

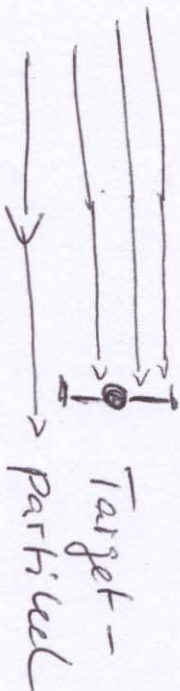
# 5. Wechselwirkung von Teilchen und EM Strahlung

(1)

mit Materie

Virialquerschnitt

Teilchenzahl



"wirksamer" Querschnitt  
eines Targetpartikels

$$\sigma \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$E_{\text{Raum}} = 1 \text{ barn} = 10^{-24} \text{ cm}^2$$

Definition:

Jeder Targetpartikel wird  
eine Fläche  $\sigma$  als gedachte  
Zielscheibe zugewandt.

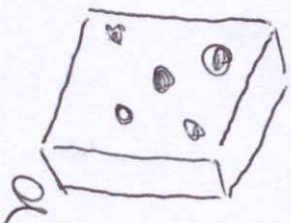
Diese Größe wird so gewählt,  
daß die Reaktion starkrechnet,  
wenn man alle Teilchen diese  
"Zielscheibe" trifft.

Fläche A

$N_t$ : Zahl an Target-  
partikel

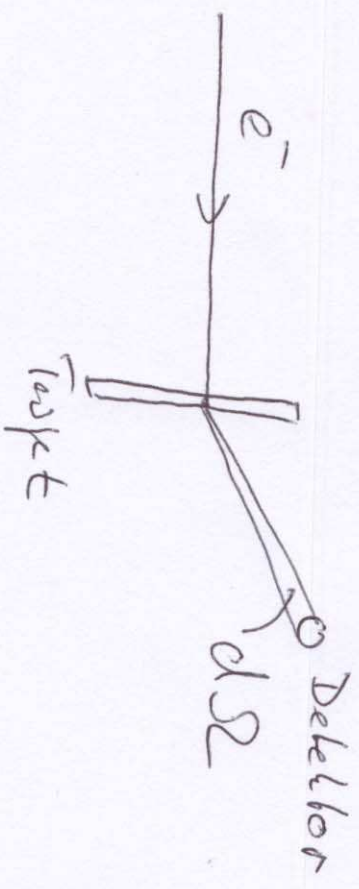
A: Fläche

Bsp.  $\vec{e}^-$



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

$$G = \frac{\text{Zahl d. Reaktionen pro Zeit} \left[ \frac{1}{s} \right]}{\text{Schw. Lb. pro Zeit} \times \text{Schw. Zehr. pro Fläche} \left[ \frac{1}{cm^2} \right]} \quad (2)$$



$$\frac{dR(\alpha)}{d\Omega} = k_e \frac{k_e}{A} \frac{d\Omega}{d\Omega}$$

$$\frac{d\Omega}{d\Omega} = \frac{\text{Zahl d. Reaktionen pro Zeit}}{\text{Pro Raumwinkel} \times \text{Schw. Lb. pro Zeit} \times \text{Zehr. pro Fläche}}$$

Essiglt

$$\int_{\Omega} \frac{dR}{d\Omega} d\Omega = R$$

$G$ : totale  $WQ$

$$S_{\Omega} \frac{d\Omega}{d\Omega} d\Omega = G$$

~~$d\Omega$~~  : differentialle  $WQ$

# Grundlegende Prozesse

3

Reaktion: Gas, Flüssigkeit, Festkörper

Charakterisiert durch:

1. Dichte  $\rho$
2. Massezahl  $A$
3. Ordnungszahl  $Z$
4. ...  $n$ ,

particle data group  
pdg.lhc.gov

Ein feldtheoretischer "Spinn" die Bausteine der Reaktion  
(Kerne (oder Nukleonen) und Elektronen)

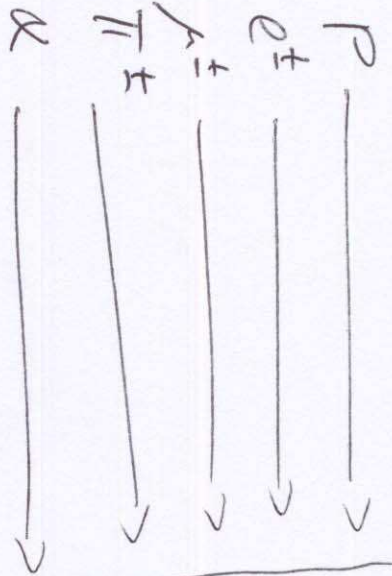
$\Rightarrow$  was zwischen Teilchen und Reaktion weicht EN und  
gläserner Materie. (N.B.  $\gamma$ 's wu un Schwach)

