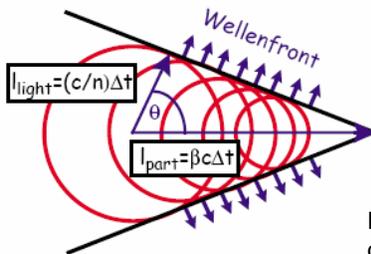


### d) Cherenkov Strahlung

Entsteht beim Durchgang geladener Teilchen (Ladung  $z$ ) durch Materie falls

$$v_{\text{Teilchen}} > \frac{c}{n} \quad \text{Lichtgeschwindigkeit im Medium}$$



Abstrahlung der Photonen unter Cherenkov-Winkel

$$\cos \theta_c = \frac{c/n}{\beta c} = \frac{1}{\beta n}$$

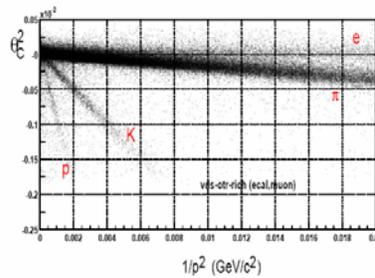
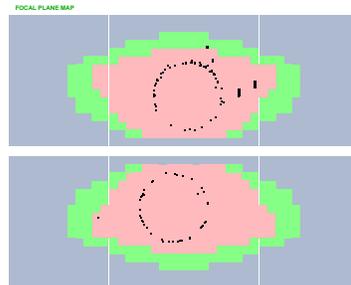
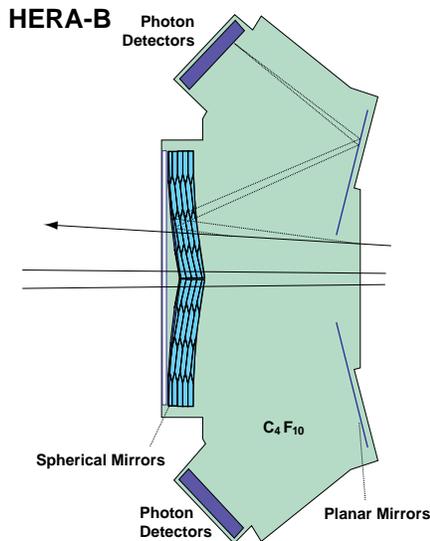
Photonspektrum: vernachlässigt man im optischen Bereich die Wellenlängenabh. des Brechungsindex (Dispersion) so findet man:

$$\text{Photonspektrum} \quad \frac{dN_\gamma}{d\lambda dx} = \frac{2\pi\alpha z^2 \sin^2 \theta_c}{\lambda^2}$$

Benutzung des Cherenkov-Effektes zur Teilchen-ID:

- (1) Nutzung des Schwelleneffektes
- (2) Messung des Cherenkov-Winkels

### Benutzung von Cherenkov-Photonen zur Teilchenidentifikation



## 2.3 Energieverlust von Elektronen

Für Elektronen auch Energieverlust durch Bremsstrahlung wichtig

$$-\frac{dE}{dx} = \left(-\frac{dE}{dx}\right)_{Ion} + \left(-\frac{dE}{dx}\right)_{Brems}$$

### a) Energieverlust durch Ionisation

Im wesentlichen beschrieben durch Bethe-Bloch Formel mit folgendem Unterschied zu schweren Teilchen:

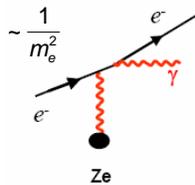
•  $m_e$  klein → stärkere Ablenkung

• Max. Energieübertrag  $e^- =$

$$\frac{1}{2} E_{kin}^e$$

### b) Energieverlust durch Bremsstrahlung

Für hohe Elektronenergien findet man:



$$\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{Brems} = \rho \cdot 4\alpha N_A \frac{Z^2}{A} r_e^2 \ln\left(\frac{183}{Z^{1/3}}\right) \cdot E$$

$$\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{Brems} = \frac{1}{X_0} \cdot E \quad r_e^2 = \left[\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 m_e c^2}\right]^2 \sim \frac{1}{m_e^2}$$

## Strahlungslänge

$$\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{Brems} = \rho \cdot 4\alpha N_A \frac{Z^2}{A} r_e^2 \ln\left(\frac{183}{Z^{1/3}}\right) \cdot E$$

$$\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{Brems} = \frac{1}{X_0} \cdot E$$

| Material             | $X_0$ [cm]            | $X_0$ [g cm <sup>-2</sup> ] |
|----------------------|-----------------------|-----------------------------|
| H <sub>2</sub> (Gas) | 731 × 10 <sup>3</sup> | 61.3                        |
| C                    | 18.8                  | 42.7                        |
| Al                   | 8.9                   | 24.0                        |
| Pb                   | 0.6                   | 6.4                         |

<http://pdg.lbl.gov/2005/reviews/atomicrpp.pdf>

Für Gemische findet man:  $\frac{1}{X_0} = \sum_i \frac{w_i}{X_0^i}$   $w_i$  Gewichtsanteil

### c) Kritische Energie

Kritische Energie  $E_c$  = Energie bei der  $\left(\frac{dE}{dx}\right)_{Ion} = \left(\frac{dE}{dx}\right)_{Brems}$

