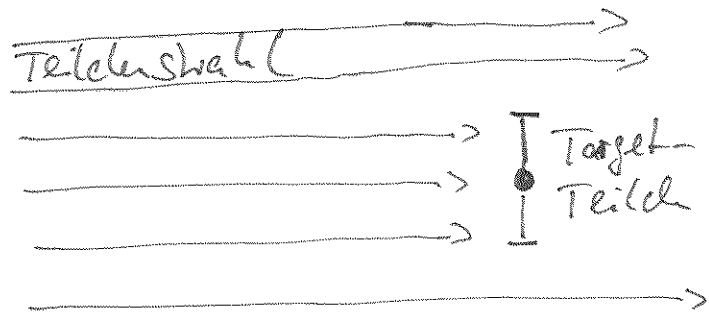


Wechselwirkung von Teilchen und EM Strahlung mit Materie

(1)

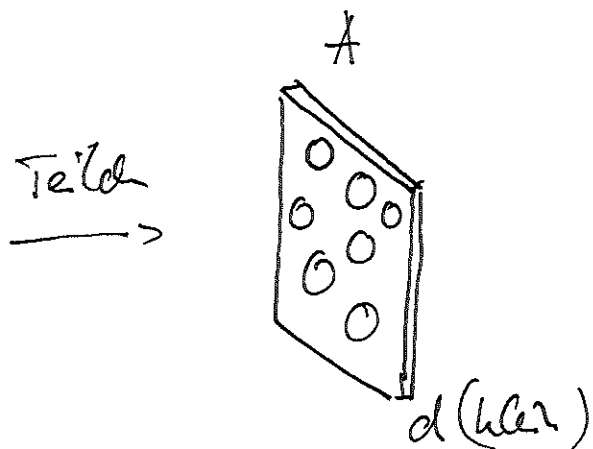
Wirkungsquerschnitt:



Definition: Jedem Targetpartikel wird eine Fläche σ als gedachte Zielscheibe zugeordnet. Deren Größe wird so gewählt, daß die Reaktion stattfindet, wenn ein zufälliges Teilchen die Scheibe trifft.

„Wirksame“ Querschnittsfläche eines Targetpartikels

σ [cm²] ; Einheit 1 barn = 10⁻²⁴ cm²
↑
Scheibe



N_t : Anzahl d. Targetpartikel

A : Fläche

d : Dicke ; hier sehr klein gewählt
Abdeckung von d. Restigheit

Wahrscheinlichkeit für Reaktion eines Teilchens in Target

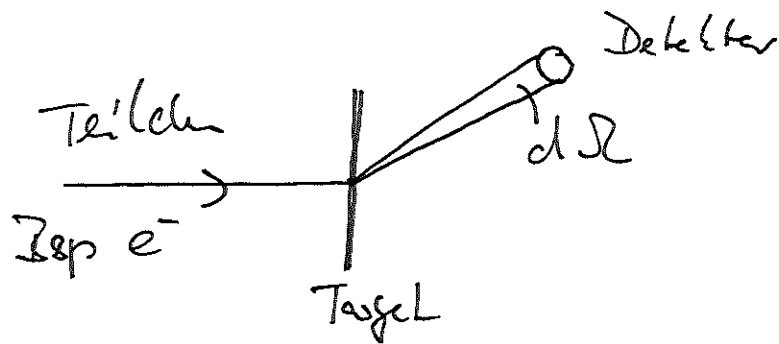
(2)

$$p = \frac{N_t}{A} \sigma$$

Bsp: Teilchenstrom \dot{N}_e

Reaktionsrate $R = \dot{N} \cdot p = \dot{N} \frac{N_t}{A} \sigma$

$$\Rightarrow \sigma = \frac{\text{Zahl d. Reaktionen pro Zeit } [\frac{1}{s}]}{\text{Strahlteilchen pro Zeit } [\frac{1}{s}] \cdot \text{Streuzentren pro Fläche } [\text{cm}^2]}$$



$$\frac{dR(\Omega)}{d\Omega} = \dot{N}_e \frac{N_t}{A} \frac{d\sigma}{d\Omega}$$

$$\frac{dR}{d\Omega} \frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{(\text{II})}{\text{pro Raumwinkel} - (\text{II})}$$

