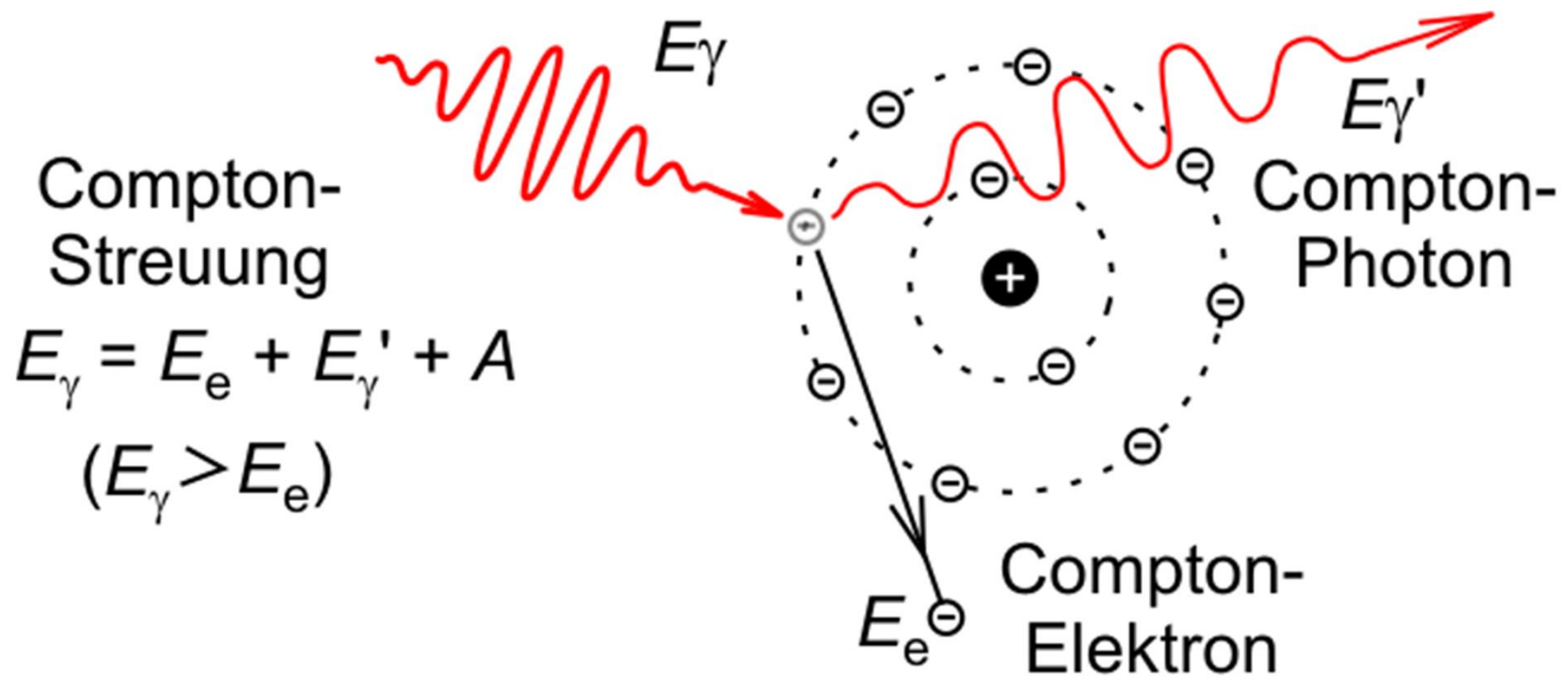
Wechselwirkung der Röntgen- und Gamma-Strahlung mit der Materie



