

EXPERIMENTELL

PARTIKELFYSIK

● Experimentella metoder

Tvärnitt + Luminositet → se boken A.1+B.2
och 3.2

Partiklars växelverkan med materia → se boken 3.2

Detektorer → se boken 3.3

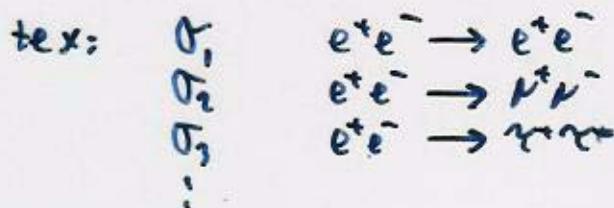
Tvärsnitt och Luminositet



- σ_{tot} : Totalt tvärsnitt (eng. Total crosssection) enhet: cm^2 eller barn
(1 barn = 10^{-24}cm^2)

σ_{tot} ger ett mått på sannolikheten för en kollision.

$$\sigma_{\text{tot}} = \sum_r \sigma_r \quad \text{där } r \text{ är olika reaktioner}$$



- W_{tot} : Total reaction rate enhet: kollisioner per s

$$W_{\text{tot}} = \sum_r W_r \quad \text{där } r \text{ är olika reaktioner}$$

- L : Luminosity enhet: kollisioner/s $\cdot\text{cm}^2$

$$L = \frac{W_{\text{tot}}}{\sigma_{\text{tot}}}$$

L är ett mått på en accelerators förmåga att producera kollisioner.

- \mathcal{L} : Integrated Luminosity enhet: kollisioner/ cm^2

$$\mathcal{L} = \int L dt$$

\mathcal{L} är ett mått på antalet kollisioner i en accelerator under en viss tidsperiod.

Exempel:

Anta att luminositeten vid HERA är $2 \cdot 10^{30} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ och det totala tvärsnittet för en e-p kollision är $100 \mu\text{b}$ samt tvärsnittet för $e p \rightarrow 3/\psi + X$ är 10 pb .

- 1) Vad blir den integrerade luminositeten under en körperiod som är 25 dagar lång?

$$\mathcal{L} = 2 \cdot 10^{30} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \cdot 2,16 \cdot 10^6 \text{ s} \approx 4 \cdot 10^{36} \text{ cm}^{-2} = 4 \text{ pb}^{-1}$$

- 2) Hur många e-p kollisioner äger rum under körperioden?

$$\text{Antalet kollisioner} = \sigma_{\text{tot}} \cdot \mathcal{L} = 100 \mu\text{b} \cdot 4 \text{ pb}^{-1} = 400 \cdot 10^6$$

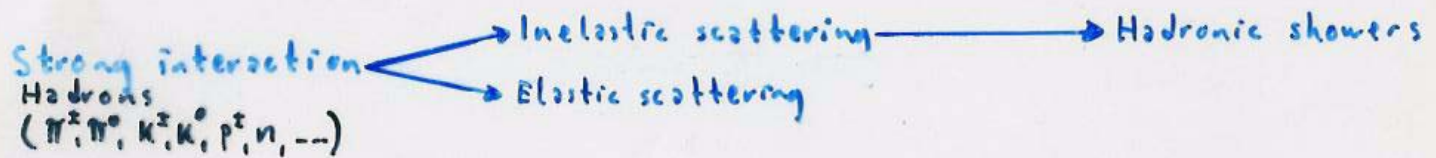
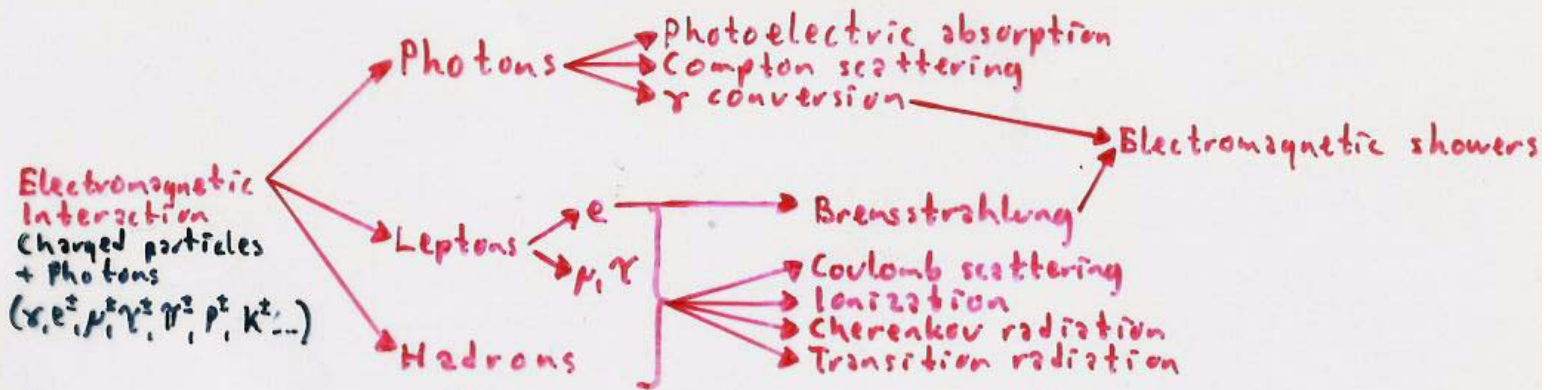
- 3) Vad är W_{tot} ?

