

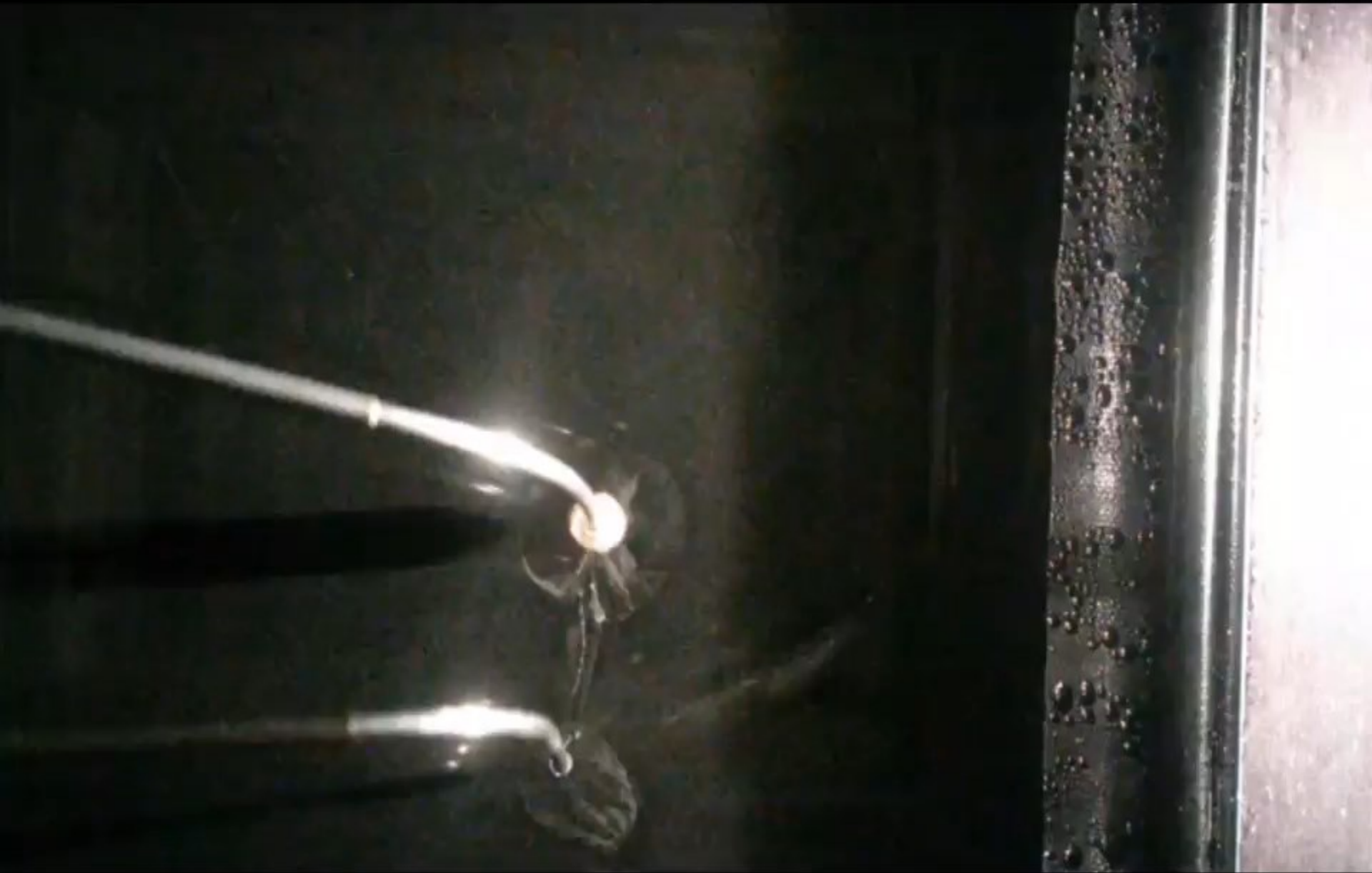
Physikalische Grundlagen der Nuklearmedizin. Radioaktivität und Kernstrahlungen.

Gusztáv Schay



SEMMELWEIS
UNIVERSITY 1769

Nebelkammer

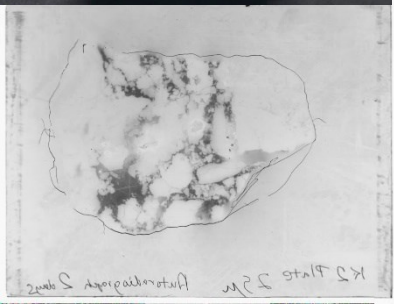
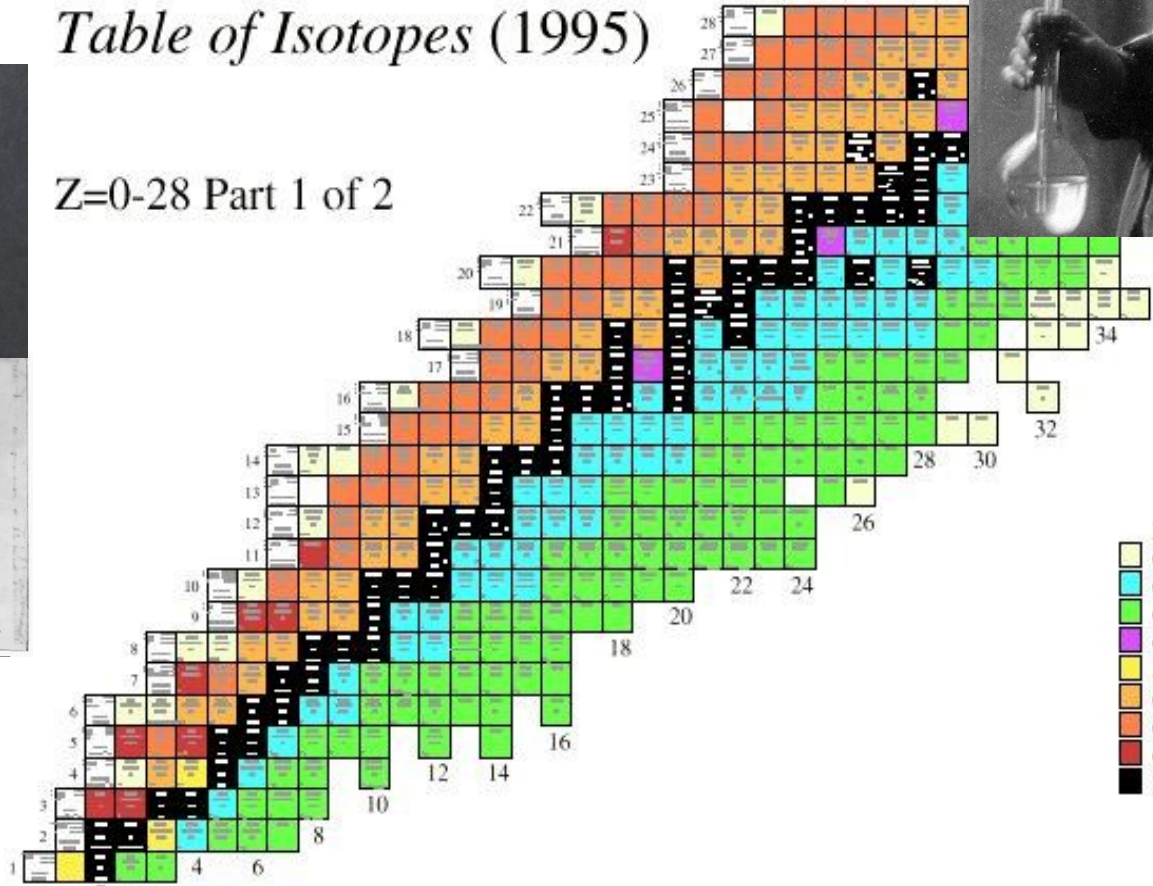


6	C 12.011 0.033%	C8 230 keV 0+	C9 126.5 ms (3/2-)	C10 19.255 s 0+	C11 20.39 m 3/2-	C12 0+	C13 1/2-	C14 5730 y 0+	C15 2.449 s 1/2+	C16 0.747 s 0+	C17 193 ms 0+	C18 66 ms 0+	C19	C20 0+
5	B 10.811 6.9x10 ^{-8%}	B7 1.4 MeV (3/2-)	B8 770 ms 2+	B9 0.54 keV 3/2-	B10 3+	B11 3/2-	B12 20.20 ms 1+	B13 17.36 ms 3/2-	B14 13.8 ms 2-	B15 10.5 ms	B17 5.08 ms (3/2-)	B19		
4	Be 9.012182 2.38x10 ^{-6%}	Be6 92 keV 0+	Be7 53.29 d 3/2-	Be8 6.8 eV 0+	Be9 3/2-	Be10 1.51E+6 y 0+	Be11 13.81 s 1/2+	Be12 23.6 ms 0+	Be14 4.35 ms 0+					
3	Li 6.941 1.86x10 ^{-7%}	Li4 2-	Li5 1.5 MeV 3/2-	Li6 1+	Li7 3/2-	Li8 838 ms 2+	Li9 178.3 ms 3/2-	Li10 1.2 MeV	Li11 8.5 ms 3/2-					
2	He 4.002602 8.9%	He3 1/2+	He4 0+	He5 0.60 MeV 3/2-	He6 806.7 ms 0+	He7 160 keV (3/2-)	He8 119.0 ms 0+	He9						
1	H 1.00794 91.0%	H2 0.015	H3 12.33 y 1/2+	H4 2-										