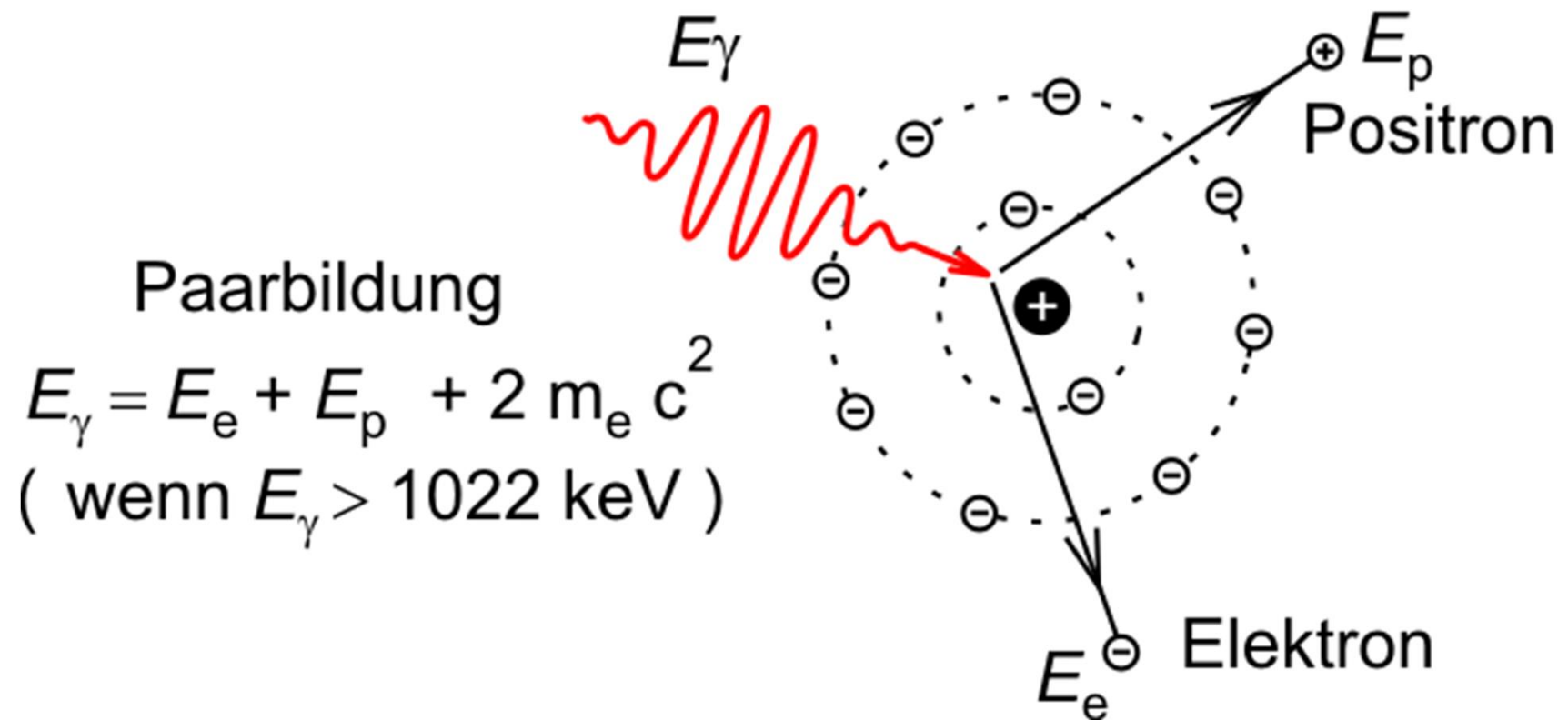
Photoelektrischer Effekt



Compton Effekt

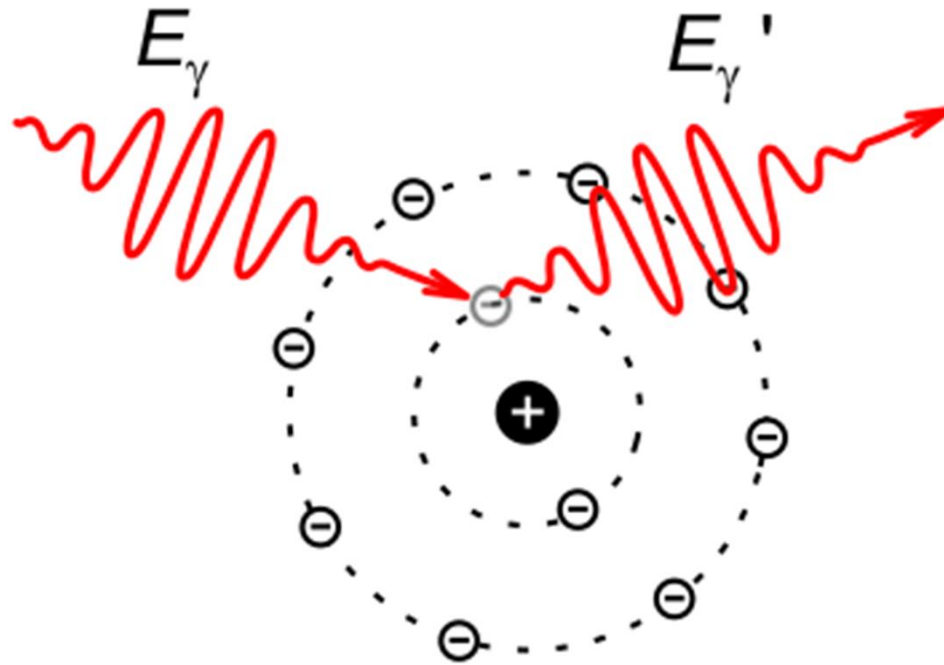


Paarbildung

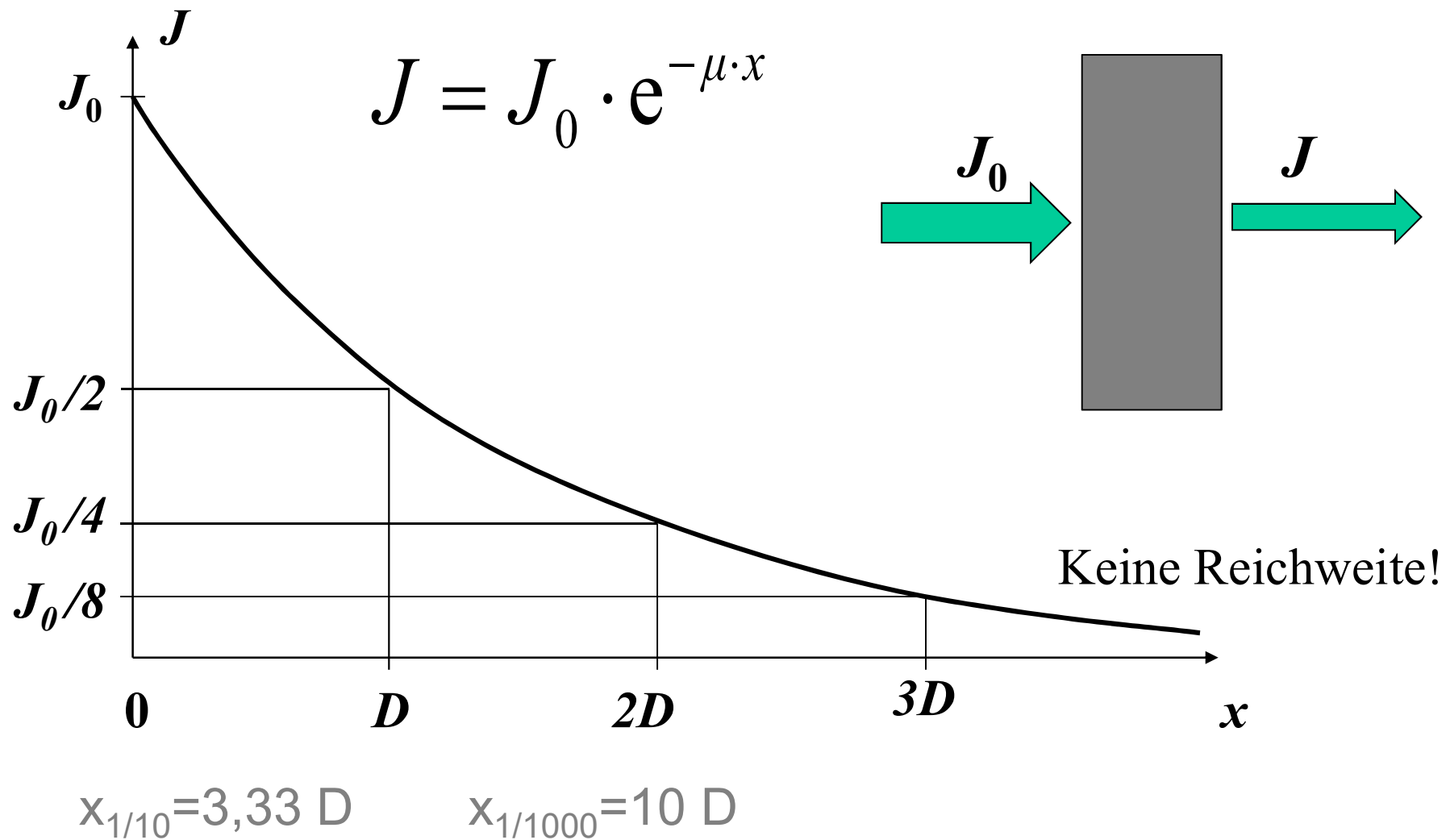


