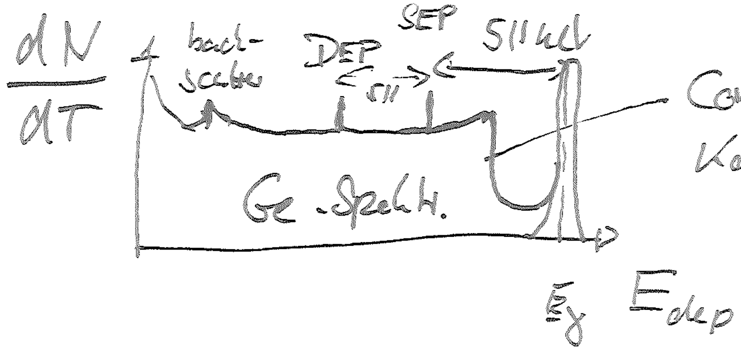
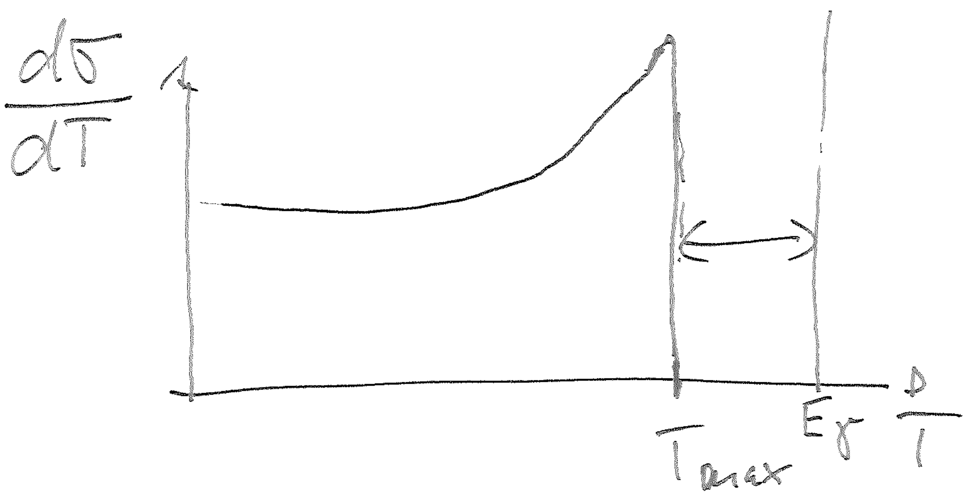
Compton Streuung

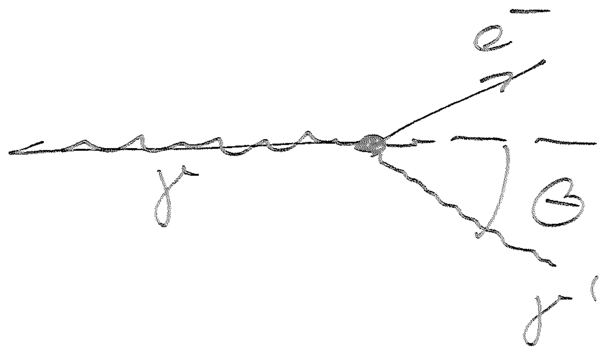


$$E_\gamma' = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{E_\gamma}{m_e c^2}(1-\cos\Theta)}$$

„backscattering": $\gamma \rightarrow$, $\gamma' \leftarrow$

$$T_{e\,max} = E_\gamma - E_\gamma(\Theta=\pi) = \frac{2E_\gamma^2}{2E_\gamma + m_e c^2}$$



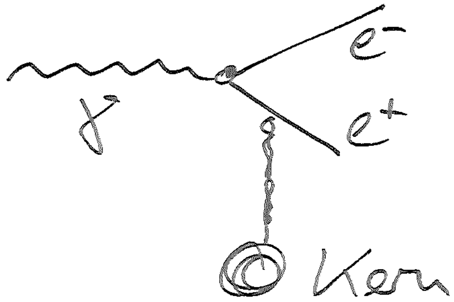


WQ wird mittels QED berechnet „Klein-Nishina Gleichung"

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{r_e^2}{2}\,\frac{1}{[1+\gamma(1-\cos\Theta)]^2}\left(1+\cos^2\Theta + \frac{\gamma^2(1-\cos\Theta)^2}{1+\gamma(1-\cos\Theta)}\right)$$