Table of Isotopes (1995)

Z=0-28 Part 1 of 2



Pitchblende

- Yellow: Q(??)
- Cyan: Q(β⁻) > 0
- Green: Q(β⁻) - S_N > 0
- Purple: Q(β⁻) > 0 + Q(EC) > 0
- Orange: Stable to Beta Decay
- Light Orange: Q(EC) > 0
- Dark Orange: Q(EC) - S_p > 0
- Red: Q(p) > 0
- Black: Naturally Abundant

Aufbau des Atomkerns

Ladung

Masse

Proton

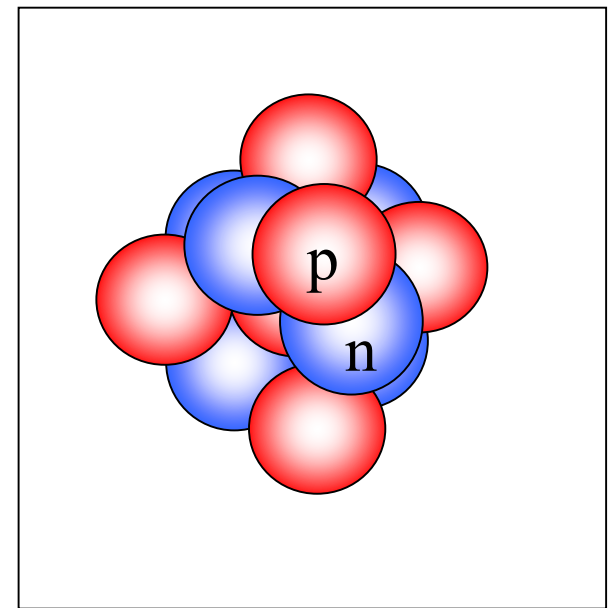
+1 e

1 a.u.

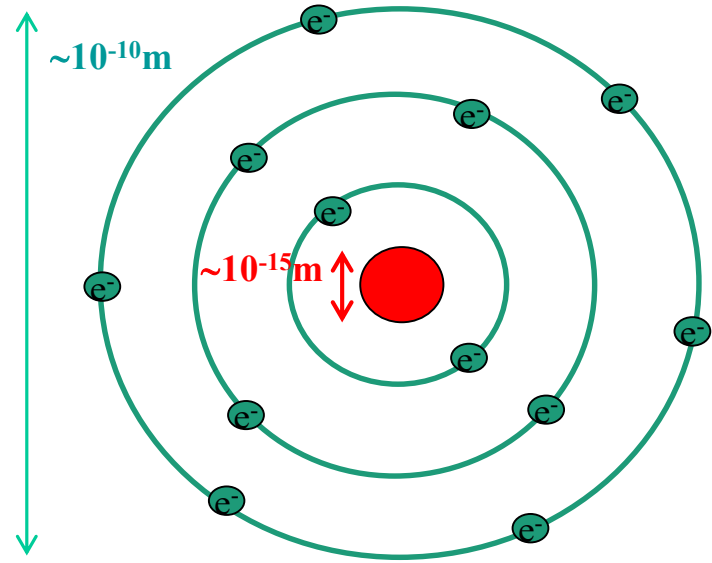
Neutron

0

1 a.u.

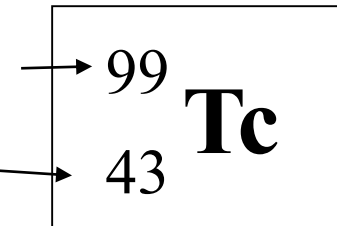


Atomäre Größen



A (Massenzahl) = Protonenzahl + Neutronenzahl

Z (Ordnungszahl) = Protonenzahl

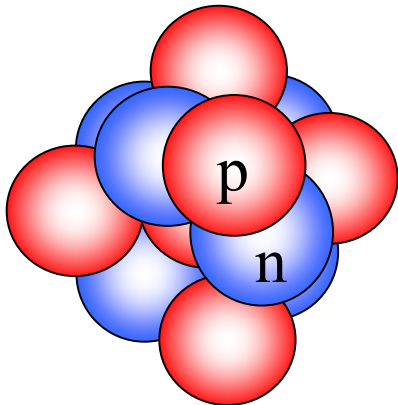


99 Nukleon: 43 Proton és 56 Neutron

Kräfte

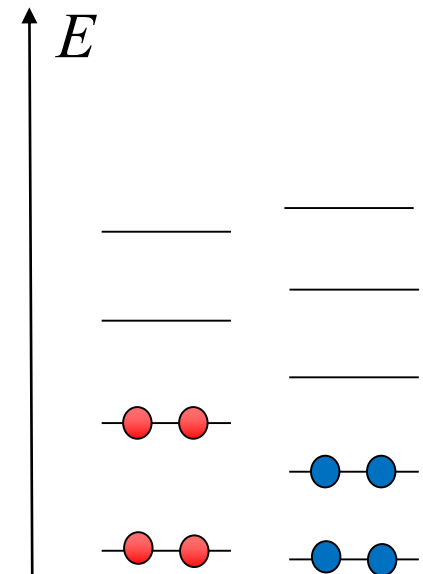
Materienwellen → Diskrete Energiewerte
(Quantenphysik)

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



Diskrete Energieniveaus

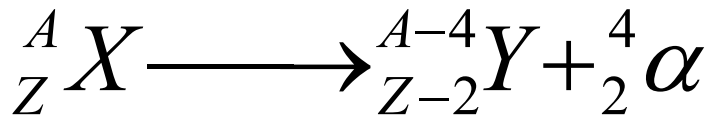
Typische Übergangsenergie-
werte: einige MeV



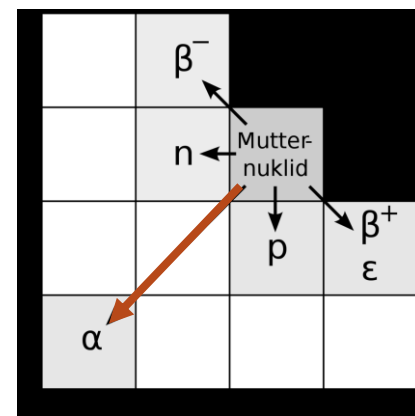
α - Zerfall

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

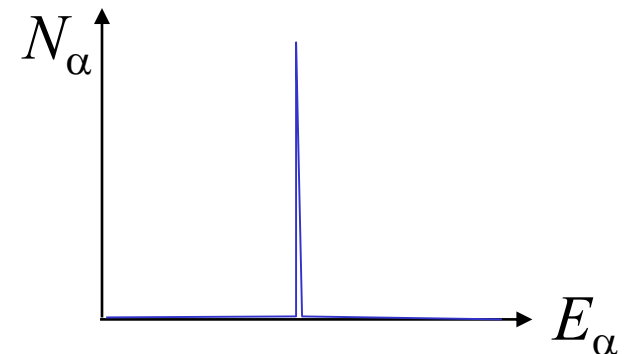
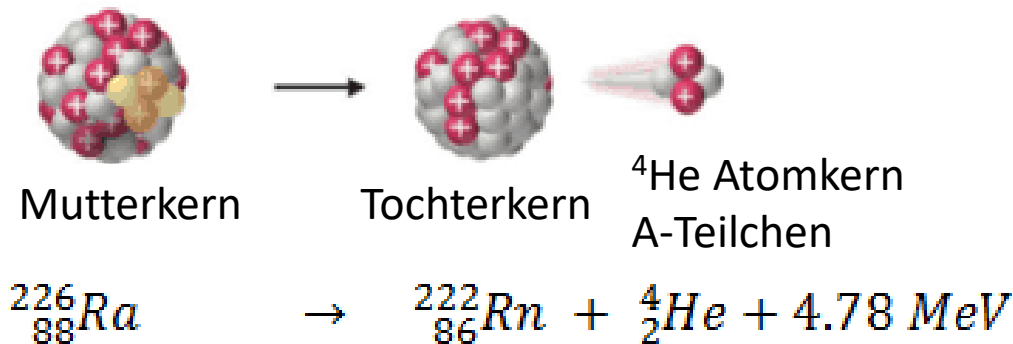
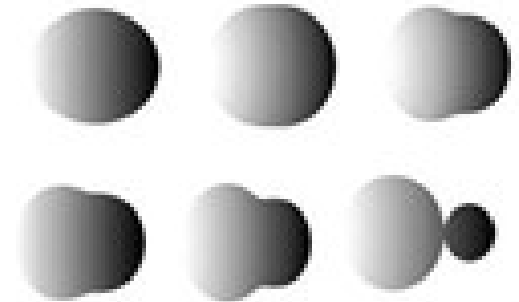
Massenzahl $\downarrow 4$ Ordnungszahl $\downarrow 2$



Wenn ein Kern zu groß ist, dann kann die Starke Wechselwirkung ($< 1\text{fm}$) es nicht immer gegen die Coulombsche Kräfte kompensieren, und ein Teil kann abbrechen.