$$W_{\text{tot}} = \sigma_{\text{tot}} \cdot L = 100 \cdot 10^{-30} \text{ cm}^2 \cdot 2 \cdot 10^{30} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} = 200 \text{ s}^{-1}$$

- 4) Hur många händelser av typ $e p \rightarrow 3/\psi + X$ produceras under körperioden?

$$\text{Antalet } 3/\psi = \sigma_{3/\psi} \cdot \mathcal{L} = 10 \text{ pb} \cdot 4 \text{ pb}^{-1} = 40$$

Interactions between particles and matter.

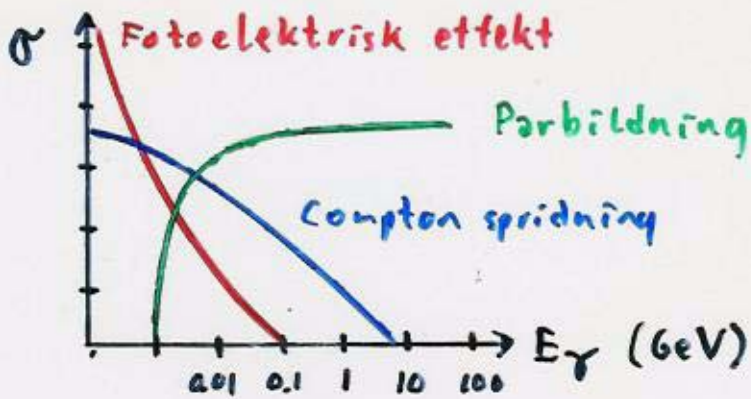


Fotoelektrisk effekt

Process:



Tvärsnitt:



Energiförlust: Hela fotonens energi övergår till elektronen

Övrigt: Denne process är ointressant vid höga fotonenergier

Detektorer: Inga

Compton spridning

Process:



Tvärsnitt: se ovan. Ges av "Klein-Nishina cross-section formula".

Energiförlust: $E_{\gamma}' = \frac{E_{\gamma}}{1 + \frac{E_{\gamma}}{m_e} (1 - \cos\theta)}$ där θ är fotonens spridningsvinkel.

da för små θ är $E_{\gamma}' \approx E_{\gamma}$ och energiförlusten är ≈ 0 .

Övrigt: För små θ blir elektronens energi ≈ 0 .

Detektorer: Inga

Parbildning (γ conversions)



Tvärsnitt: se ovan.

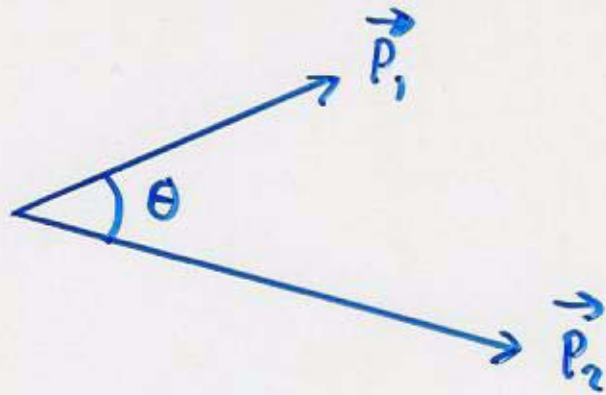
Energiförlust: Hela fotonens energi övergår till e^+e^- -paret.

Övrigt: Vinkeln mellan elektronen och positronen ≈ 0 .
Parbildning är en av de två processer som är inblandad i en "electromagnetic shower". Den andra är bremsstrålning (se nedan).

