

# Abschwächung bzw. Koeffizient

①



$$\sigma_{\text{tot}} = \sigma_{\text{Photo}} + \sigma_{\text{Compt.}} + \sigma_{\text{Pairerz.}} + \dots$$

Wahrscheinlichkeit für eine Reaktion eines Photons in Absorber der Dicke  $dx$

$$P_{\text{tot}} = \sigma_{\text{tot}} \cdot N \cdot dx$$

$[\text{cm}^2] \quad [\text{cm}^{-3}] \quad [\text{cm}]$

mit  $N$ : Anzahl d. Targetkern

$$-dI(x) = I \sigma_{\text{tot}} N dx$$

$$\Rightarrow I(x) = I_0 e^{-\sigma N x} = I_0 e^{-x/\lambda} = I_0 e^{-\mu x}$$

wobei  $\mu$  der totale Absorptionskoeffizient  $\mu = \sigma \left( \frac{N_A}{A} \right)$

normiert auf Dicke  $\frac{\mu}{\rho} \cdot \rho$   
[g/cm<sup>2</sup>]

$$\lambda = \frac{1}{\mu/\rho} \quad [\text{g/cm}^2]$$

(2)

## Strahlungslänge

- hoch energetische Photone verlieren Energie hauptsächlich über  $e^+e^-$ -Paarzeugung
- hoch energetische Elektronen verlieren Energie dominant durch Bremsstrahlung

charakteristische "Länge" an Materie die hochenergetische Photone bzw. Elektronen durchdringen können, wird Strahlungslänge genannt (Radiation length)  $X_0$  [g/cm<sup>2</sup>] beschrieben.

Elektronen : nach  $X_0$  :  $\frac{1}{2}$

Photone :  $X_0$  :  $\frac{7}{9}$  ~~oder~~

$$\frac{1}{X_0} \approx 4\alpha \frac{8N_A}{A} z^2 r_e^2 \ln \frac{183}{z^{1/3}}$$

$$X_0 \propto \frac{1}{z^2}$$

(3)

mit Dichte  $\rho$

Avogadrozahl  $N_A$

Massenzahl  $A$

Wahrscheinlichkeit  $P$ , dass ein Photon in  $e^+e^-$ -Paar innerhalb einer Strahlungslänge erzeugt,

$$P = \sigma_{\text{Paar}} \left( \frac{8N_A}{A} \right) X_0 \approx \frac{7}{9}$$

bzw. mittlere freie Weglänge eines Photons (hohe Energie)

$$\lambda_{\text{Paar}} = \frac{9}{7} X_0$$

Qued: mittlere Entfernung ( $\lambda$ ) in der ein Elektron  $\frac{1}{e}$  seiner Energie über Bremsstrahlung verliert

experimentelle Resultate werden durch folgende  
Berechnung gut gefittet

$$X_0 \approx \frac{716,4 \text{ g cm}^{-2} \cdot \lambda}{z(z+1) \ln\left(\frac{287}{z}\right)}$$

$$\text{H}_2\text{O} : \frac{X_0}{S} = \frac{36,08}{1} \text{ cm}$$

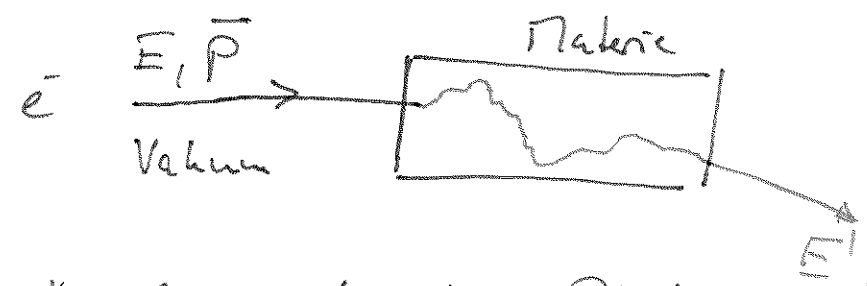
$$\text{Al} : \frac{24,01}{2,7} \text{ cm} \approx 8,9 \text{ cm}$$