Tröpfchenmodell



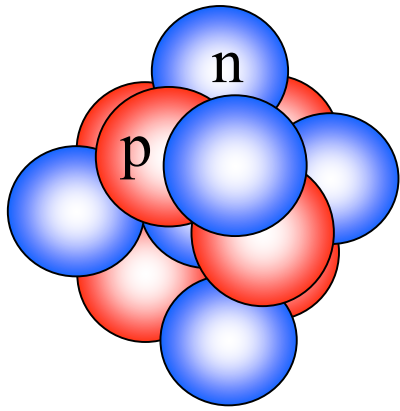
β^- - Zerfall

${}^{20}_9F$

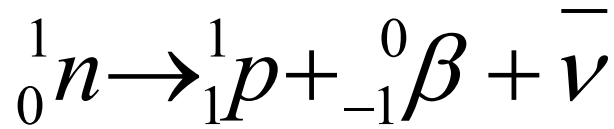
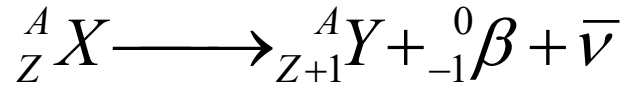
${}^{32}_{15}P$

${}^{59}_{26}Fe$

${}^{131}_{53}I$

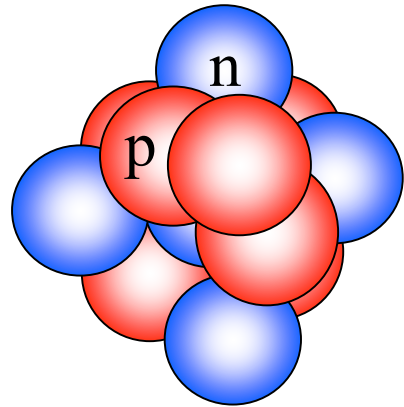
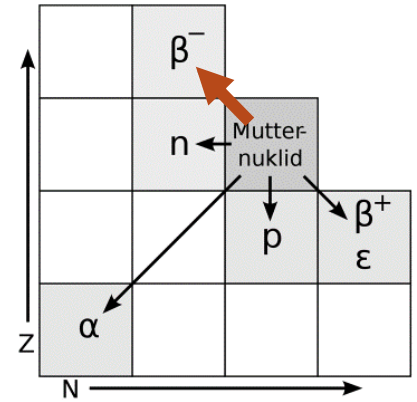


Neutronenüberschuss

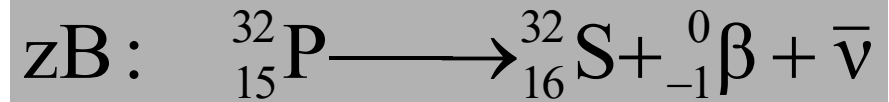
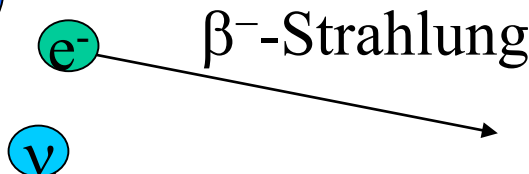


bleibt im Atomkern

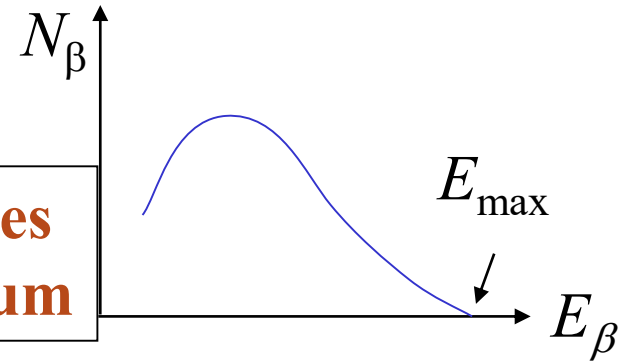
treten aus



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



**Kontinuierliches
Energiespektrum**



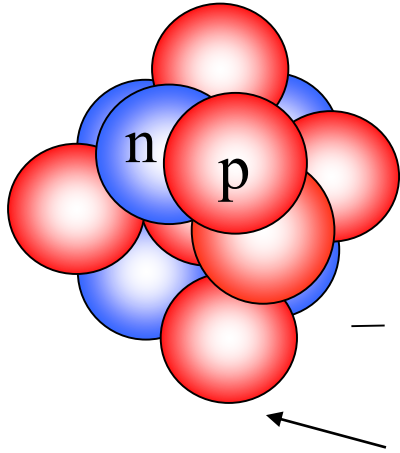
β^+ - Zerfall

${}^{11}_6\text{C}$

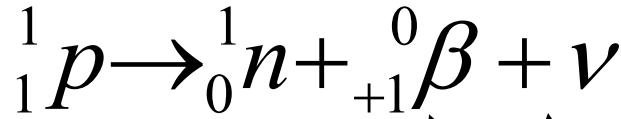
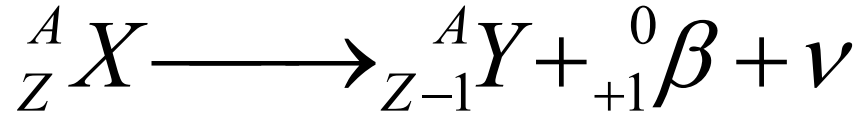
${}^{15}_8\text{O}$

${}^{18}_9\text{F}$

${}^{52}_{26}\text{Fe}$

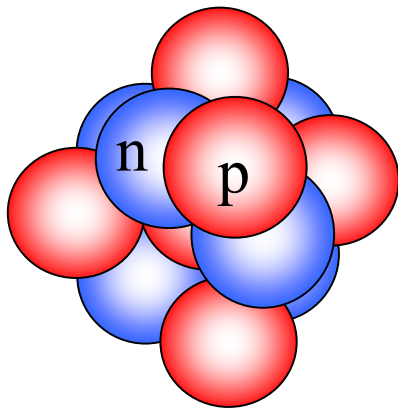
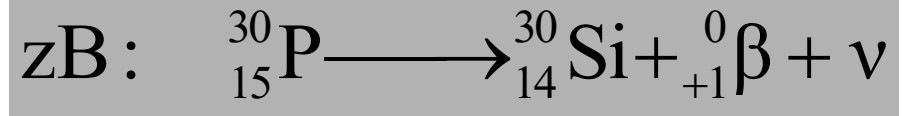
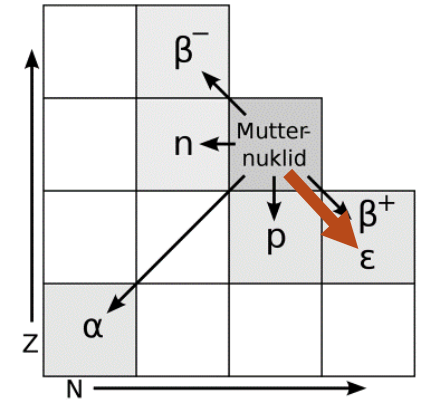