Rechnung  
bei  $E \approx 2 \text{ Rev}$

Matene  
8, K, Z

$\mu m - mm$   
 $10^{-6} m$      $10^{-3} m$

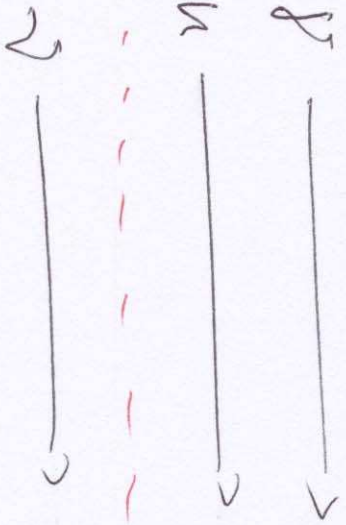
gebildete  
Teile



weitere

Teile

$\sim 10 \text{ cm}$



17  
10 m

# Photoelektronen

(hier  $E_{\gamma} \approx 1 \text{ keV}$ )

a) Photoeffekt:

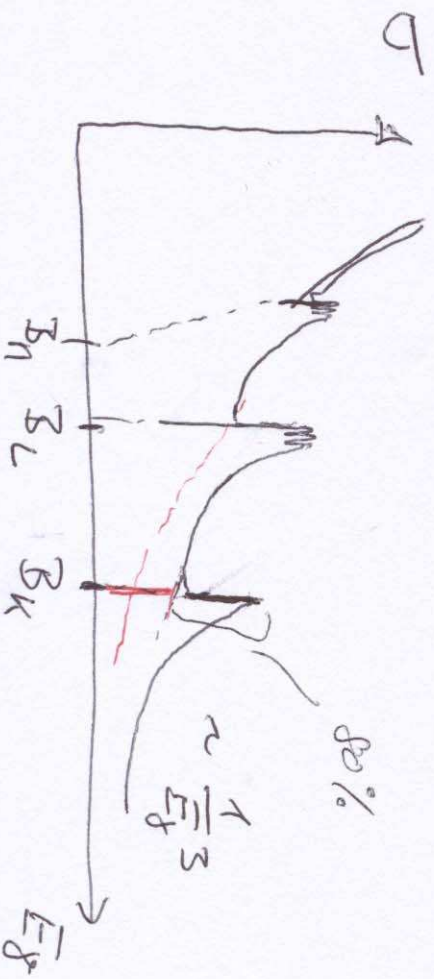
$\text{Be}$ : Grundzustatsenergie

für  $E_{\gamma} > B_{\text{I}}$  unter an

Elektron mit kinetischer Energie

$$T_e = E_{\gamma} - B_e \text{ eintritt}$$

freies Elektron kann sog. Impuls u. Energie-  
erhaltend Photonenenergie nicht vollständig auf-  
nehmen. Bei Atomelektronen ist es möglich,  
da restliche Impuls als Rückstoß auf genommen  
werden kann.



# Theoretische Berechnung des QED QED

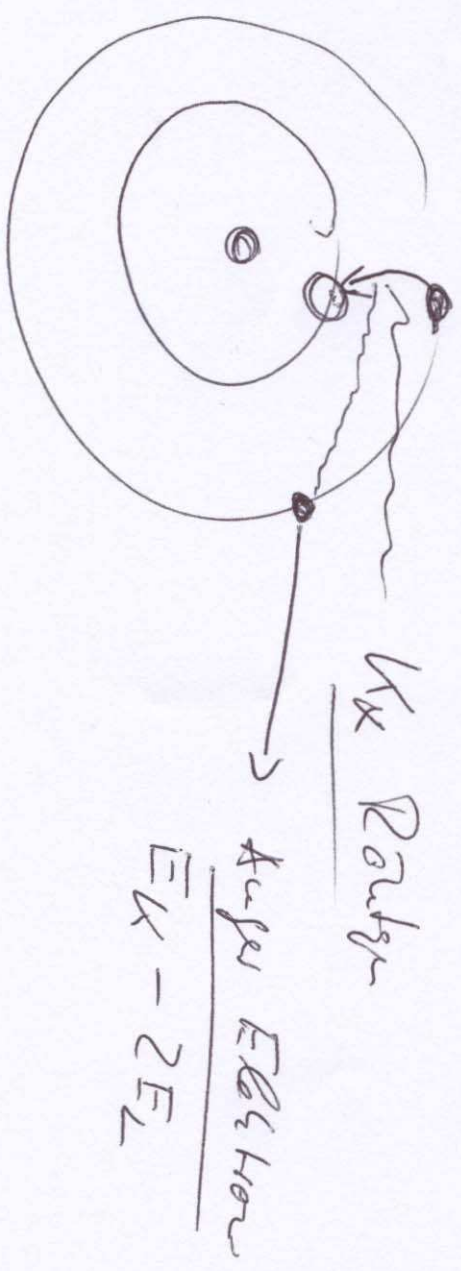
(Dritte Gleichung eines selbsterzeugenden Elektronen (+ Absorption) der Klein-Gordon) (Heller, Quantum Theory of Radiation)

