

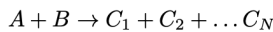
quanti può accadere?

$$m_p \approx 1 \text{ GeV} \quad (938.3 \text{ MeV})$$

$$m_\pi \approx 0.1 \text{ GeV} \quad (139.6 \text{ MeV})$$

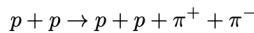
Esercizio 7 Energia di soglia di una reazione

Qual è l'energia minima che deve avere una particella A , che collide nel riferimento del laboratorio con una particella ferma B , per produrre le particelle $C_1 \dots C_N$ - ovvero, perché la reazione

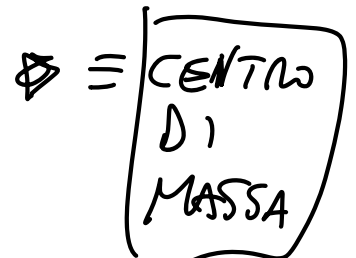
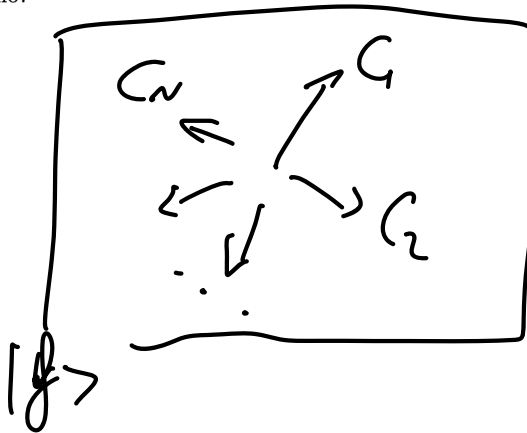
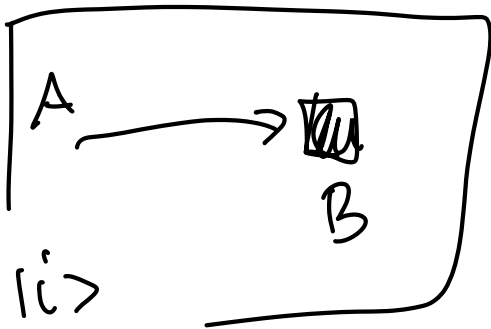


sia cinematicamente permessa?

Qual è l'energia di soglia della produzione di due pioni tramite il processo



se si assume che il secondo protone è fermo?



$$\equiv \vec{P}_{\text{TOT}}^A = 0$$

$$\frac{P^{\text{TOT}} |i\rangle}{P^{\text{TOT}} |f\rangle} (AB) = \begin{pmatrix} E_A + m_B \\ \vec{P}_A + \vec{0} \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^N E_i \\ \vec{0} \end{pmatrix}$$

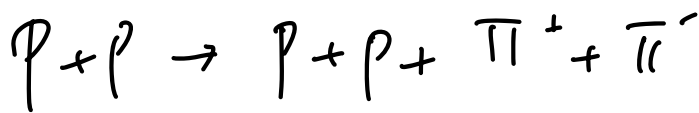
- (A) $p + p \rightarrow p + p + \pi^+ + \pi^-$
- (B) $p + p \rightarrow e^+ + e^-$

$$S \equiv |P^{\text{TOT}}|^2 = (E_A + m_B)^2 - |\vec{P}_A|^2 = \left(\sum_{i=1}^N E_i \right)^2 - 0^2$$

$$\begin{aligned}
&= E_A^2 + m_B^2 + 2E_A m_B - p_A^2 = \left(\sum_{i=1}^N E_i \right)^2 \\
&= m_A^2 + m_B^2 + 2E_A m_B = \left(\sum_{i=1}^N \sqrt{m_i^2 + p_i^2} \right)^2 \\
&= m_A^2 + m_B^2 + 2E_A m_B \geq \left(\sum_{i=1}^N \sqrt{m_i^2} \right)^2 \\
&= m_A^2 + m_B^2 + 2E_A m_B \geq (\sum m_i)^2
\end{aligned}$$

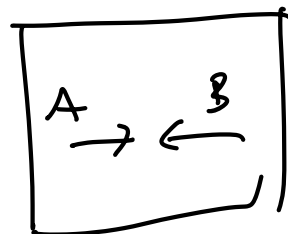
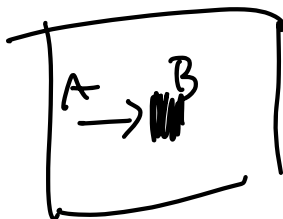
$$E_A \geq \frac{(\sum m_i)^2 - m_A^2 - m_B^2}{2m_B}$$

$$(T_A \geq E_A - m_A)$$



$$E_A \geq \frac{(2 \times 938 + 2 \times 1396)^2 - 938^2 - 938^2}{2 \cdot 938} \text{ MeV} \approx 1.5 \text{ GeV}$$