Protonenüberschuss



bleibt im Atomkern

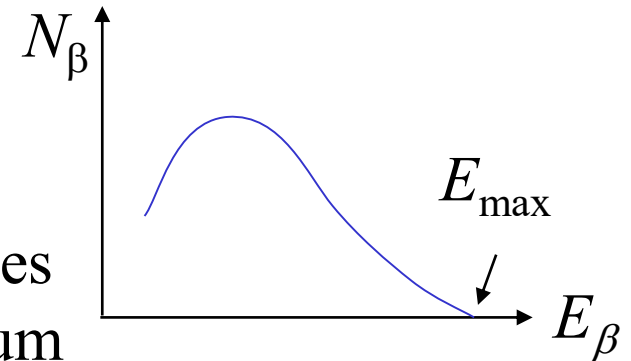
treten aus



β^+ Strahlung



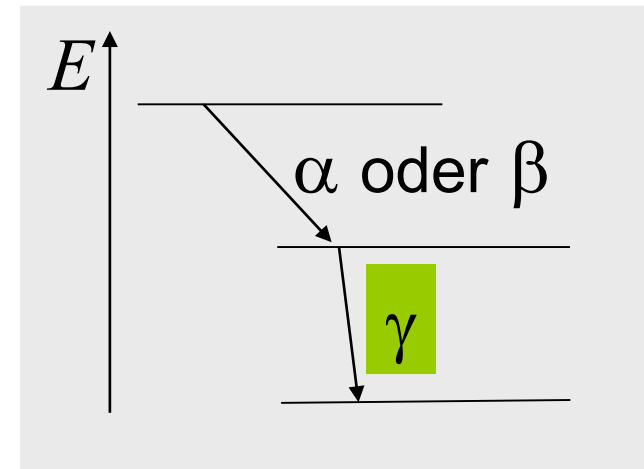
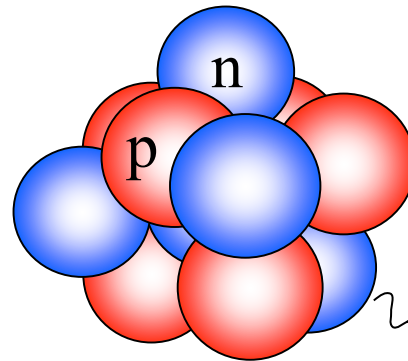
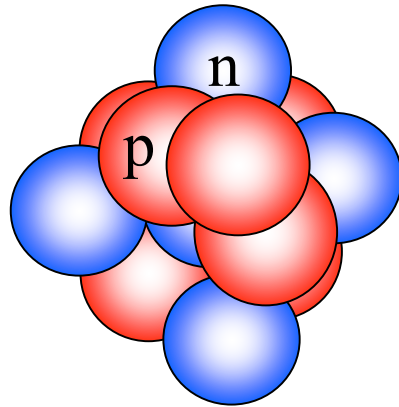
Kontinuierliches
Energiespektrum



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!

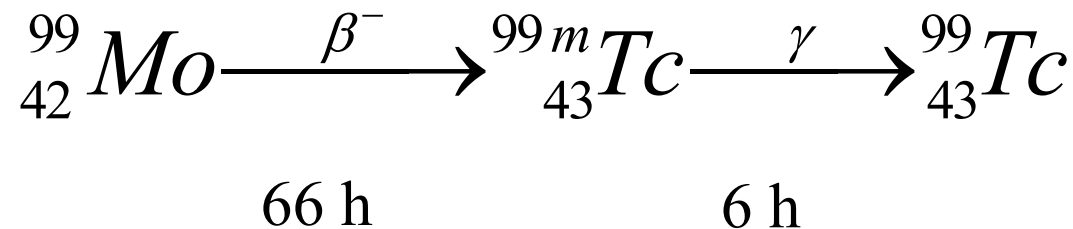
Isomere Kernumwandlung

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

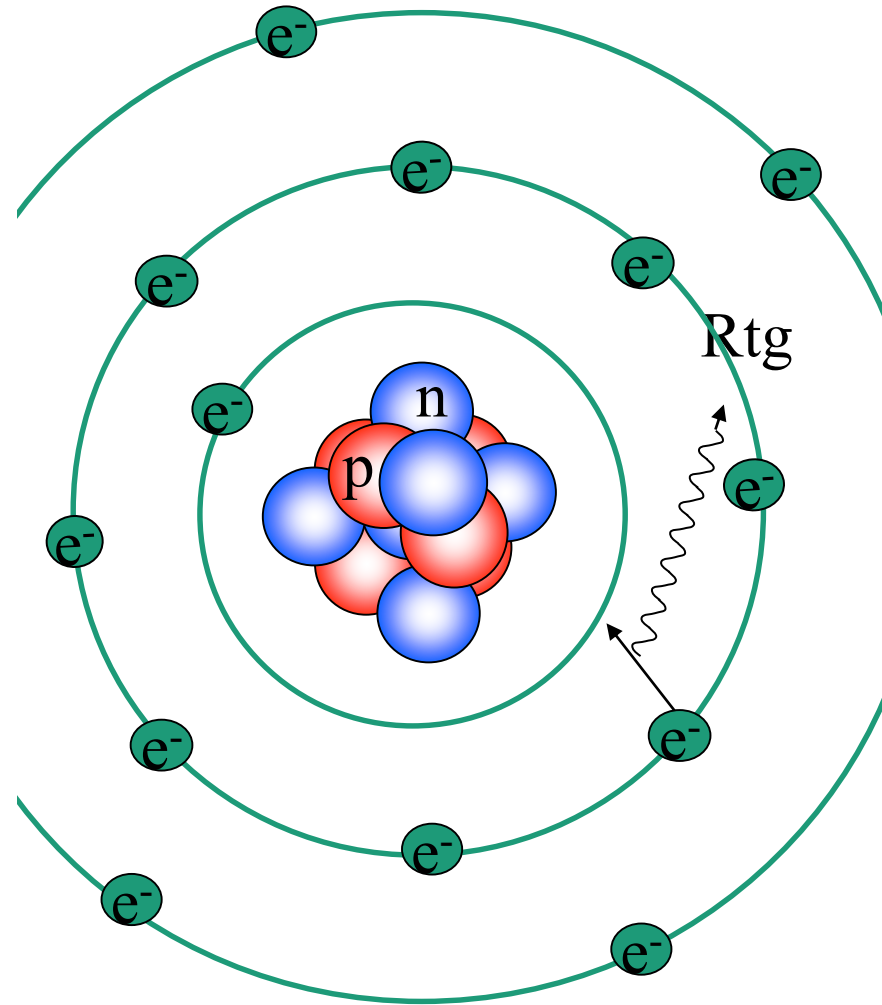
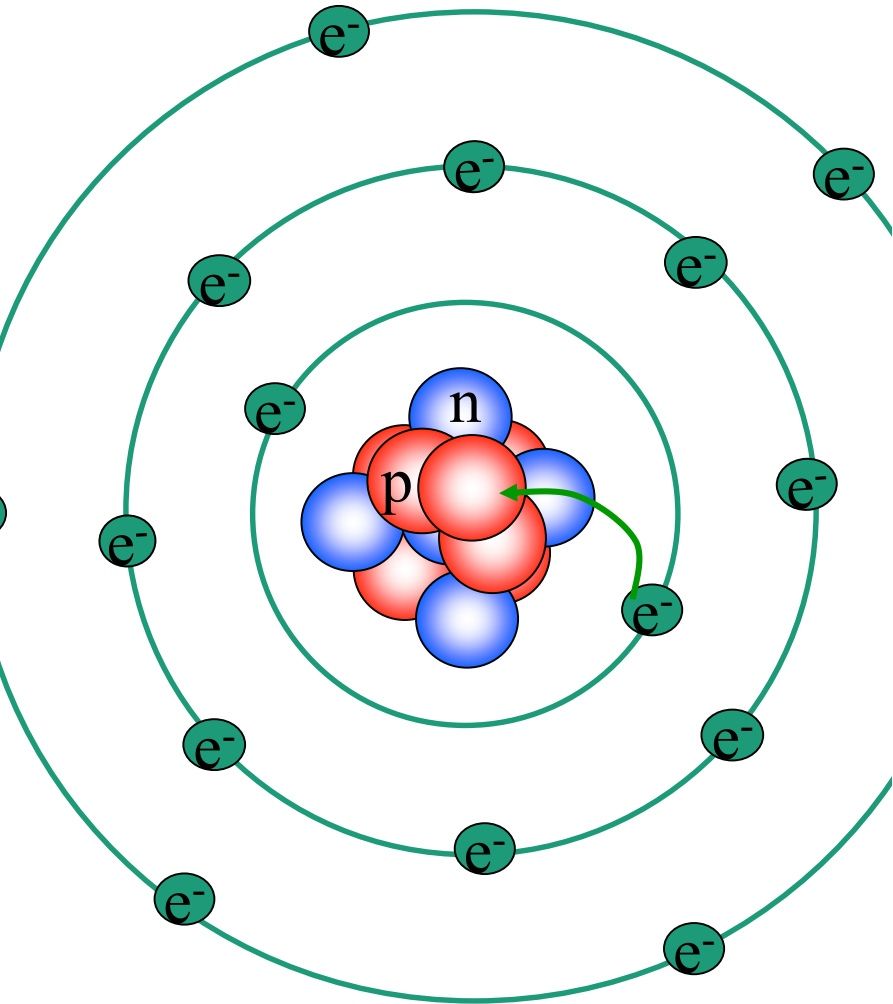
Die zwei Prozesse (α -oder β -Zerfall, γ -Strahlungsemission) können separiert werden.