Detektorer:

Elektromagnetisk Kalorimeter \longrightarrow Mäter fotonenergin

Massan av ett par partiklar



$$m^2 = (\vec{P}_1 + \vec{P}_2)^2 = (E_1 + E_2)^2 - (\vec{P}_1 + \vec{P}_2)^2$$

$$m^2 = E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 - (|\vec{P}_1|^2 + |\vec{P}_2|^2 + 2\vec{P}_1 \cdot \vec{P}_2)$$

$$m^2 \approx 2E_1E_2 - 2\vec{P}_1 \cdot \vec{P}_2 \approx 2E_1E_2 - 2E_1E_2 \cos \theta$$

$$m^2 \approx 2E_1E_2(1 - \cos \theta)$$

för $\gamma \rightarrow e^+e^-$ gäller

$$0 = 2E_1E_2(1 - \cos \theta) \quad \Rightarrow \quad \theta = 0$$

γ -conversion

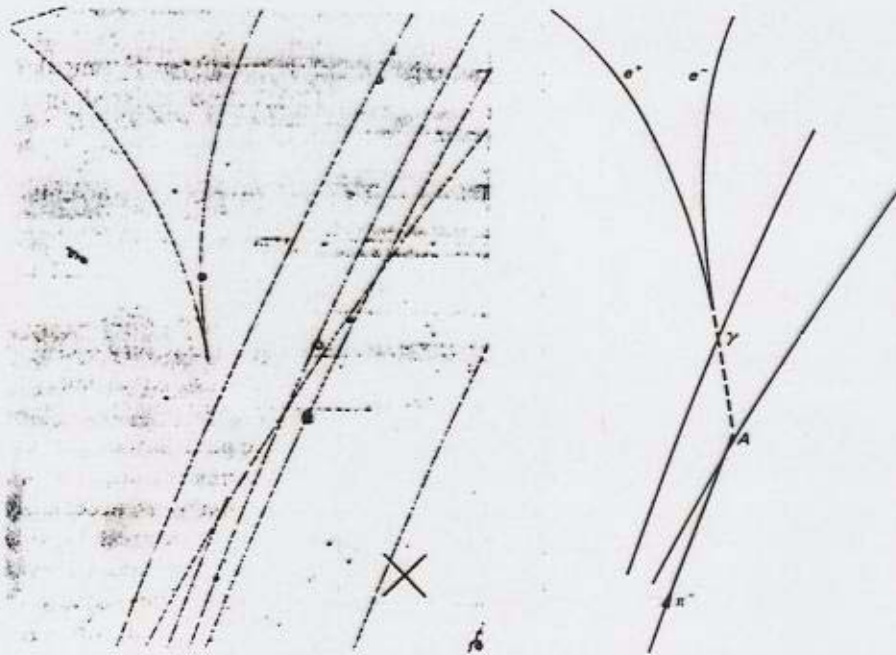
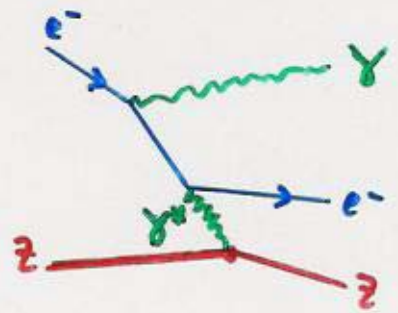


Fig. 1.7 Conversion of a photon into an electron-positron pair in a bubble chamber. The photon originated from the decay $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$. Since the neutral pion has a short lifetime (10^{-16} sec), the pair appears to point straight at the interaction vertex, A , corresponding to the charge-exchange reaction $\pi^- + p \rightarrow \pi^0 + n$.

Bremsstrahlung

Process:



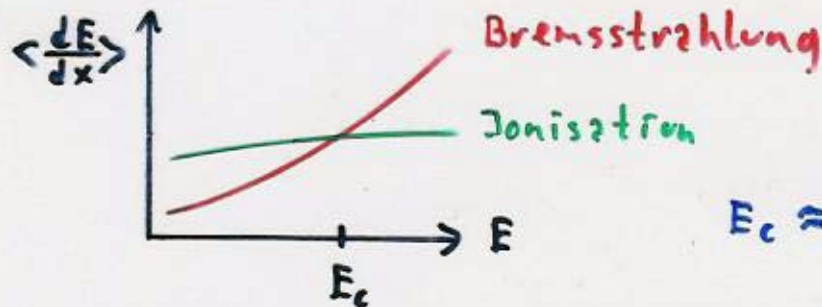
Feynman diagram

Tvärsnitt:

Beror på partiklans massa. σ är stort för lätta partiklar som elektronen men litet för tunga partiklar som myonen. (utom vid mycket höga myonenenergi).