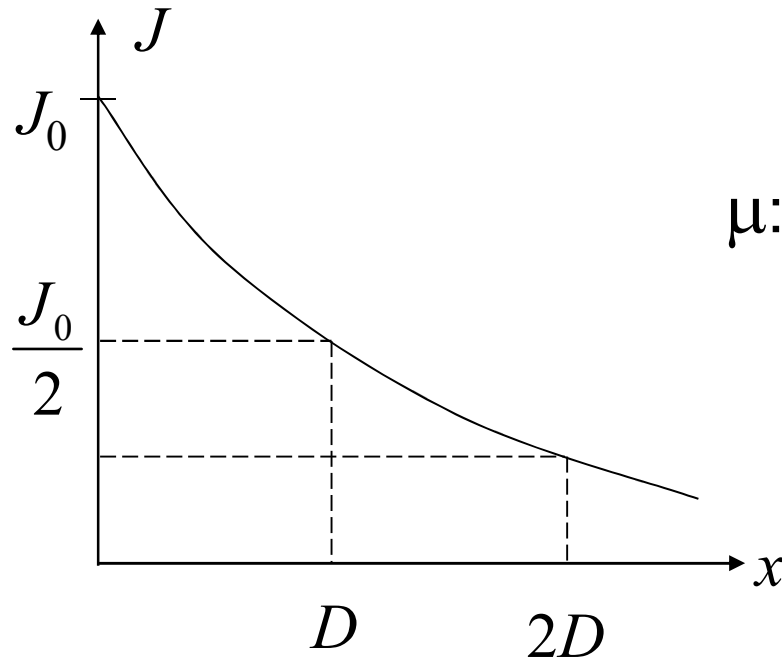
Elastische Streuung

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



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 ($\approx 37\%$)