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

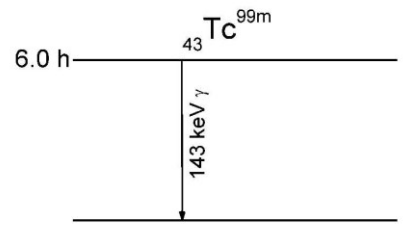
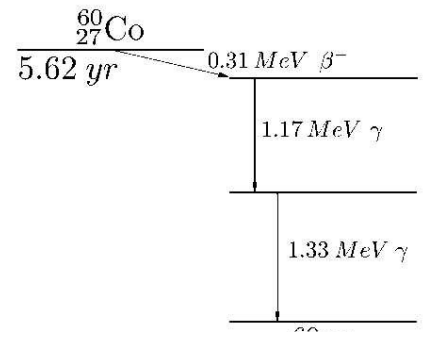
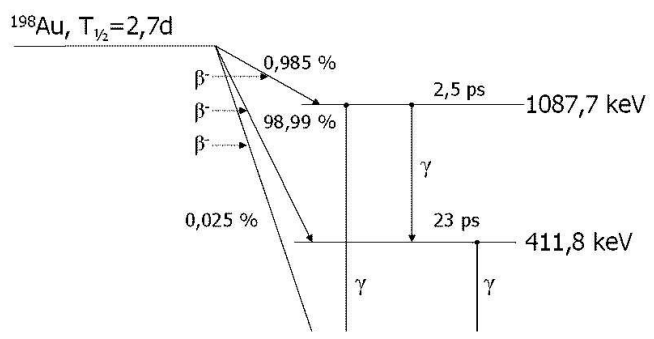
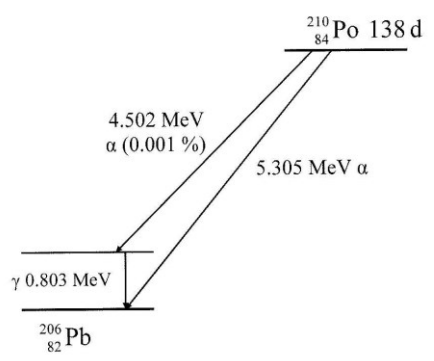
zB: ^{99m}Tc



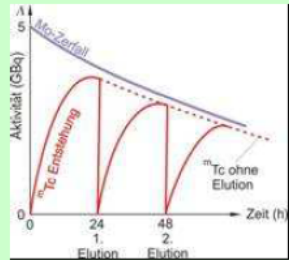
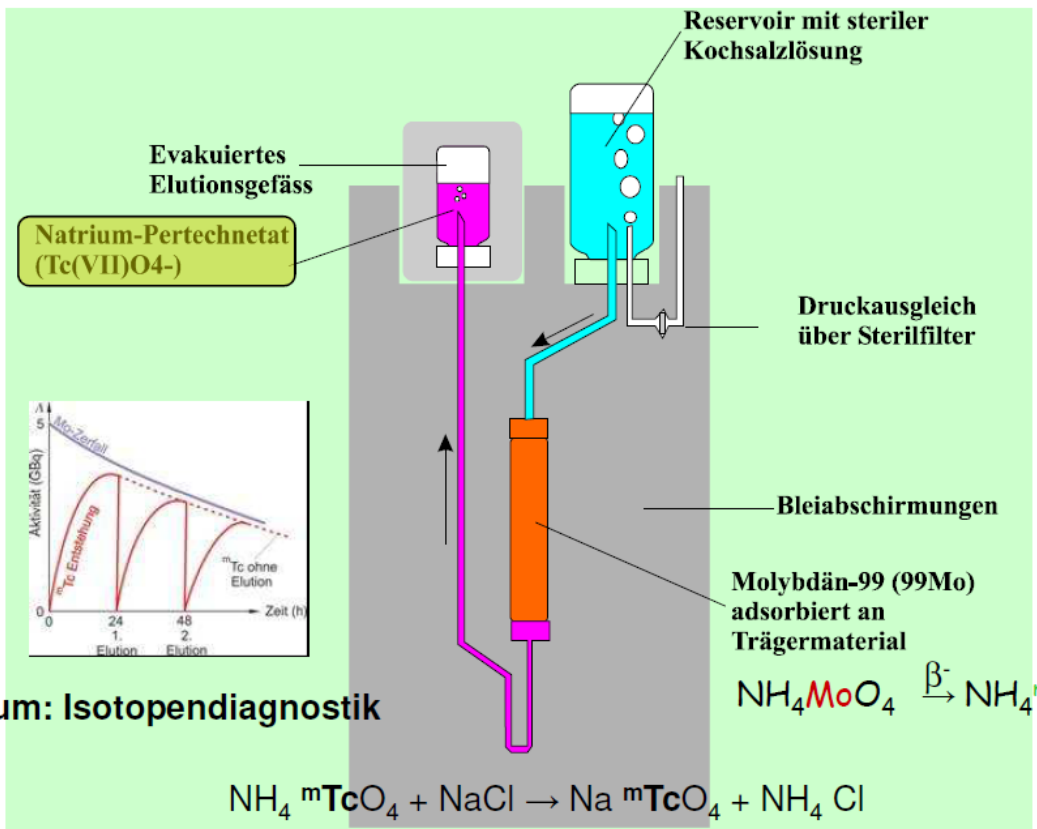
K-Einfang



Beispiele



Technetium Generator



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

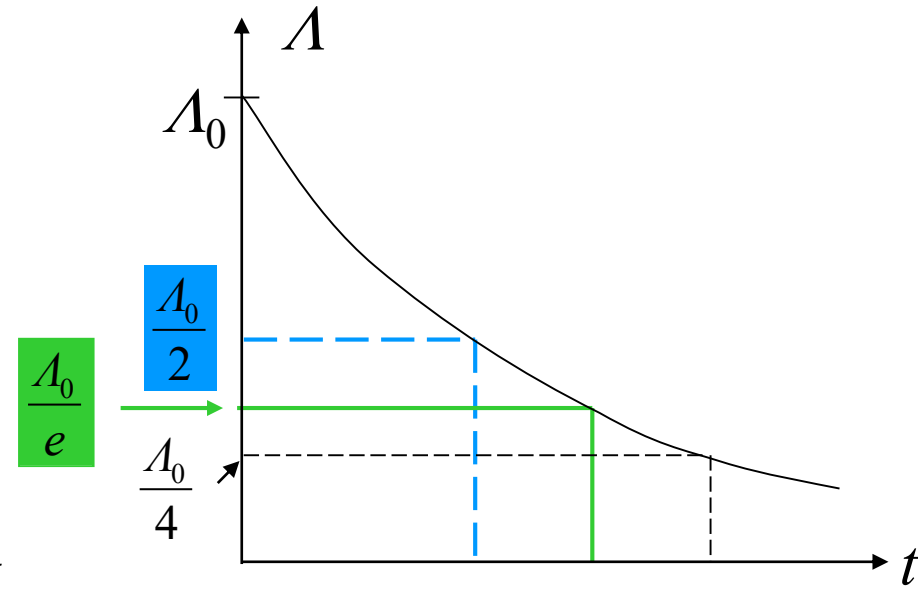
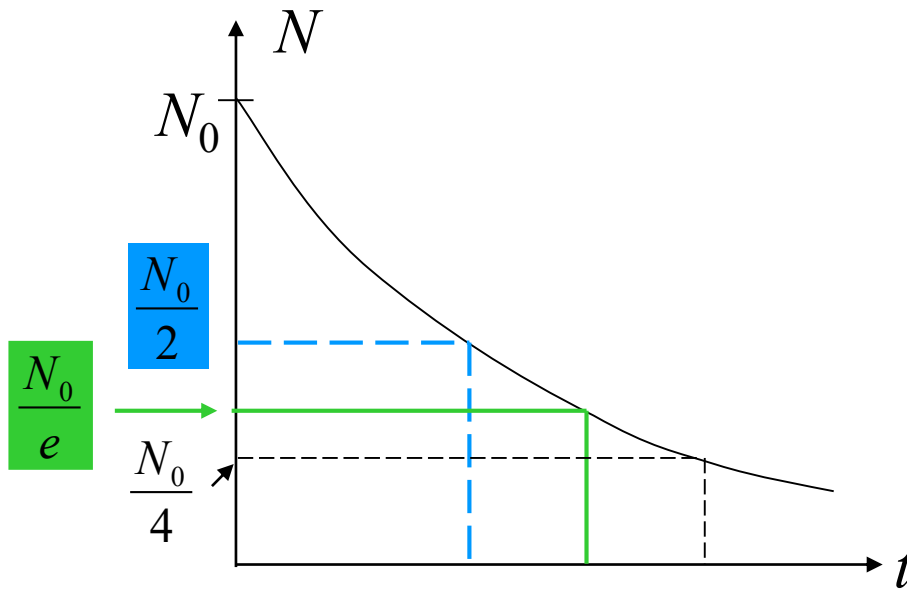
1 Bq = 1 Zerfall/sec

λ : Zerfallskonstante

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \longrightarrow N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

differentialform

integralform

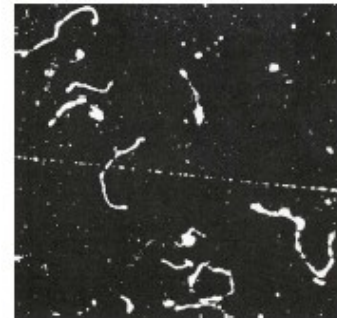
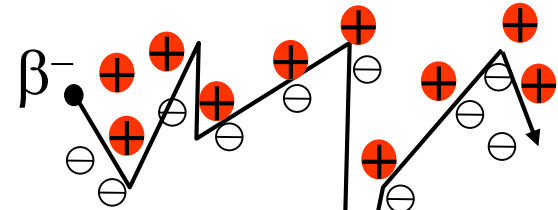
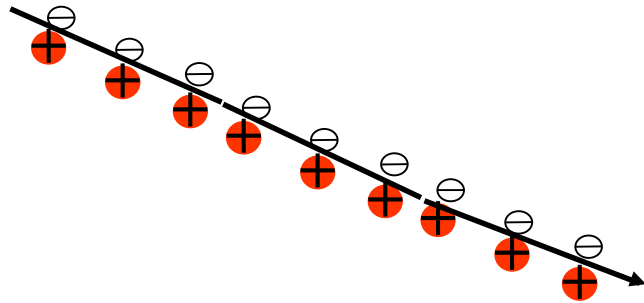