$$U = U_{\text{kin}} + 4\sqrt{2} \alpha^4 \underbrace{2^5}_{\text{kin}} \underbrace{E_{\text{el}}^{-7/2}}_{\text{el}}$$

$$U_{\text{kin}} = \frac{8}{3} \pi \tau_0^2 \quad ; \quad \tau_0 = \text{Klass. Elektronenradius}$$

$$\tau_0 = \frac{e^2}{m_e c^2}$$

$$E_{\text{el}} = \frac{E_{\text{el}}}{m_e c^2} \quad \text{"reale Zirkel" } \gamma\text{-Energie}$$

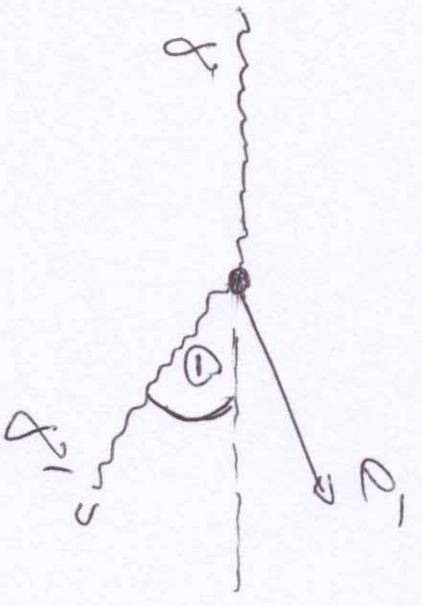


# b) Streuung

(hier in kohärente Streuung)

Compton Effekt beschreibt elastische Streuung eines Photons an einer freien Elektronen.

Inelastisches Streuung an Atomen/Molekülen kann als Compton-Effekt betrachtet werden, wenn  $E_\gamma \gg B_K$



nur Energie und Impuls-Erhaltung

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

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

Max. Energieübertragung

$\theta = 180^\circ$

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

Wir besprechen Schritt weise mit Hilfe QED berechnen  
 mit "Klein-Nishina Gleichung"

(8)

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

mit  $\gamma = E\gamma/mec^2$

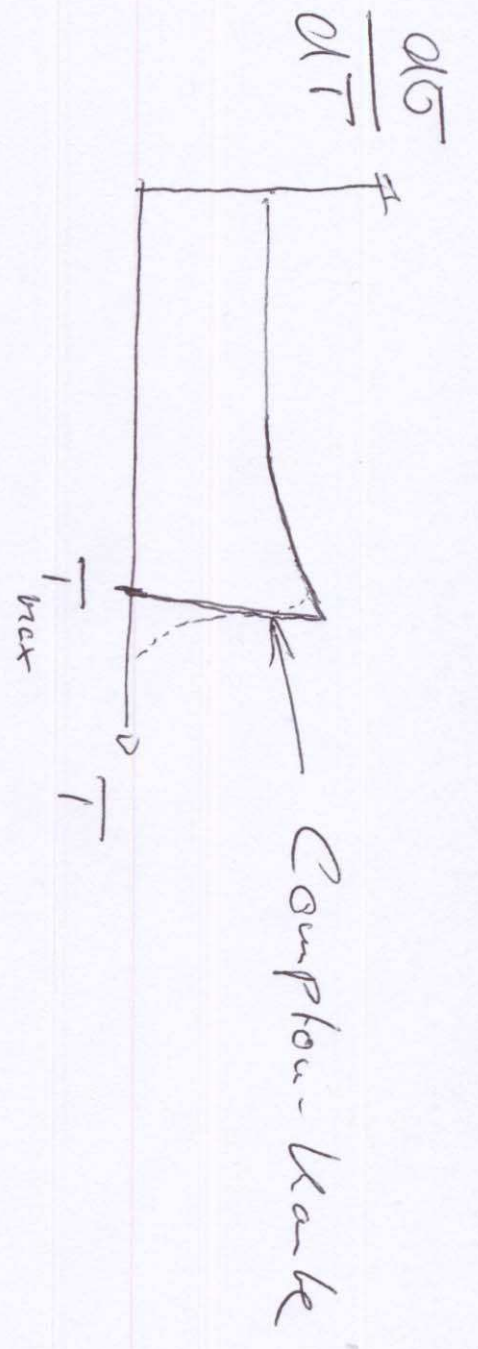
$$r_e = \frac{e^2}{m_e c^2} \approx 2.8 \text{ fm} = 2.8 \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