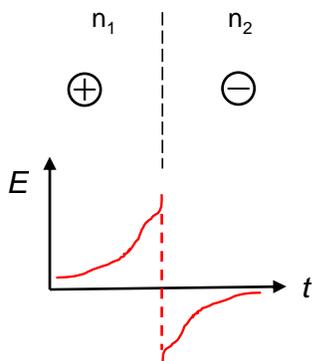
Näherungsformel für Elektronen und Medien mit  $Z > 13$ :  $E_c \approx \frac{800 \text{ MeV}}{Z + 1.2}$

Zum Vergleich: Kritische Energie für Myonen

$$E_c \approx \frac{24 \text{ TeV}}{Z}$$

Bremsstrahlung für Myonen:  $m_\mu^2/m_e^2 \approx 4.3 \cdot 10^4$

### d) Übergangsstrahlung



Übergang eines Teilchens von Medium mit Brechungsindex  $n_1$  (Luft) nach Medium mit Brechungsindex  $n_2$ :

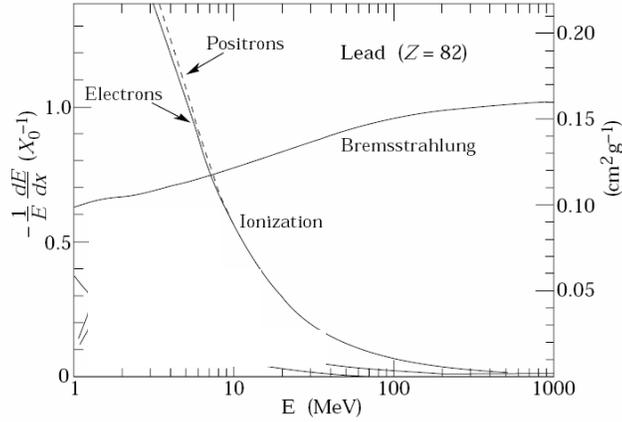
- ⇒ Influenz einer Spiegelladung
- ⇒ Zeitlich veränderlicher Dipol: Abstrahlung von Übergangsstrahl. Allerdings werden nur sehr wenige Photonen abgestrahlt.

Übergangsstrahlungsdetektoren bestehen aus vielen Grenzflächen (bsp. Folienstapel) an denen Photonen ausgesandt werden.

Es kommt zu einem effektiven Schwellenverhalten: Übergangsstrahl. nur für Teilchen mit  $\gamma > \sim 1000$ .

→ Kann zur Identifikation von Elektronen (Positronen) verwendet werden.

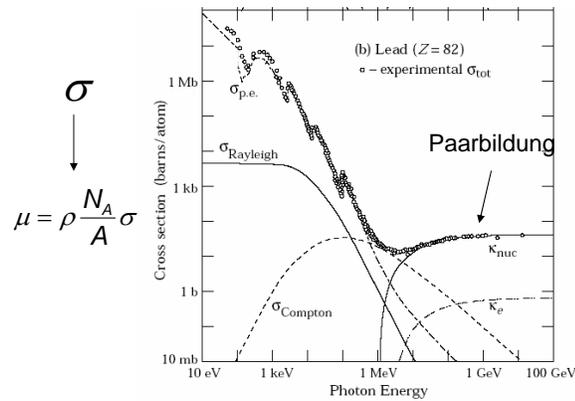
## Relativer Energieverlust pro $X_0$ für Elektronen



Unterschied zwischen Elektronen und Positronen bei kleinen Energien ist eine Folge der Ununterscheidbarkeit für Elektronen:  $T_{max} = \frac{1}{2} E_{kin}^e$

## 2.4 Wechselwirkung von Photonen mit Materie

Photonenergie ↑  
 Paarbildung  
 Compton-Effekt  
 Photoeffekt



Abschwächung der einfallenden Photonintensität

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x}$$

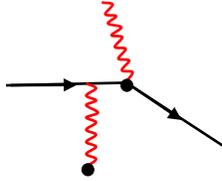
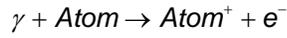
$$I(\tilde{x}) = I_0 e^{-\tilde{\mu} \tilde{x}}$$

Massenabsorptionskoeff.

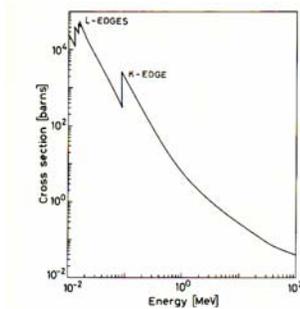
$$\tilde{\mu} = \tilde{\mu}_{Ph} + \tilde{\mu}_C + \tilde{\mu}_{Paar}$$

$$\mu = \rho \frac{N_A}{A} \sigma$$

### a) Photoeffekt



Aufgrund 4er-Impulsrehaltung ist Prozess nur in der Nähe eines dritten Streupartners möglich: Effekt am stärksten für die am stärksten gebundenen Elektronen.



Berechneter WQ für Photoeffekt, W.R. Leo

Exakte Berechnung schwierig. Grenzfälle:

$$(1) \quad E_\gamma \gg m_e c^2 : \quad \sigma_{Ph} = 4\pi r_e^2 \alpha^4 Z^6 \left( \frac{m_e c^2}{E_\gamma} \right) \sim \frac{Z^6}{E_\gamma}$$

$$(2) \quad E_{ion} < E_\gamma < m_e c^2 :$$

$$\sigma_{Ph} = \sqrt{32} \sigma_{Th} \alpha^4 Z^6 \left( \frac{m_e c^2}{E_\gamma} \right)^{7/2} \sim \frac{Z^6}{E_\gamma^{7/2}}$$

$$\sigma_{Th} = \frac{8}{3} \pi r_e^2 = 0.67b$$