$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

Schwächung der geladenen Teilchen

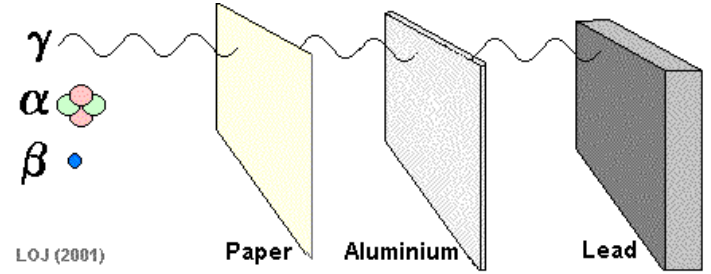
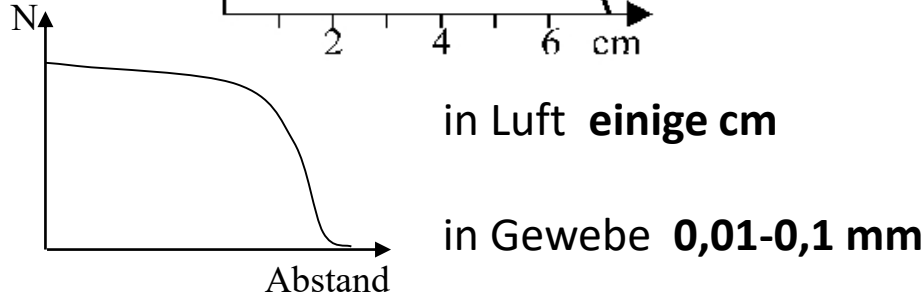
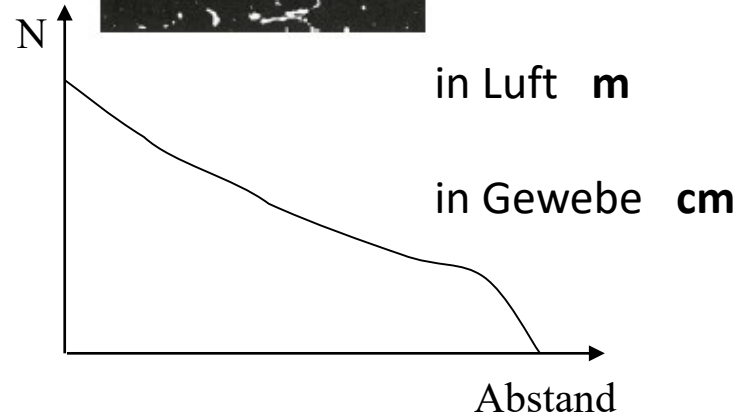
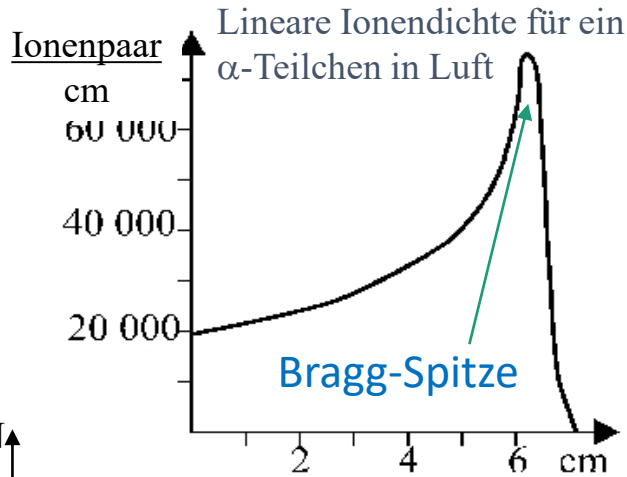
Ionisieren: ihre Energie wird auf einem bestimmten Weg verbraucht : **Reichweite**

α



Lineare Energieübertragung(LET, Linear Energy Transfer)

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

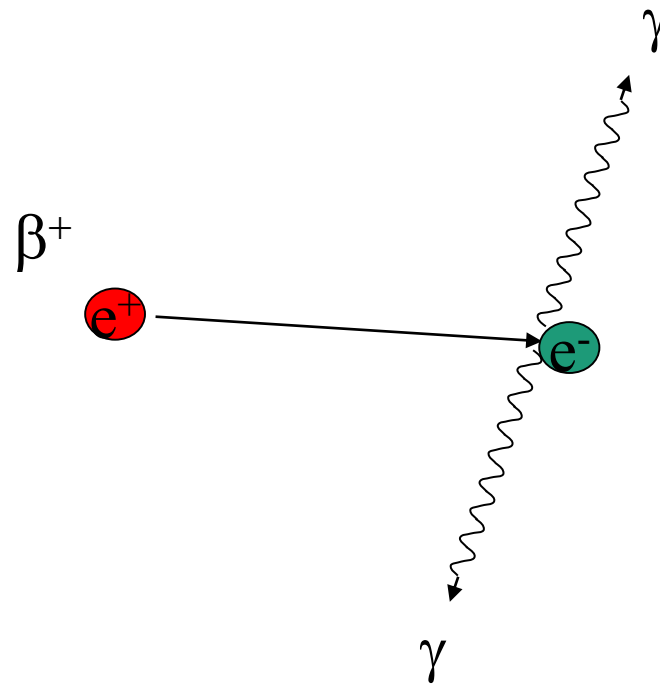


β^+ -Strahlung

$$E=mc^2$$

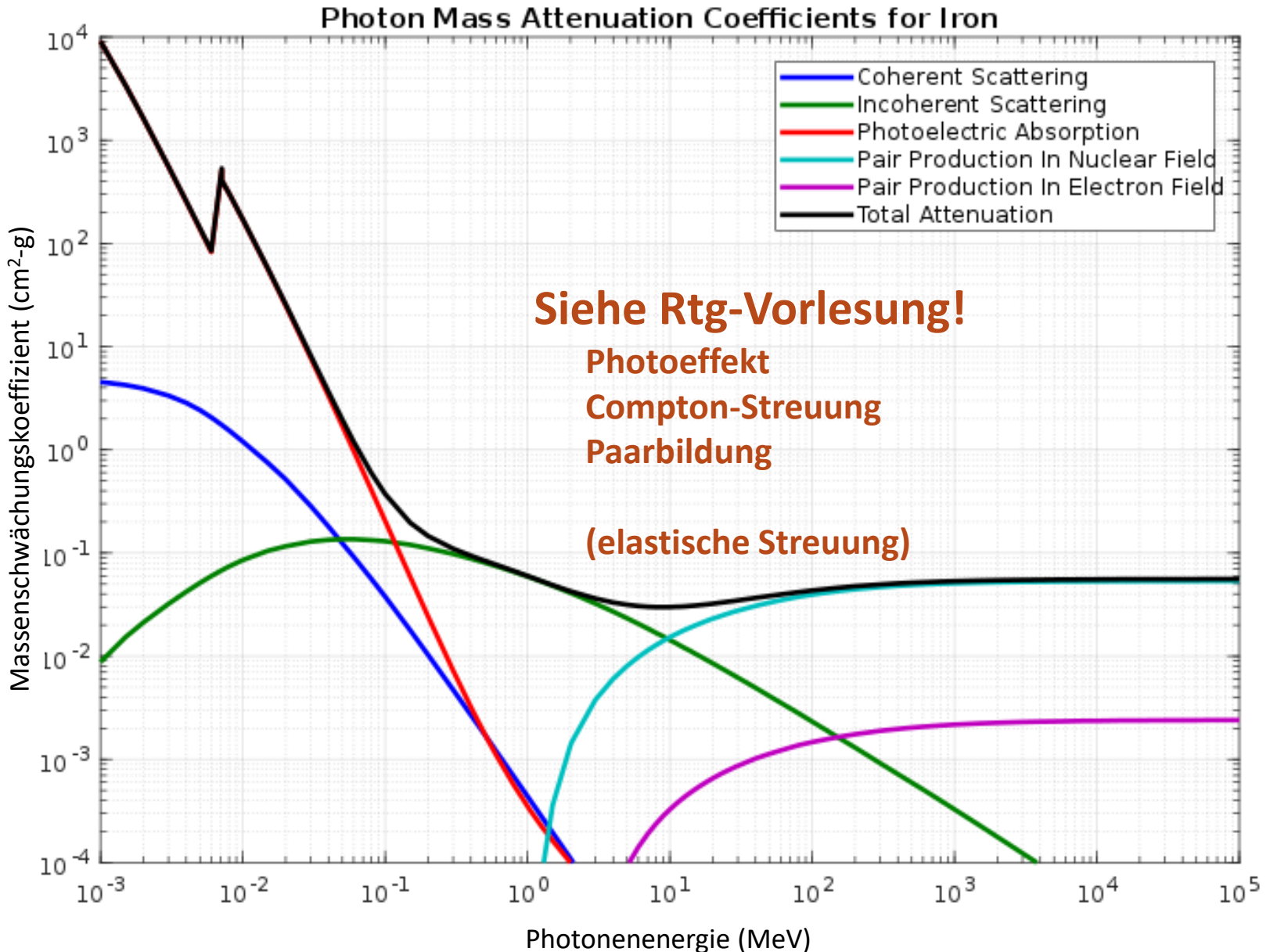
$$E_\gamma = m_e c^2 = 511\text{keV}$$

Annihilation



Medizinische Anwendung: Positron Emissionstomographie (PET)