Es gilt: $\int_{\Omega} \frac{dR}{d\Omega} d\Omega = R$

σ : totaler WQ

$$\int_{\Omega} \frac{d\sigma}{d\Omega} d\Omega = \sigma$$

$\frac{d\sigma}{d\Omega}$: differentieller WQ

WQ hängt von Teilchenart, Targetmaterial und Wechselwirkung ab
WQ ist im Allgemeinen abhängig von d. Energie des Teilchens

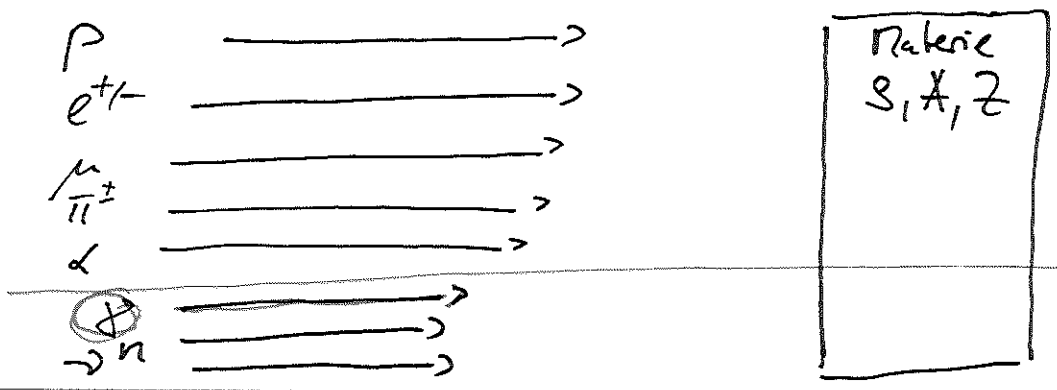
Grundlegende Prozesse

Naturic : Dichte ρ
Massenzahl A
Ordnungszahl Z

Einfallende Teilchenstrahlung "spüren" die Bausteine d. Materie
1) Elektronen und 2) Kerne

=> WW zwischen Teilchen und Materie sind meist elektromagnet.
bzw. starke WW (N.B. ν 's WW nur über die schw. WW)

geladene Teilchen



Reichweite $E \approx 1 \text{ MeV}$, $S \sim 1-10 \text{ g/cm}^2$
 $\mu\text{m} - \text{mm}$

$\sim 10 \text{ cm}$
 10^{17} m

EM Strahlung

- Emission aus äußere Elektronenschale : Licht
- " " " " " " " " : Röntgen-Strahlung
- " " " " Kernübergänge : γ -Strahlung
- " " von geladenen Teilchen bei Abbremsung : Bremsstrahlung
- Beschleunigung im Magnetfeld : Synchrotronstrahlung

	Absorption	Streuung	
		inelast	elastisch
Elektronen	Photoeffekt	Compton-Streuung	Thomson Rayleigh
Kerne	Kernphotoeffekt	Kernresonanz- streuung	
Elektr. Felder (des Kerns)	Paarherzeugung		Kernpotenzial Streuung, Debye-Hückel

Klass. Elektronradius:

Ruheenergie des Elektrons = Elektrost. Selbstenergie

(5)

Energie einer geladenen Kugel mit Ladung e und r_e

$$E = \frac{3}{5} \frac{e^2}{r_e}$$

$$\frac{3}{5} \frac{e^2}{r_e} = m_e c^2 \quad \Rightarrow \quad r_e = \frac{3}{5} \frac{e^2}{m_e c^2} \approx 2,8 \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

($\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$) 2,8 fm

Thomson Streuung

elastische Streuung von EM Strahlung an (quasi) freien geladenen Teilchen mittels klassischer EM ($E \ll m_e c^2$)

σ_{Th} ist unabhängig von Energie des Photons

$$\sigma_{Th} = \frac{8\pi}{3} r_e^2 \approx 0,67 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2$$