$$\overline{\text{Fe}} : \frac{13,84}{7,87} \text{ cm} \approx 1,76 \text{ cm}$$

$$\text{Pb} : \frac{6,37}{11,35} \text{ cm} \approx 0,56 \text{ cm}$$

# Geladene Teilchen

$e^\pm, \mu^\pm, \pi^\pm, \text{Protonen}, \alpha, \dots$  in Materie



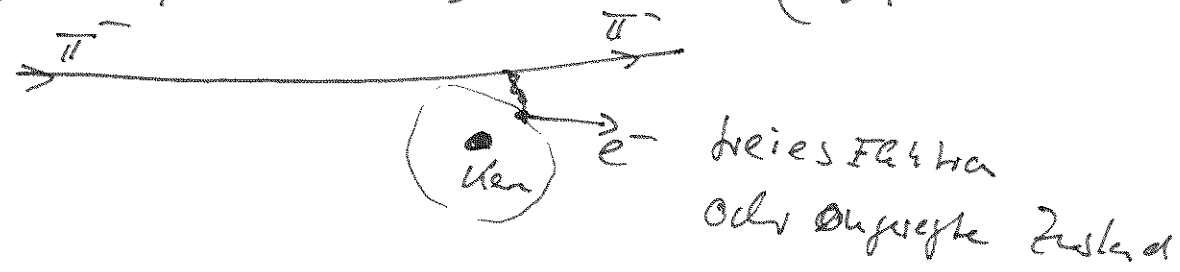
$$E' = E - \Delta E, \Delta E: \text{Energieverlust}$$

$$\vec{P}' = \vec{P} + \Delta \vec{P}, \Delta \vec{P} \approx \text{Ablenkg}$$

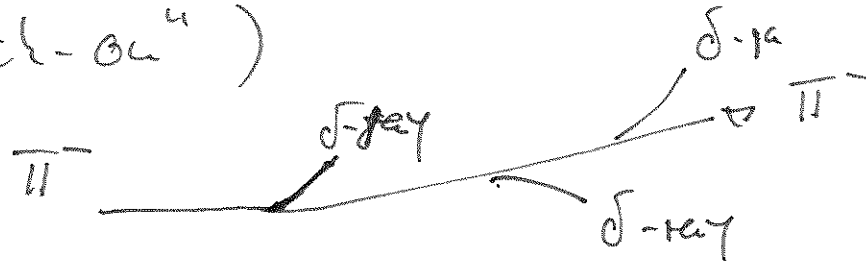
NB Anders als bei Photonen, tragen viele Kollisionen zwischen Teilchen und Materie zum Energieverlust und Ablenkung bei. Man spricht daher von "statistischen" Effekten (vgl. Photonen "stochastische" Effekten)

Grundlegende Prozesse können folgendermaßen klassifiziert werden

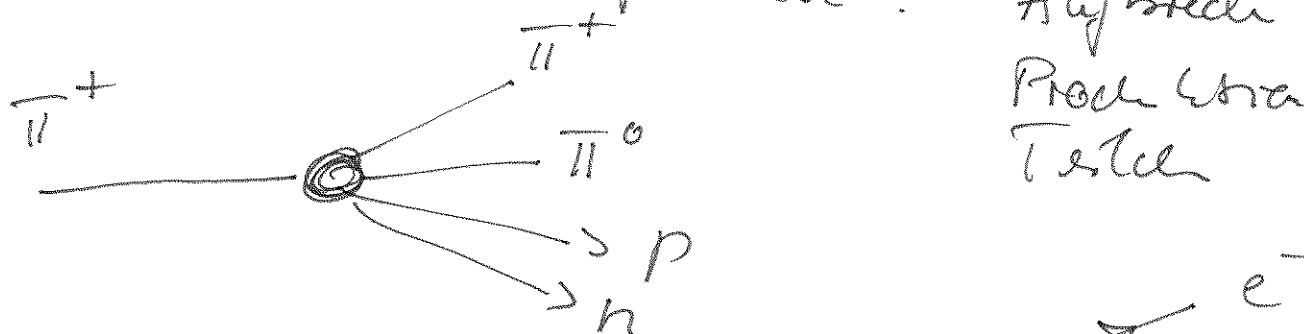
- inelastischer Stoß mit Elektronen (d.h. Ionisation bzw. Anregung)