Differenzieren  $d\sigma$  als Funktion der kinetischen Energie  
 des Elektrons:

$$\frac{d\sigma}{dT} = \frac{\pi r_e^2}{m_e c^2 \gamma^2} \left[ 2 + \frac{s^2}{\gamma^2(1-s)^2} + \frac{s}{1-s} \left( s - \frac{2}{\gamma} \right) \right]$$

$$s = T/E\gamma; \quad \frac{d\sigma}{dT} \text{ hat Maximum bei } T_{\text{max}}$$

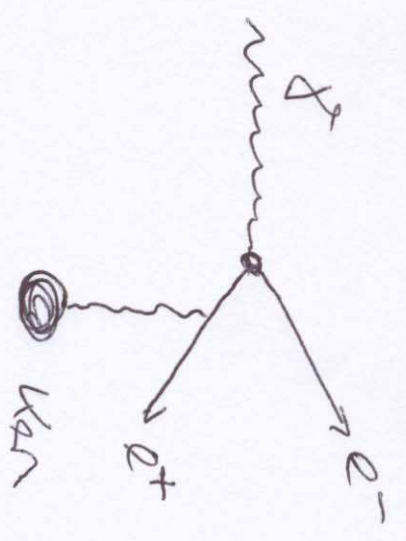




c) Paarzerzeugung :  $E_\gamma > 2m_e c^2 \approx 1,02 \text{ MeV}$

große Energie dominiert Paarzerzeugung

was in Gege-wort eines Stoßpartners möglich,  
 da in der System Proton - Neutronen die  
 Erhaltungssätze für Energie und Impuls nicht  
 gleichzeitig erfüllt werden können



für hohe Energien  
 kann GG durch folgenden  
 Ausdruck gegeben werden:

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

# 10

## 1) Komphotoeffekt

gellen im Vergleich mit anderen Photo realtionen:  
E Proton wird von Kern absorbiert und Nukleon  
(Protonen) emittiert werden. ( $\gamma, n$ )-Prozess; Riese-resonanz  
 $\approx 20 \text{ MeV}$

## Strahlungsleistung $X_0$ :

$$\frac{1}{X_0} \approx 4R \frac{8N_A}{A} \quad \boxed{Z^2} \quad r_e \quad \ln \quad \boxed{\frac{183}{Z^{1/3}}} \quad (*)$$

$\delta$  : Dichte

$N_A$  : Avogadro Zahl

$A$  : Massezahl

mit Definition (\*) ist die Wahrscheinlichkeit  $P$ , dass

ein Proton ein  $e^+e^-$  Paar in einem Strahlungsbeleg  $X_0$

erzeugt

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

h<sub>2</sub>o: willkürliche Wartezeit eines Protons (mit hoher Energie)

(11)

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

X<sub>0</sub>: mittlere Entfernung (λ) n der Erektron 1/e bevor Energie über Bremsstrahlung verliert.

experimentelle Resultate werden durch folgende Beziehung gut beschrieben:

$$X_0 \approx \frac{716,4 \text{ g cm}^{-2} \cdot A}{Z(Z+1) \ln\left(\frac{287}{12}\right)}$$

$$1) \text{ H}_2\text{O} : \frac{X_0}{9} = \frac{36,08}{1} \text{ cm}$$

$$\text{Al} : \frac{X_0}{9} = \frac{24,01}{2,695} \text{ cm} = 8,9 \text{ cm}$$

$$\text{Fe} : \frac{13,84}{7,82} \text{ cm} = 1,76 \text{ cm}$$

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

Abschwächkoeffizienten bei Abschwächkoeffizienten

$$\sigma_{tot} = \sigma_{prot} + \sigma_{elast} + \sigma_{par} (+ \dots) \quad [cm^2]$$

Wahrscheinlichkeit für eine der Reaktionen eines Photons  
in Absorberschicht der Dicke dx

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

N: Anzahl der Targetkerne pro Vol

$$-dJ(x) = J(x) \underbrace{\sigma_{tot} N}_{\rho} dx$$

$$\Rightarrow J(x) = J_0 e^{-x/\lambda_{abs}} = J_0 e^{-\mu x}$$

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