0,67 barn

Photoeffekt

Atomarelektronen können ~~Quanta~~ das gesamte
Energie eines γ -Quant vollständig
absorbieren entweder auf gebundenen Zustand
höherer Energie gehoben, oder falls
 $E_\gamma > B_E$ (Bindungsenergie) ein Elektron
mit der kinetischen Energie $T_e = E_\gamma - B_E$

Bindungsenergie des Hüllenelektrons hängt
von Z ab, von der Schale n welcher es
sich befindet

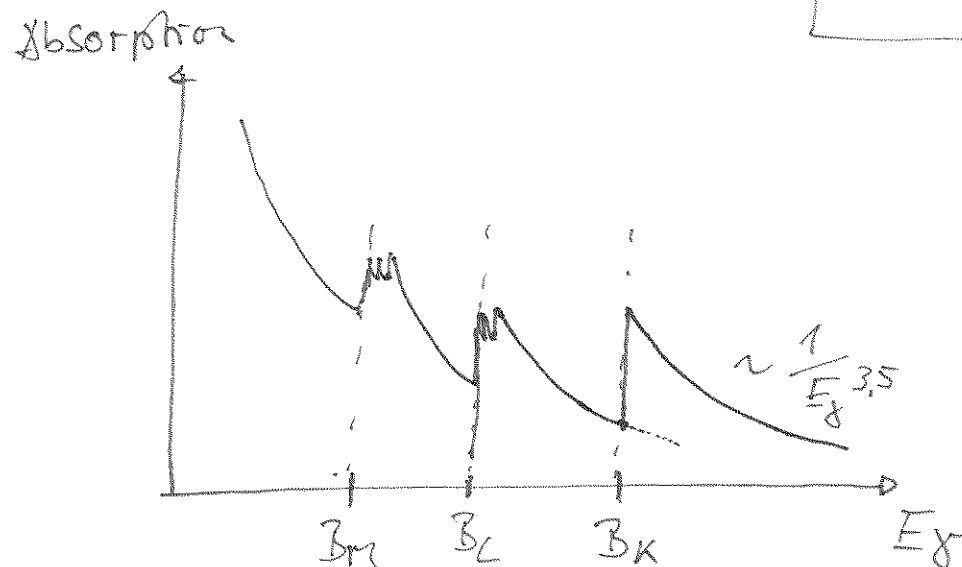


Bild B_E

freies Elektron kann
wg. Impuls im Energieerhalt
nicht vollständig aufnehmen
weil.
ist bei Atom möglich
da restliche Impuls als
Rückstoßenergie aufnimmt

=> Die am festesten gebundene Elektronen absorbieren am stärksten! ^(*)

Theoret. Berechnung des WQ in QED: Dirac-Gleichung eines gebundenen Elektrons (+ Abschirmung Kernladung) (Heitler, Quantum theory of radiation)

$$\sigma \approx \sigma_{Th} 4\sqrt{2} \alpha^4 \boxed{Z^5} \cdot E_\gamma^{-7/2}$$

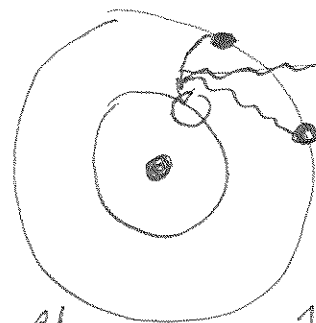
N.B. gilt für K-Elektronen hinreichend entfernt von K-Kante

$$\sigma_{Th} : \frac{8}{3} \pi r_e^2 \text{ Thomson WQ}$$

$$\alpha : \frac{e^2}{\hbar c} \text{ Feinstrukturkonstante}$$

$$E_\gamma : \frac{E_K}{\hbar c^2} \text{ "reduzierte" } \gamma\text{-Energie}$$

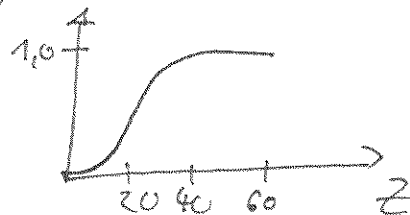
Nach Photoionisation:



K_α : Röntgenstrahlung $E_\gamma = E_K - E_L$

Auger-Elektron $E_{Auger, EL} = E_K - 2E_L$

K-Fluoreszenz-yield:

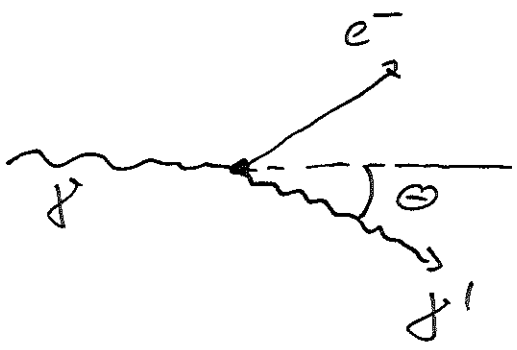


Anzahl d. emittierten Photone N_f pro Lücke

Streuung

Compton - Streuung :

freie Elektronen bzw. gebundene
Elektronen für $E_\gamma \gg B_e$



mit Energie u. Impulserhaltung

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

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

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

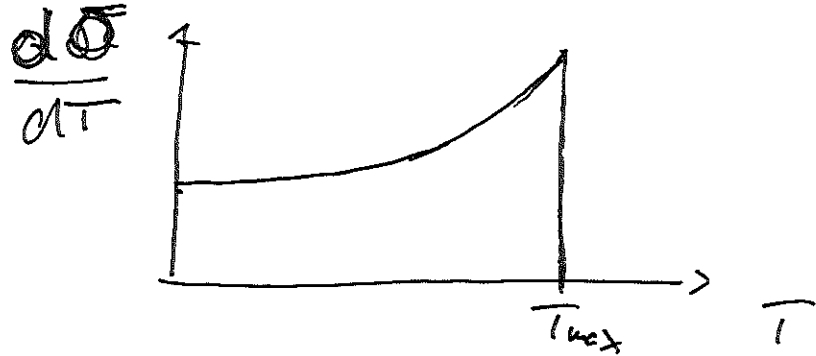
WQ: QED "Klein-Nishina Gleichung"

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{\tau_e^2}{2} \frac{1}{(1 + \gamma(1 - \cos \theta))^2} \left(1 + \cos^2 \theta + \frac{\gamma^2 (1 - \cos \theta)^2}{1 + \gamma(1 - \cos \theta)} \right)$$

mit $\gamma = \frac{E_\gamma}{m_e c^2}$, $\tau_e = \frac{e^2}{m_e c^2} = 2,8 \text{ fm}$

$$\frac{d\sigma}{dT} = \frac{\pi r_e^2}{v_e \gamma^2} \left[2 + \frac{S^2}{\gamma^2 (1-S)^2} + \frac{S}{1-S} \left(S - \frac{2}{\gamma} \right) \right] \quad (9)$$

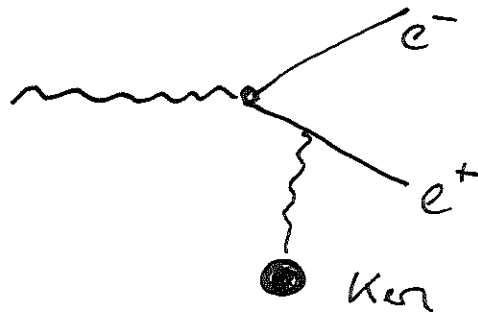
mit $S = T/E_\gamma$



Paarerzeugung

$$E_\gamma > 2 m_e c^2 \approx 1,02 \text{ MeV}$$

- nur im Bereich eines Stoßpartners möglich, da ansonsten Energie u. Impulserhaltung nicht gleichzeitig erfüllt werden können



$$\bar{\sigma}_{\text{Paar}} \approx 4 \pi r_e^2 \left(Z^2 \left(\frac{7}{9} \ln \frac{183}{Z^{1/3}} \right) \right)$$