$\gamma = E_\gamma / m_e c^2$, $\quad r_e = \frac{e^2}{m_e c^2} = 2.8 \cdot 10^{-15}\,m$

d) Paarerzeugung $E_\gamma > 2 m_e c^2 \simeq 1{,}02$ MeV

- dominiert für große Energien
- 

nur in Gegenwart eines Stoßpartners möglich, da im System Photon-Teilchenpaar die Erhaltung von Energie und Impuls nicht gewährleistet ist.

für hohe Energien

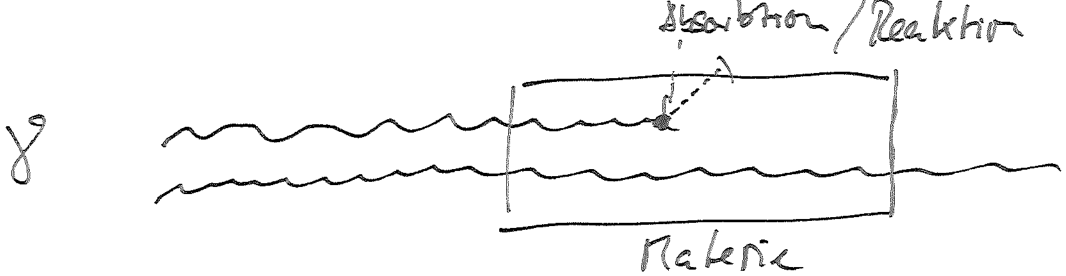
$$\sigma_{Paar} \approx (4 \alpha r_e^2)\, Z^2 \left(\frac{7}{9} \ln \frac{183}{Z^{1/3}} \right)$$

e) Kernphotoeffekt

selten im Vergl. mit anderen Photoreaktionen.
Photon wird vom Kern absorbiert und Neutronen werden nach Reaktion emittiert (γ, n)-Prozess

Vgl. Riesenresonanzen (kollektive Kernanregungen) bei ~ 20 MeV

Abschwächlänge und Koeffizient



$$\sigma_{tot} = \sigma_{photo} + \sigma_{compton} + \sigma_{paar} \; (+ \ldots)$$

Wahrscheinlichkeit für eine Reaktion eines Photons in Absorberschicht der Dicke dx

$$P_{tot} = \sigma_{tot}\,[cm^2] \cdot N\,[cm^{-3}] \cdot dx \;[cm]$$

N: Anzahl d. Targetteilchen

$$-dJ(x) = J(x)\,\sigma_{tot}\,N\,dx$$

$$\Rightarrow \quad J(x) = J_0\, e^{-\sigma N x} = J_0\, e^{-\frac{x}{\lambda_{abs}}} = J_0\, e^{-\mu x}$$

wobei μ der totale Absorptionskoeffizient

$$\mu = \sigma_{tot} \left(\frac{\rho N_A}{A} \right)$$

Konversionslänge (Paarerzeugung), (Strahlungslänge Radiation length)

$$\frac{1}{X_0} \approx \frac{\rho N_A}{A} \, 4 \alpha Z^2 r_e^2 \ln \frac{183}{Z^{1/3}}$$

Wahrscheinlichkeit P, dass Photon (mit hoher Energie) ein $e^+ e^-$-Paar

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

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

auch
X_0 : mittlere Entfernung (λ) in der ein Elektron
1/e seiner Energie verliert

experimentellen Resultate werden durch

$$\underline{X_0} \approx \frac{716{,}4 \ \mathrm{g\,cm^{-2}} \ A}{Z(Z+1)\ \ln\left(287/\sqrt{Z}\right)}$$

parametrisiert

$X_0(H_2O) \approx 36$ cm
$X_0(Pb) \approx 0{,}56$ cm
$X_0(Fe) \approx 1{,}76$ cm

Geladene Teilchen

$e^{\pm}$, $\mu^{\pm}$, $\pi^{\pm}$, Protonen, α-Teilchen ... WW in Materie

EM WW mit Elektronen u. Kerne (über Coulomb Streuung)

E, E' : Eintrittsenergie bzw. Austrittsenergie

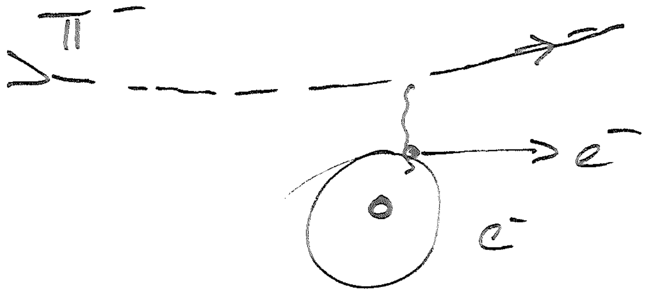
$\vec{p}$, $\vec{p}\,'$: " impuls " " impuls

$E' = E - \Delta E$, ΔE = Energieverlust

$\Delta\vec{p} = \vec{p} - \vec{p}\,'$ (Ablenkung)

NB. viele WW (Kollision) zw. Teilchen und Materie führen zu Energieverlust und Ablenkung.