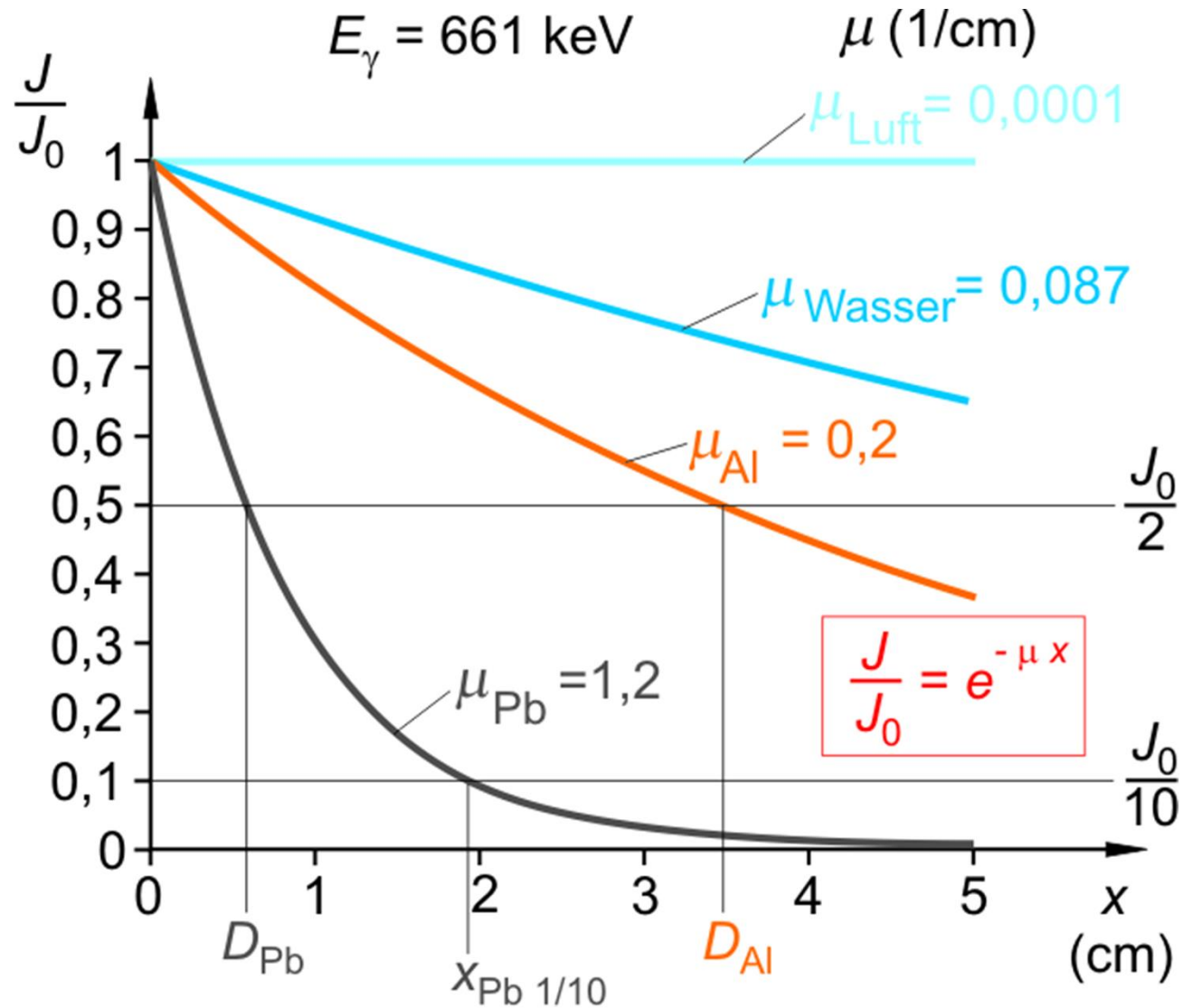
$$\mu(\text{Stoffart, Dichte, Energie der Strahlung}) = \mu(\text{Stoffart}, \rho, E_{\text{foton}}) \sim \rho$$

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

Massenschwächungskoeffizient

Maßeinheit: cm^2/g

Schwächung der γ - und Röntgenstrahlung

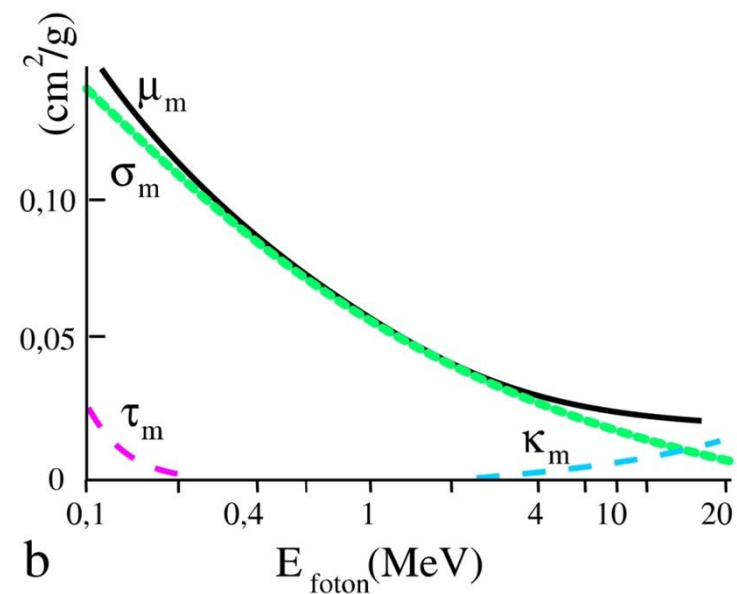
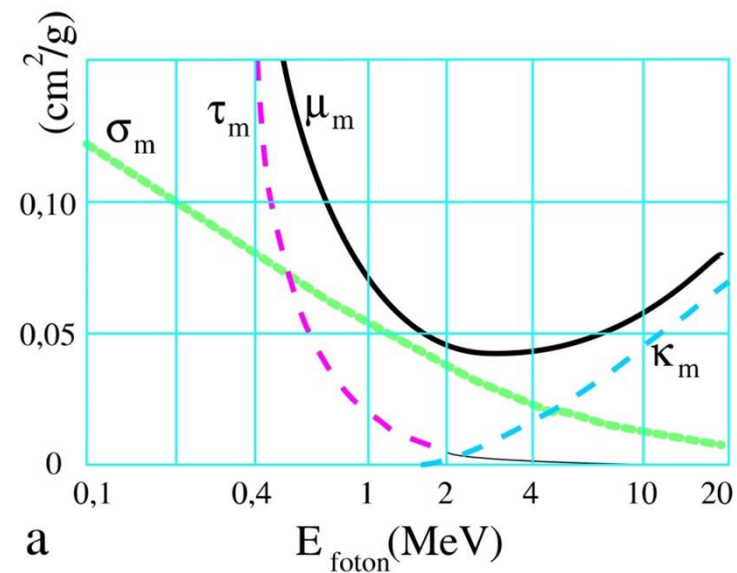