$$\sigma_{\text{brems}} < \sigma_{\text{jonisation}}$$

Energiförlust:

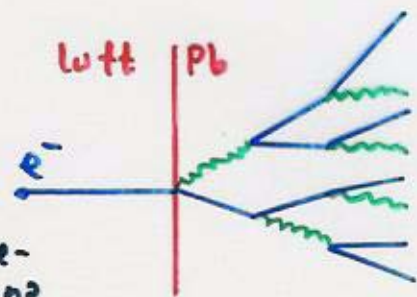


$$E_c \approx \begin{cases} 10 \text{ MeV i Pb} \\ 100 \text{ MeV i Luft} \end{cases}$$

Medan energiförlusten för bremsstrahlung orsakas av en enskild händelse så orsakas energiförlusten i en jonisationsprocess av många växelverkningar.

Örigt: "Electromagnetic shower":

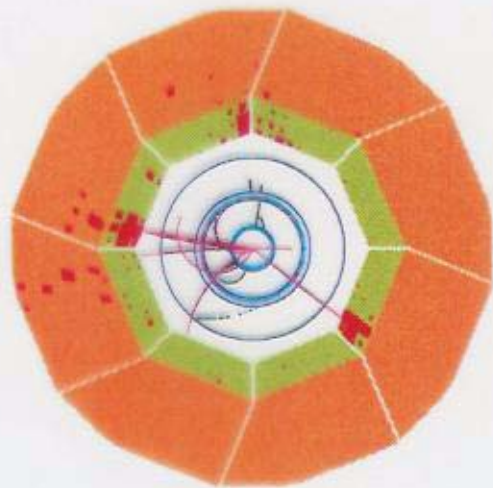
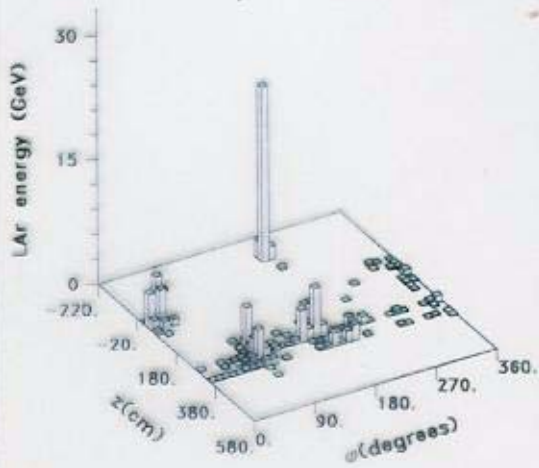
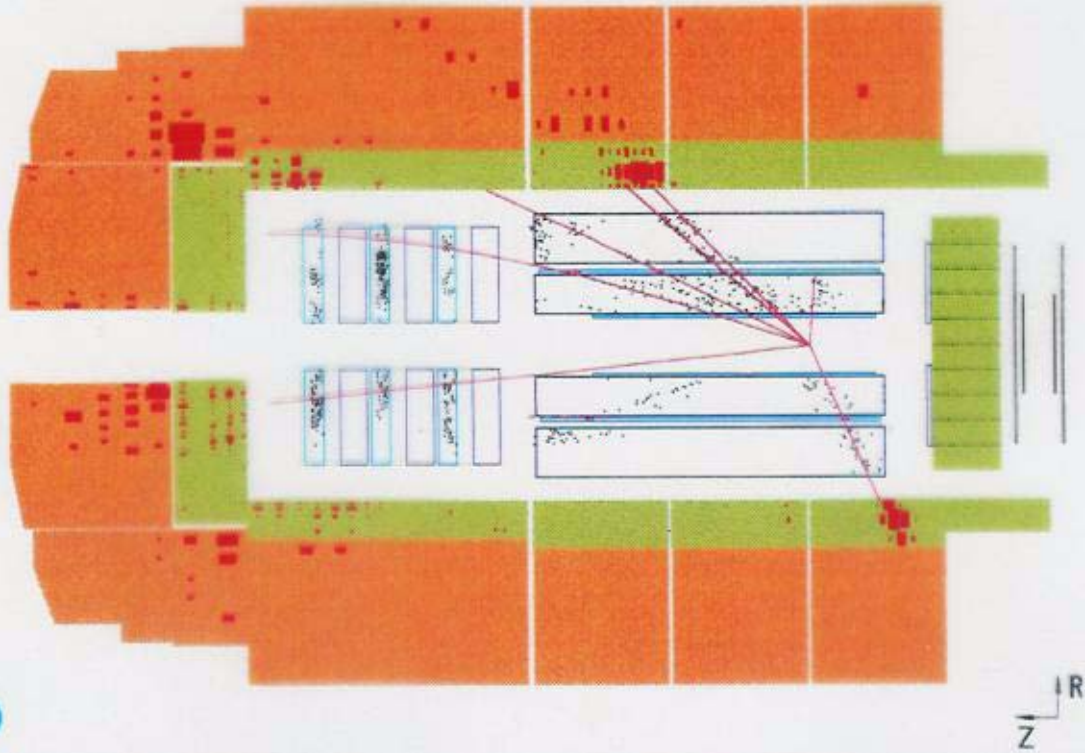
Vid höga energier kan en kedjereaktion av bremsstrahlung och parbildning uppstå. Denna kedjereaktion utlöses när elektronerna nått den kritiska energin E_c .