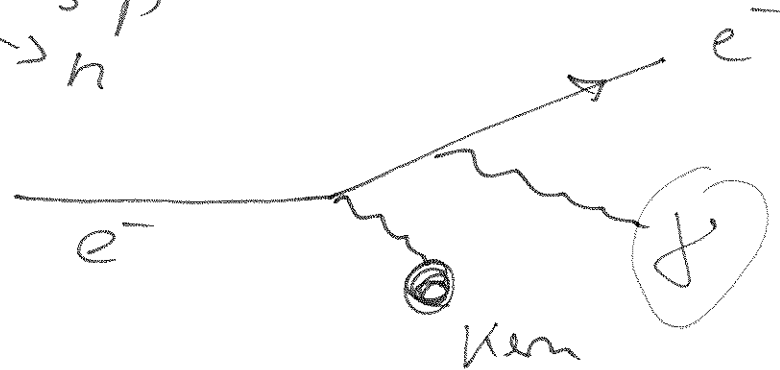
- $\delta$ -rays ( $\delta$ -Elektronen) : große Energie / Impuls-Übertrag  
("hard knock-on")



- elastische Streuung an Kernen
- Strahlungsemission : Cherenkov - bzw. Übergangsstrahlung
- inelastische Kernprozesse : Aufbruch des Kerns mit Produkten von sekundären Teilchen

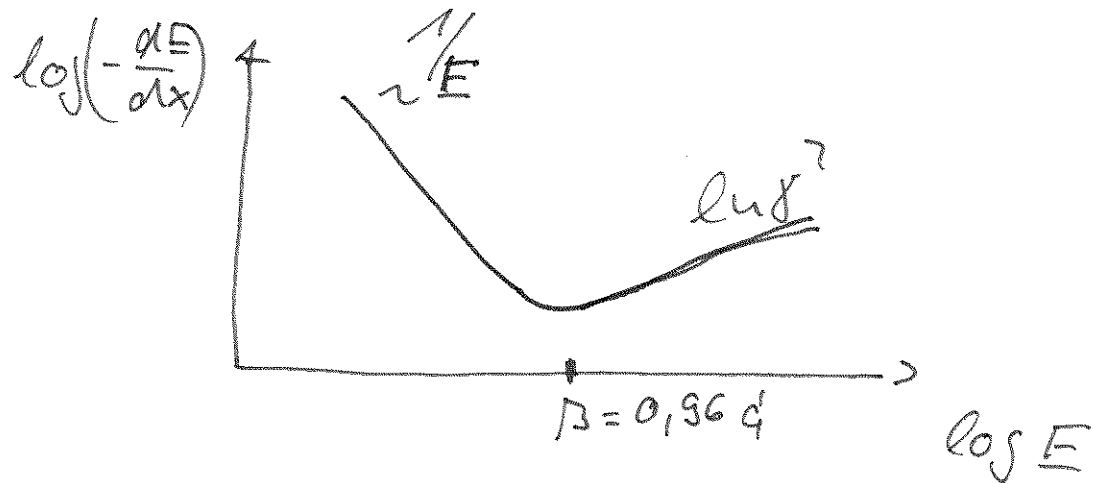


- Bremsstrahlung :



# Bethe - Block (siehe Folien)

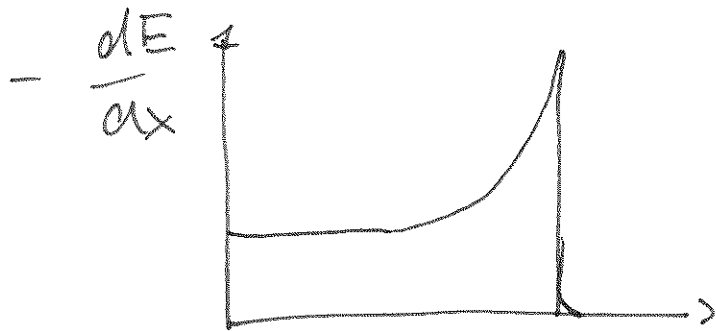
- bei nicht relativistischer Energie ist  $\frac{dE}{dx} \propto \frac{1}{\beta^2} \propto \frac{1}{E}$
- Abnahme von  $\frac{dE}{dx}$  mit zunehmender Geschwindigkeit bis  $v \approx 0,96c \Rightarrow$  Minimum  
 $E \approx 3 MeV$  ;  $\left(\frac{dE}{dx}\right)_{min} \approx 1 - 1,5 MeV cm^2 g^{-1}$
- Schwache Abhängigkeit von Material  $\frac{Z}{A} \approx 0,5$
- für  $v > 0,96c \Rightarrow$  Zunahme  $\frac{dE}{dx} \propto \ln \gamma^2$



# Bragg-Kurve

(Folie)

8



x

Maximaler Energieverlust

am Ende der Spur.

Anwendung in der Strahlentherapie

( $^{12}\text{C}^{12+}$ ) und Materialforschung

Halbleitertechnik (Implantierung)