Massenschwächungs-
koeffizient:

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

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

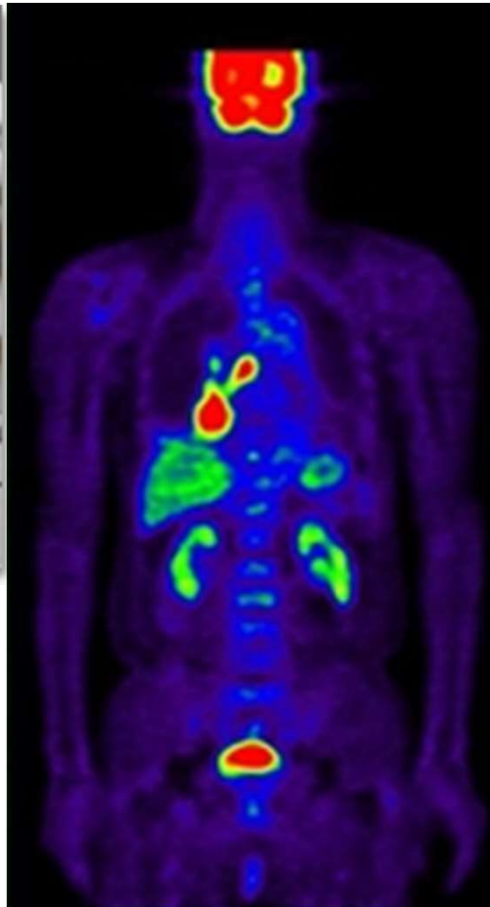
$$\tau_m = c \lambda^3 Z^3$$



Anwendungen

(Stralungen 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

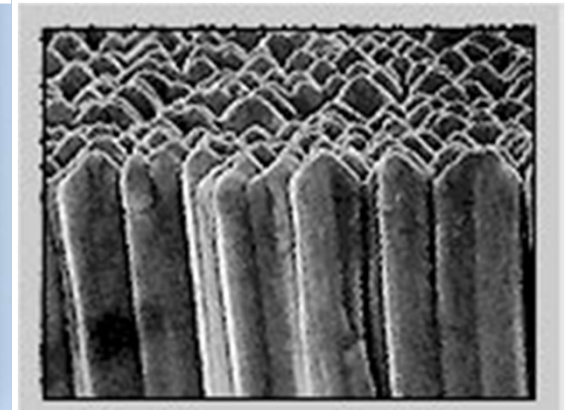


Bleimantel

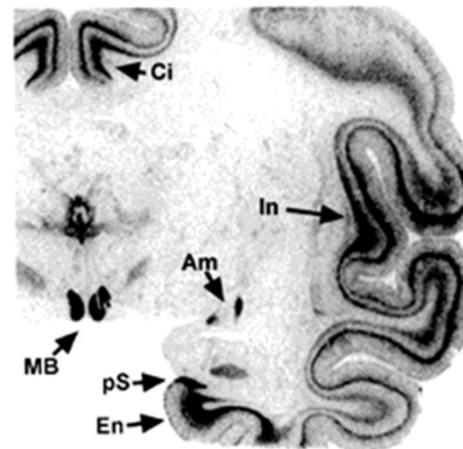


Detektierung der ionisierenden Strahlungen

Szintillation