Detektorer:

Elektromagnetisk Kalorimeter \rightarrow Mäter elektronens energi.

$$Q^2 = 800 \text{ GeV}^2 \quad y = 0.3 \quad x = 0.03$$



Coulomb spridning



Tvärsnitt: Litet i gaser.
Stort i fasta ämnen.

Energiförlust: $\frac{dE}{dx} \approx 0$

Övrigt: I allmänhet sker en serie av Coulomb spridningar i fasta ämnen. Detta brukar kallas för "Multiple Scattering".

Detektorer: Inga.

Jonisation

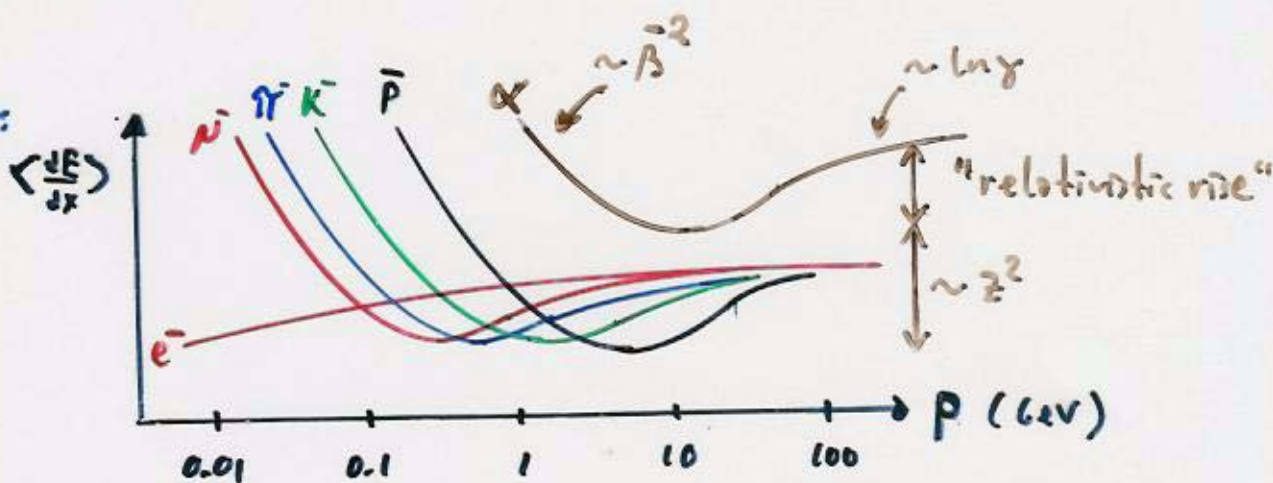
Process:



Detta är också en form av Coulomb spridning men mot atomens elektroner inte atomkärnan.

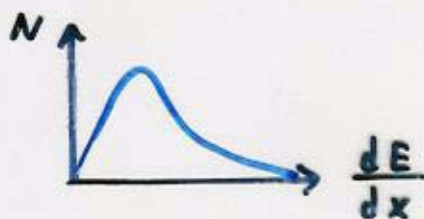
Tvärsnitt: **Stort**

Energi förlust:



Bothe-Block's formel: $\langle \frac{dE}{dx} \rangle = C_1 \cdot z^2 \cdot \beta^{-2} [C_2 \ln(C_3 \gamma \beta) - \beta^2]$

Laddar fördelning:



Övrigt:

Kristall scintillatorer: Laddade partiklar skapar fria elektroner och hål. Dessa fångas upp av "aktivator center" som exciteras. Under deexcitation utstrålas ljus.

Plast scintillatorer: Molekyler exciteras och utstrålar UV ljus. Detta UV ljus omvandlas av "wave length shifters" till synligt ljus.

Halvledar detektorer: Elektron-hål par bildas istället för Elektron-ion par.