**Schwächung der Gammastrahlung = Schwächung der Rtg-Strahlung
die Photonenenergie ist oft größer als beim diagnostischen Rtg.**



Ergänzungsmaterie, Beispiele für Lernen zu Hause

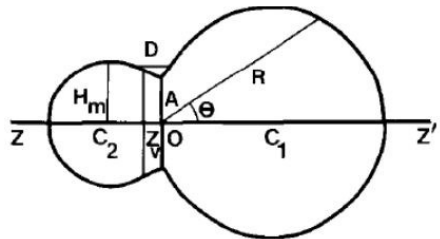
Tröpfchenmodell

The improvements were made for the conventional liquid drop model

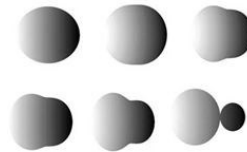
(a) Quasi-molecular shapes

The shape (in the plane $\phi = 0$) is given simply in polar coordinates by

$$R(\theta)^2 = \begin{cases} a^2 \sin^2 \theta + C_1^2 \cos^2 \theta, & \text{for } 0 \leq \theta \leq \frac{1}{2}\pi \\ a^2 \sin^2 \theta + C_2^2 \cos^2 \theta, & \text{for } \frac{1}{2}\pi \leq \theta \leq \pi, \end{cases}$$

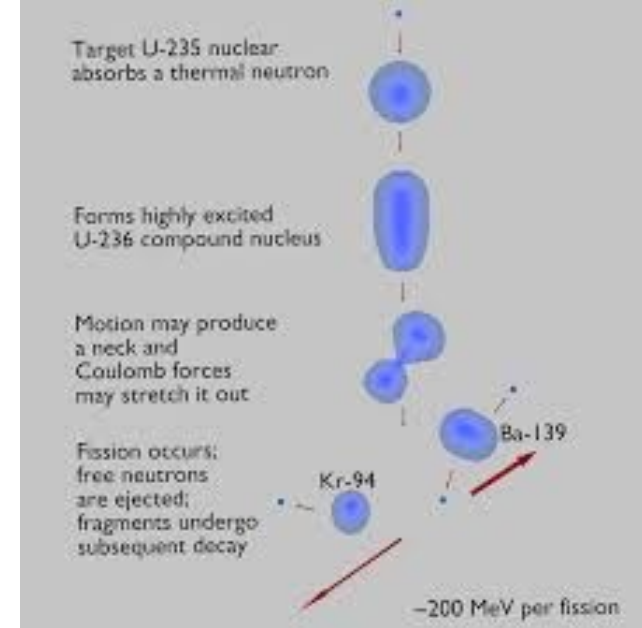


Two parameters $s_1 = a/c_1$, $s_2 = a/c_2$ are used to describe the shape evolution



J. Phys. G: Nucl. Phys. **8** (1982) L159–L164.

The most impressively feature of the quasi-molecular shapes is that it can describe the process of the shapes evolution from one body to two separated fragments in a unified way.

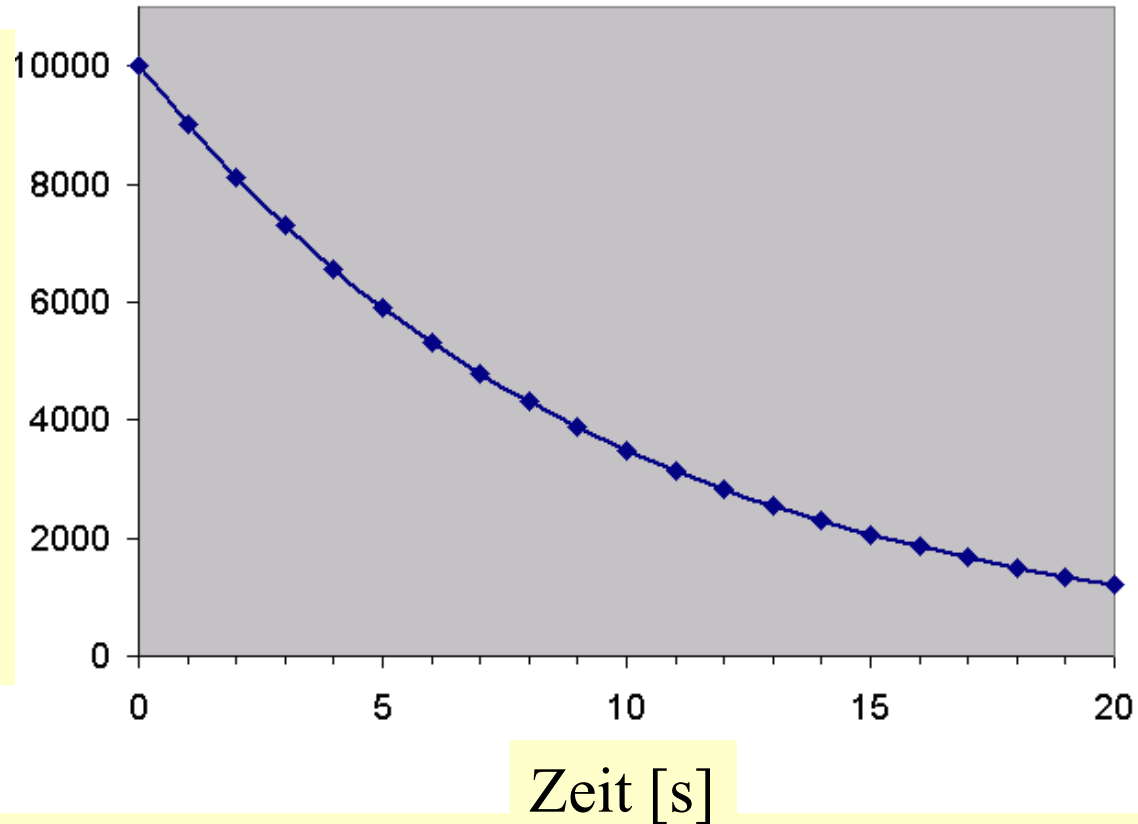


Kraft	Wirkt auf	Reichweite	Relative Stärke	Beispiel
elektromagnetische Kraft	elektrisch geladene Teilchen	nimmt mit r^{-2} ab	10^{-2}	Zusammenhalt des Atoms
starke Kraft	Nukleonen (Quarks)	10^{-15} m	1	Zusammenhalt des Atomkerns
schwache Kraft	alle Teilchen	10^{-17} m	10^{-13}	Beta-Zerfall
Gravitationskraft	alle Teilchen	nimmt mit r^{-2} ab	10^{-40}	Zusammenhalt des Planetensystems

Beispiel

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

Anz. d. zerfallsf. Kerne



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.