Photographie

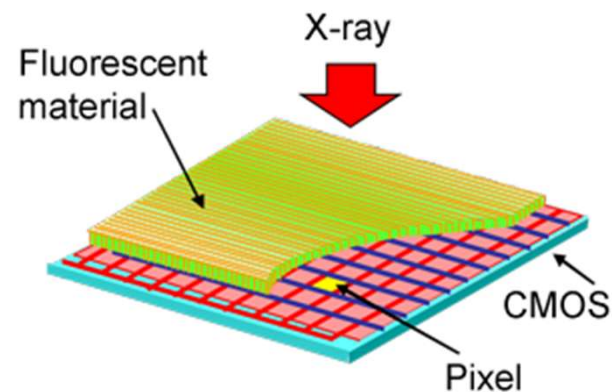


Detektierung der ionisierenden Strahlungen

Gasionisation

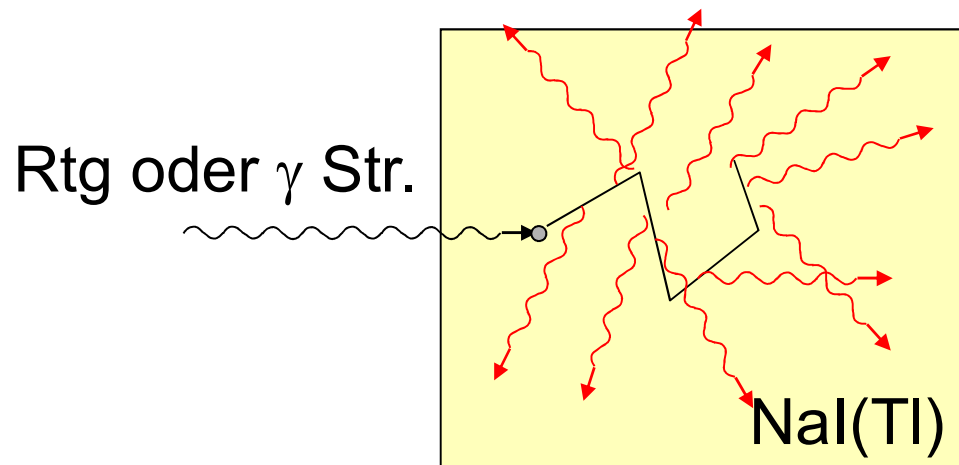


Halbleiter



Szintillation

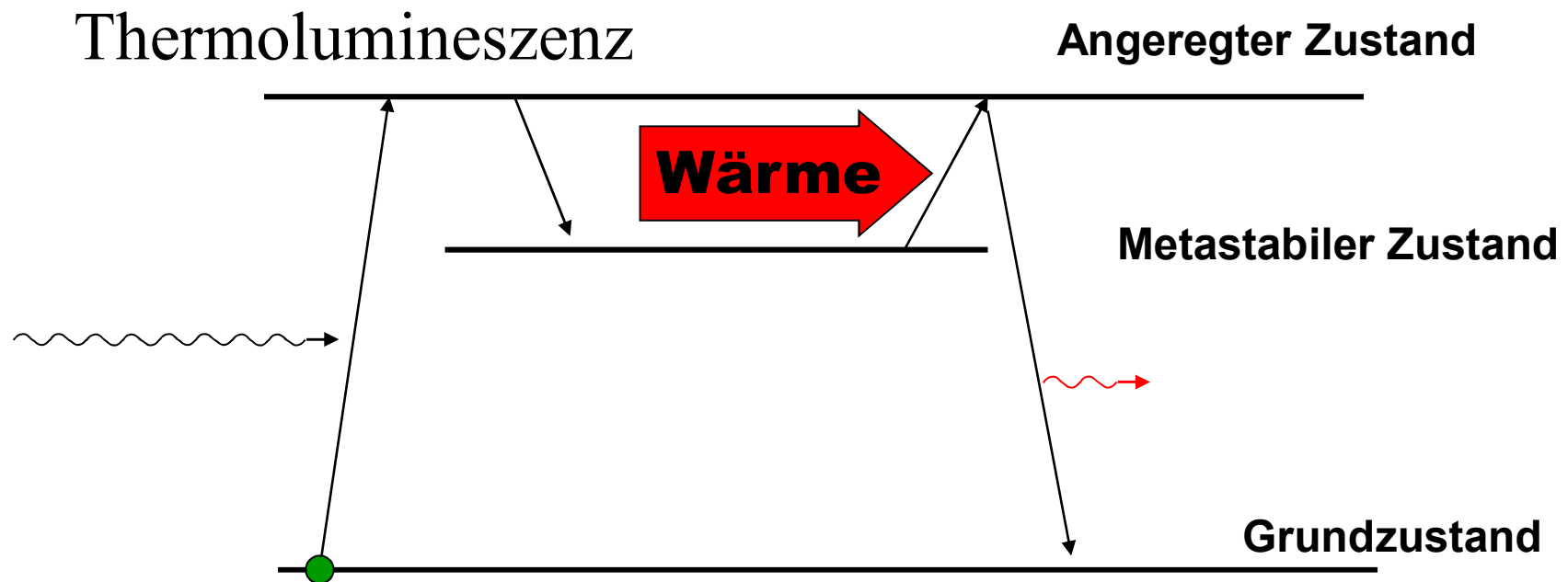
- Szintillationskristall
(Szintillationszähler)
(siehe Praktikum!)



Licht



Luminieszenz

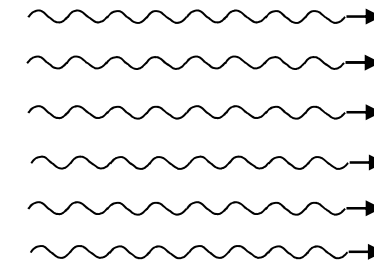
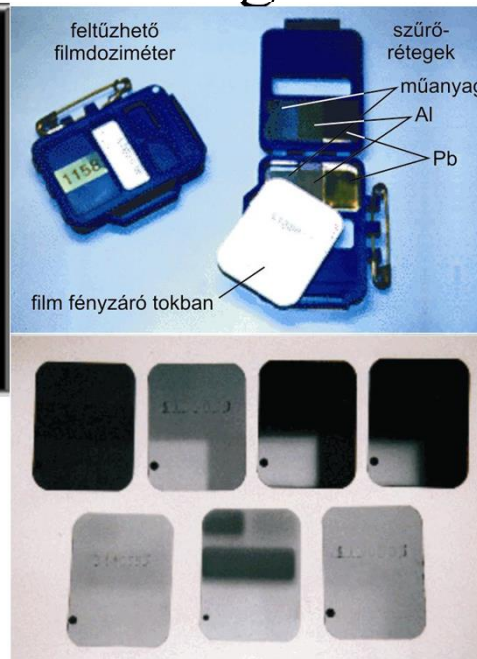
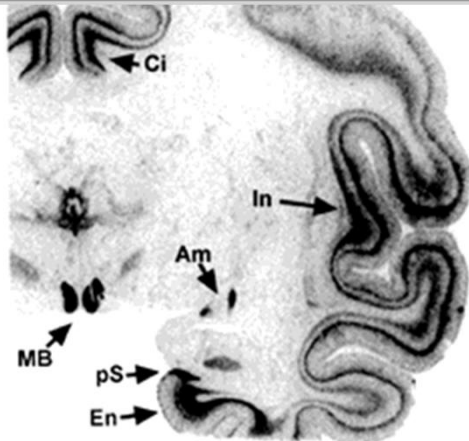