BEAMSAGLIO FISSO vs COLLIDER



VANTAGGI / SVANTAGGI

- basso \sqrt{s}

- L (LUMINOSTENITÀ)

- posso aumentare \sqrt{s}

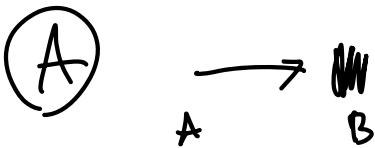
- $O(10^{11})$ particelle/fascio

Esercizio 8 Collider vs bersaglio fisso

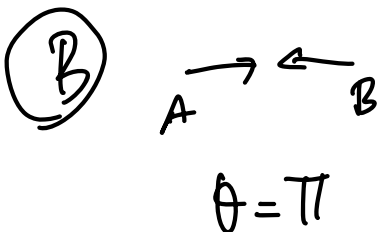
Qual è il modo più efficiente di far collidere particelle: un collider (o "collisionatore"), in cui due fasci di particelle si scontrano con impulsi lungo la stessa direzione ma verso opposto, o un esperimento a bersaglio fisso (o "targhetta fissa"), in cui un fascio si scontra contro un bersaglio immobile nel sistema di riferimento del laboratorio?

IL MIO BUDGET È \sqrt{s}

$$\begin{aligned}\sqrt{s} &\equiv \sqrt{s} = \sqrt{|\vec{P}_{TOT}|^2} \\ &= \sqrt{E_{TOT}^2 - |\vec{P}_{TOT}|^2}\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}\sqrt{s} &= \sqrt{(E_A + m_B)^2 - (\vec{p}_A + \vec{0})^2} \\ &= \sqrt{E_A^2 + m_B^2 + 2m_B E_A - p_A^2} \\ &= \sqrt{m_A^2 + m_B^2 + 2m_B E_A} \\ &\stackrel{E_A \gg m_A, m_B}{\approx} \sqrt{2m_B E_A}\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}\sqrt{s} &= \sqrt{(E_A + E_B)^2 - (\vec{p}_A + \vec{p}_B)^2} \\ &= \sqrt{E_A^2 + E_B^2 + 2E_A E_B - p_A^2 - p_B^2 - 2\vec{p}_A \cdot \vec{p}_B}\end{aligned}$$

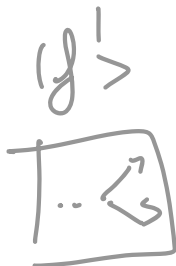
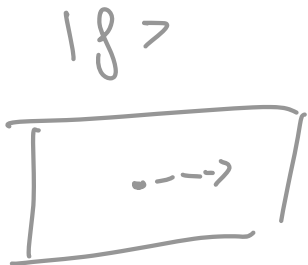
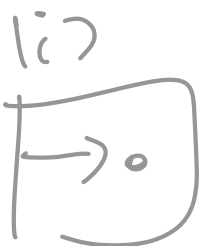
$$= \sqrt{m_A^2 + m_B^2 + 2E_A E_B - 2P_A P_B \cos \theta}$$

$$\begin{aligned} & \begin{matrix} E_A \gg m_A \\ E_B \gg m_B \end{matrix} \\ & \simeq \sqrt{2E_A E_B (1 - \cos \theta)} \\ & = \sqrt{2E_A E_B \cdot 2} \\ & = 2\sqrt{E_A E_B} \end{aligned}$$

Se avents le energie dei fasci
di 2π :

$$\begin{aligned} \text{TARGET:} & \quad \sqrt{s} \rightarrow \sqrt{2} \sqrt{s} = \sqrt{s'} \\ \text{COLLIDER:} & \quad \sqrt{s} \rightarrow 2\sqrt{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LHC:} & \quad E_A = E_B \simeq 6.5 \text{ TeV} \\ & \quad \sqrt{s} = 13 \text{ TeV} \end{aligned}$$



Esercizio 9 Come cambia l'energia tra centro di massa e laboratorio

Consideriamo il decadimento del pione in un muone e un antineutrino muonico,

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu,$$

dove $m_\pi = 140 \text{ MeV}/c^2$, $m_\mu = 105.6 \text{ MeV}/c^2$ e $m_\nu = 0$. Il pione si muove con una velocità $v = 0.27c$.

Quanto vale l'energia del muone nei vari sistemi di riferimento?