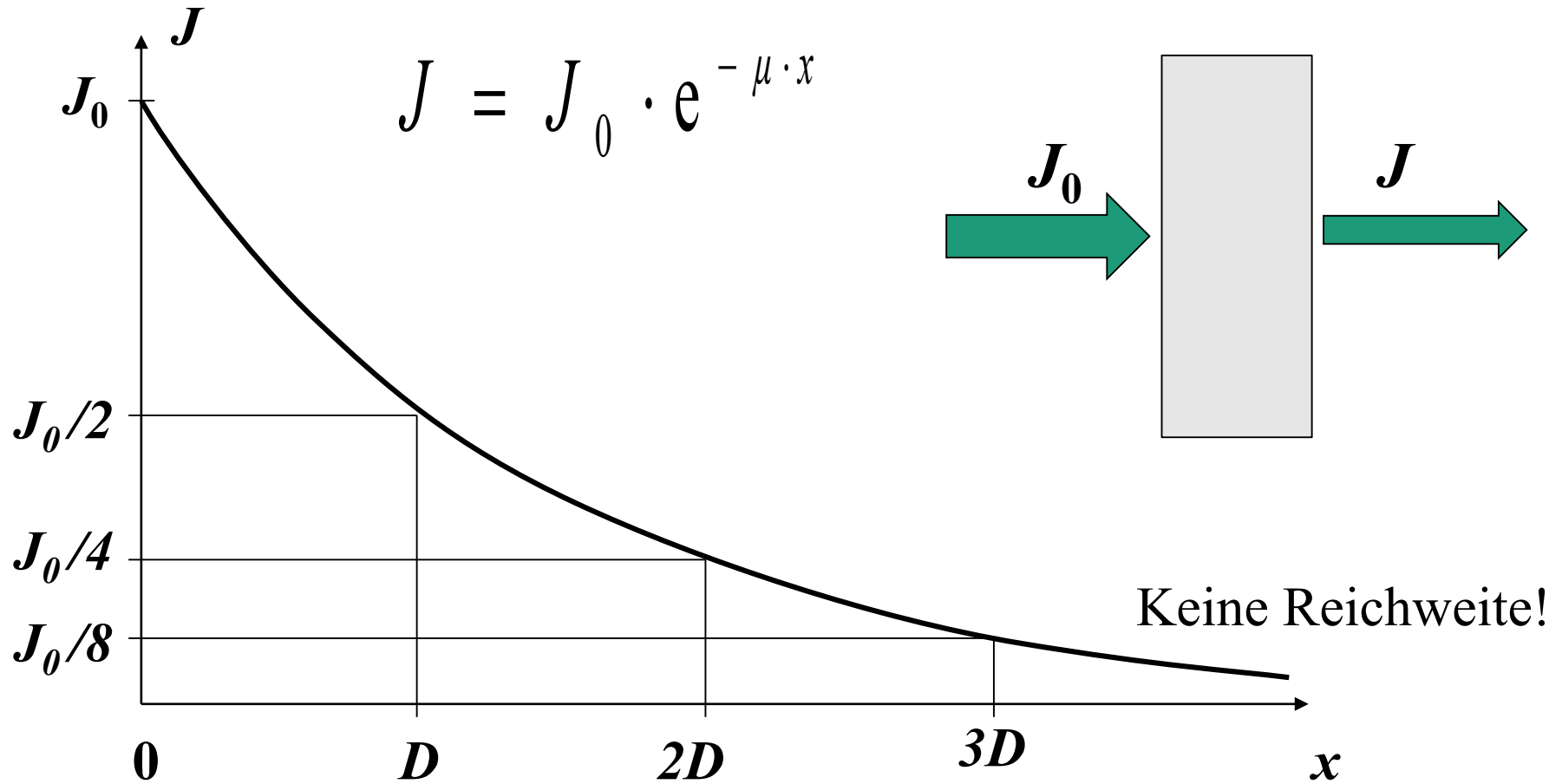
$$\alpha \text{ und } \beta: E = E_{\text{kin}}$$

je höher ist die Teilchenenergie desto größer Reichweite

Absorption von radioaktiven Strahlungen

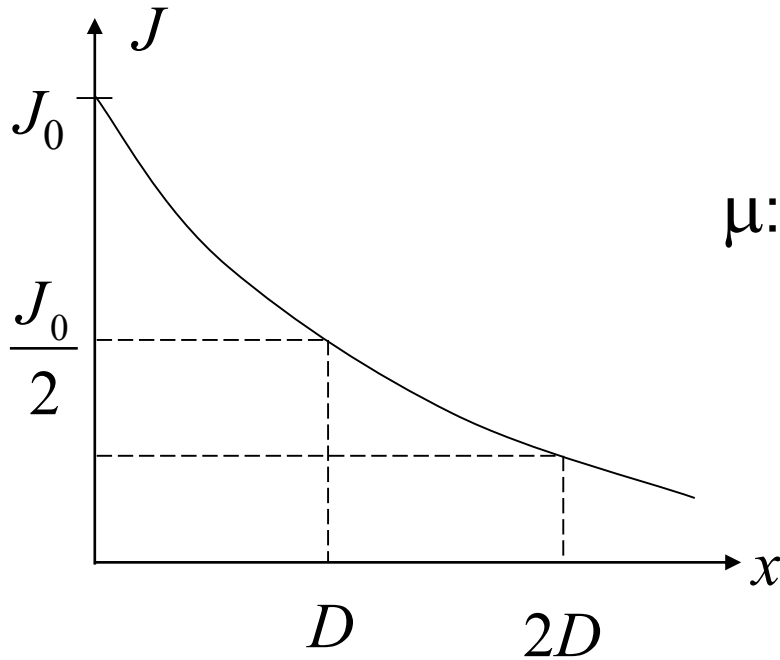
α	}	haben elektrische Ladung
β^+		
β^-		
γ	}	ungeladene Teilchen (elektromagnetische Strahlung)
Rtg		
ν		

Schwächung der γ - und Röntgenstrahlung



$$x_{1/10} = 3,33 D$$

$$x_{1/1000} = 10 D$$



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

μ : (linearer) Schwächungskoeffizient

Maßeinheit: 1/m, 1/cm

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

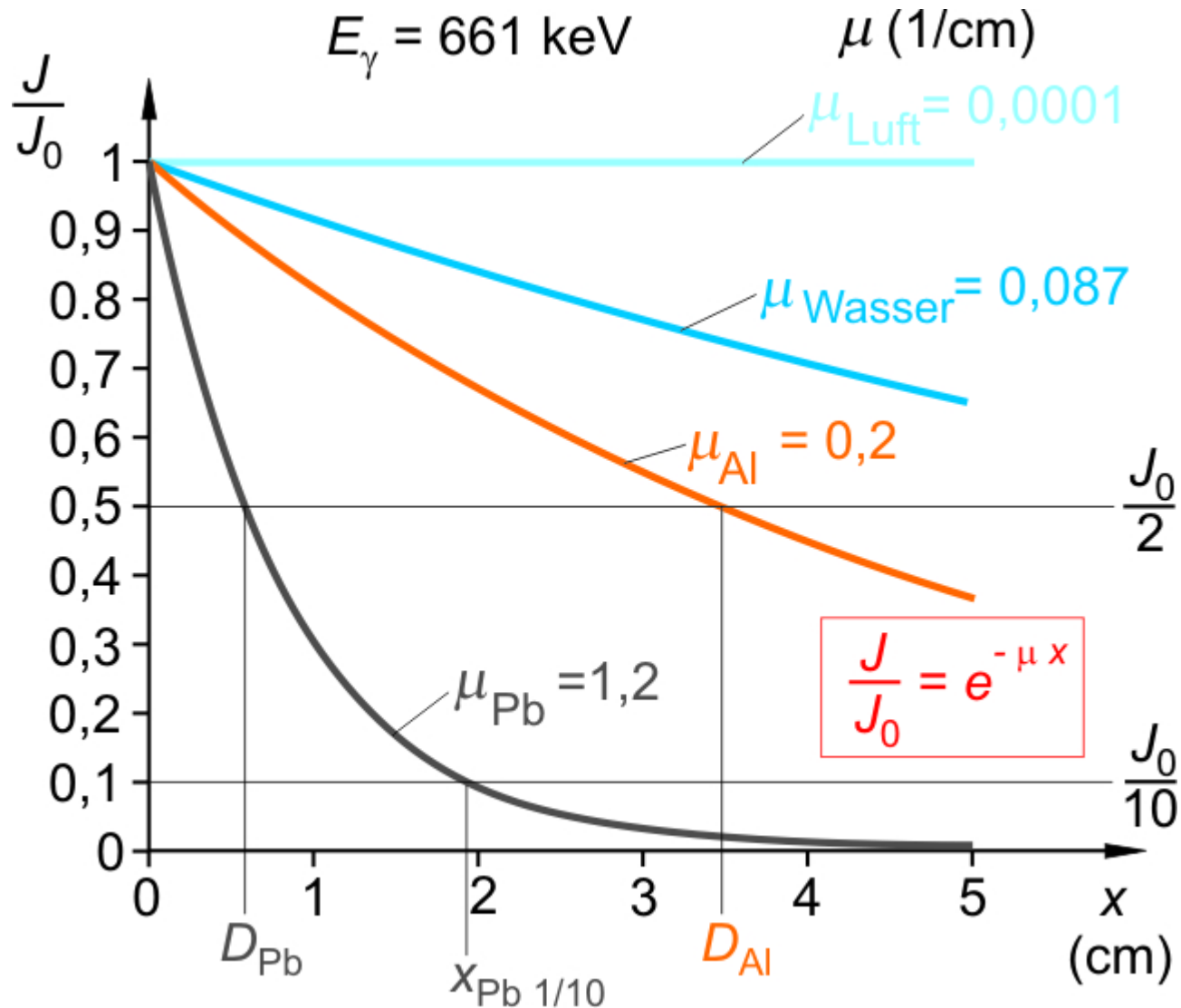
Die Intensität sinkt auf
den e-ten Teil des
Anfangswertes ($\approx 37\%$)

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

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

Maßeinheit: cm^2/g

Schwächung der γ - und Röntgenstrahlung



Massenschwächungs-
koeffizient:

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

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

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