Anwendung: Dosimetrie

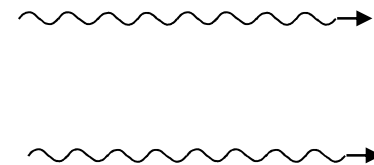


Photographie

Photochemischer Effect der Röntgenstrahlung:
Schwärzung des Röntgenfilmes.



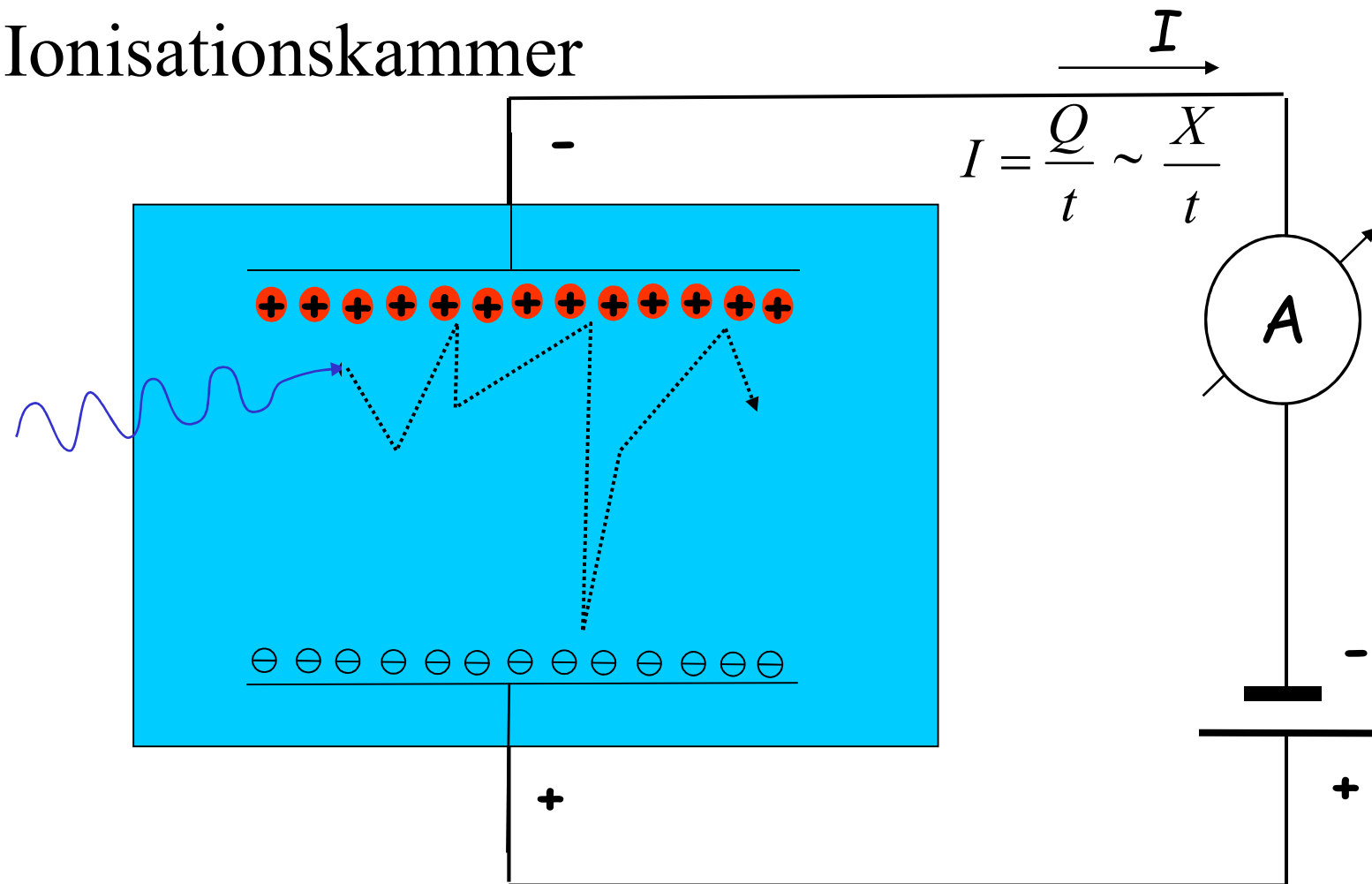
dunkel



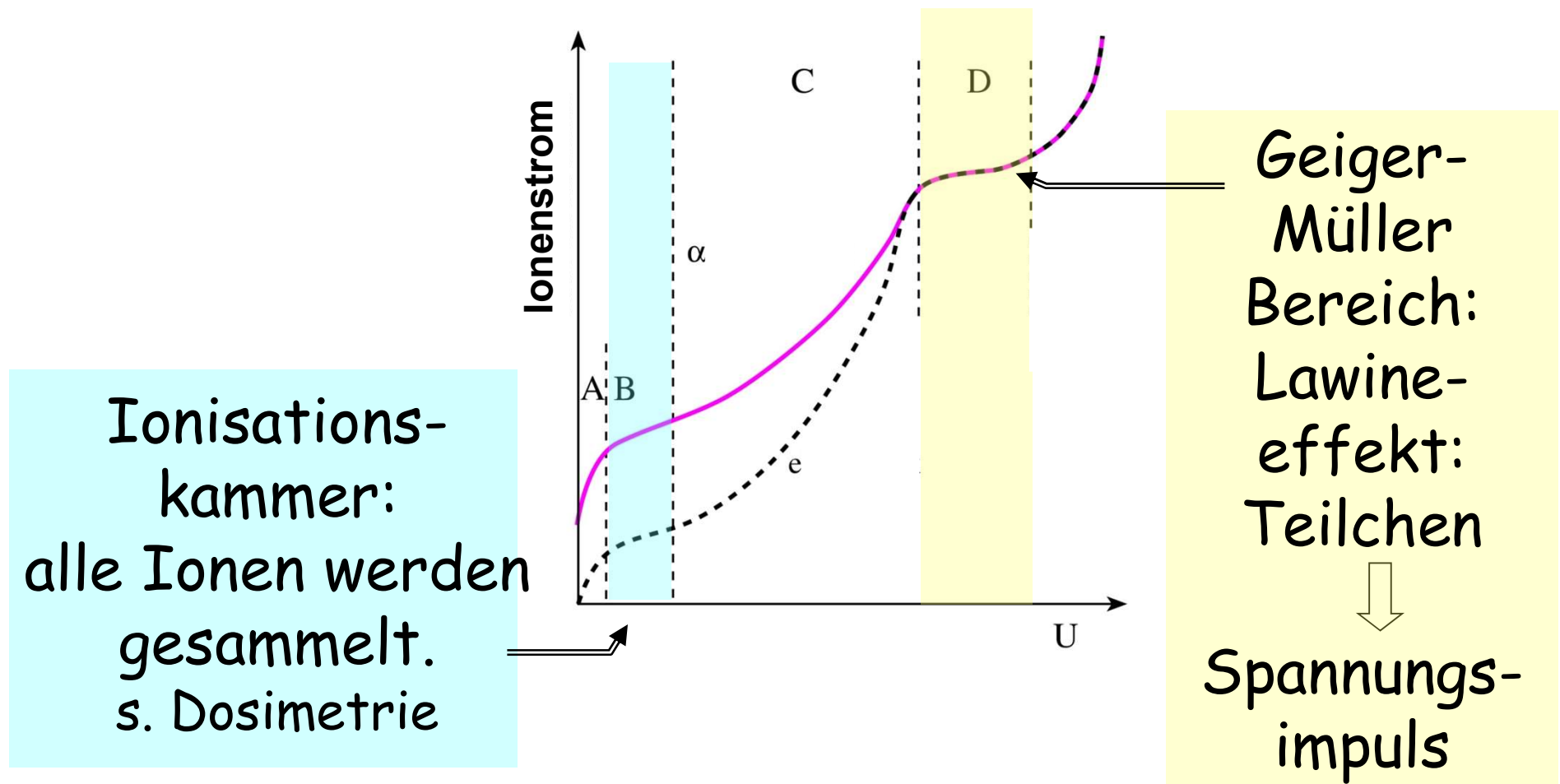
hell

Gasionisationsdetektoren