$\Rightarrow$ Statistische Effekte (Photonen: stochastische Effekte) grundlegende Prozesse:

a) 

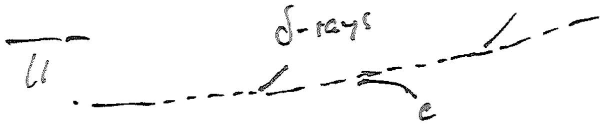
freies Elektron
oder angeregter
Zustand

inelastischer Stoß mit atomare Elektronen (Ionisation bzw. Anregung)

W_i: notwendige Energie, um ein Elektron-Ion Paar zu erzeugen

Bsp. Ar: $W_i \approx 25\,\mathrm{eV}$ (J) $\Rightarrow$ $\Delta E \approx 1\,\mathrm{MeV}$
$\Rightarrow$ 40.000 freie Elektron-Ion Paare

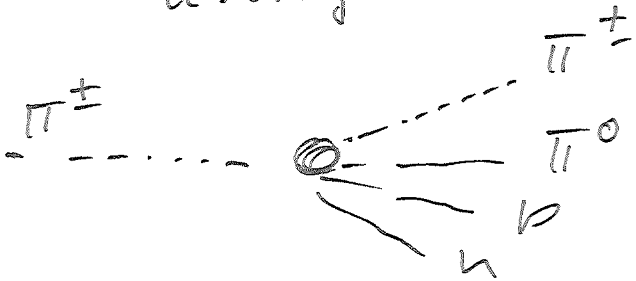
b) δ-rays (δ-Elektronen)



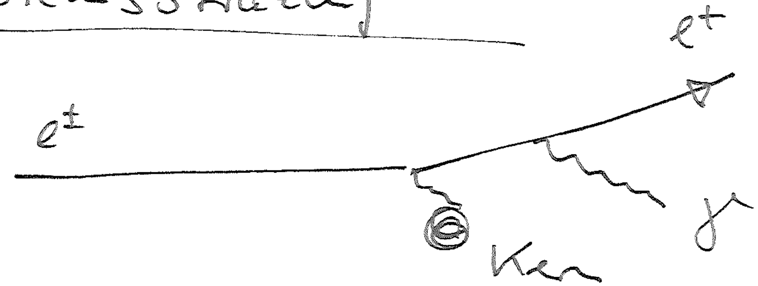
"Knock-on"
großer Energie/Impuls Übertrag

c) elast. Streuung an Kernen

d) inelast " "



e) Bremsstrahlung



f) Strahlungsemission: Cherenkov- oder Übergangsstrahlung

Energieverlust geladener Teilchen wird durch Bethe-Gleichung Formel beschrieben

$$\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi N_A z^2 \alpha^2}{m v^2} \frac{Z}{A} \left\{ \ln\left[\frac{2mv^2}{I(1-\beta^2)} \right] - \beta^2 \right\}$$

z, v : Ladung (in e) und Geschwindigkeit des Teilchens

$\beta = v/c$, $\gamma = \frac{E}{Mc^2} = (1-\beta^2)^{-1/2}$

N_A : Avogadro'sche Zahl

Z, A : Ladungs u. Massenzahl der Atome des Mediums

x : Weglänge im Medium $\left(\frac{g}{cm^2}\right)$

I : effektives Ionisationspotential gemittelt über alle Elektronen ($I \approx 10 \cdot Z$ eV)

Diskussion

- bei nicht-relativist. Energien ist $\frac{dE}{dx} \propto \frac{1}{\beta} \propto \frac{1}{E}$
- Abnahme $\frac{dE}{dx}$ mit zunehmender Geschwindigkeit bis $v \approx 0{,}96\,c \Rightarrow$ Minimum ; $E \simeq 3\,Mc^2$

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_{min} \approx 1 - 1{,}5\ \mathrm{MeV\,cm^2\,g^{-1}}$$

- für $v > 0{,}96\,c$ Zunahme $\propto \ln \gamma^2$ $\left(\frac{1}{1-\beta^2}\right)$