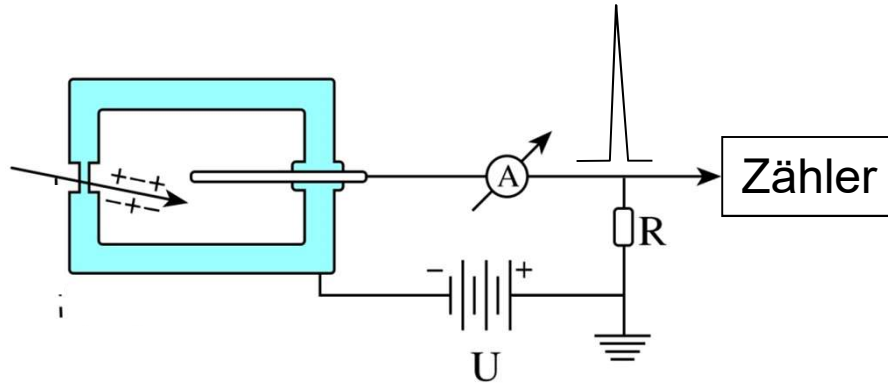
Ionisationskammer



Gasionisationsdetektoren



Geiger-Müller Zahlrohr



Lawineeffekt !

Nachteil:

kleine Empfindlichkeit für γ -Strahlung

Nicht Energieselektive

Vorteil: einfache Aufbau

Anwendung: Dosimetrie



Halbleiter

Prinzip: Halbleiterdiode in Sperrichtung:

