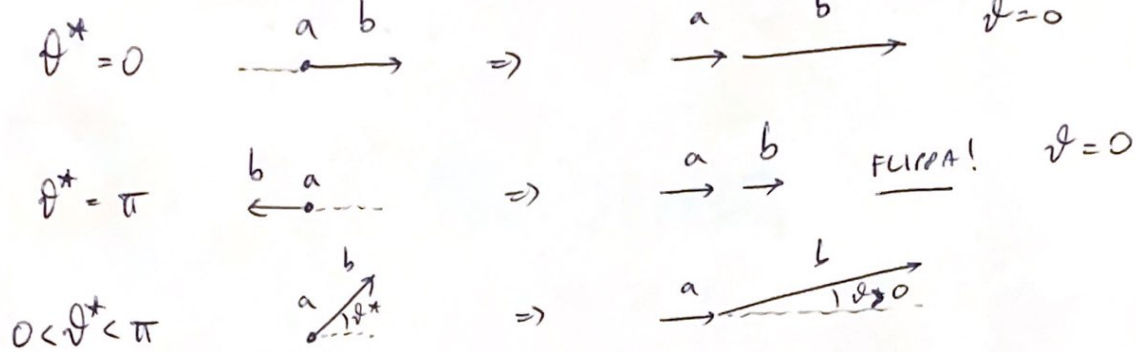
CdM | LAB | 1



vogliamo trovare angolo di apertura MAX ϑ_{max}

quindi cerco punto in cui si annulla derivata di 1

$$0 = \frac{d}{d\vartheta^*}(\tan\vartheta) = \frac{1 + \cos\vartheta^* \, (\beta_{cm}/\beta^*)}{\gamma_{cm}\left(\beta_{cm}/\beta^* + \cos\vartheta^*\right)}$$

EX

si annulla in corrispondenza di

$$\cos\vartheta^* = -\frac{\beta^*}{\beta_{cm}}$$

$$\Leftrightarrow \sin\vartheta^* = \sqrt{1-\cos^2\vartheta^*} = \sqrt{1-\frac{\beta^{*2}}{\beta_{cm}^2}} = \frac{1}{\beta_{cm}}\sqrt{\beta_{cm}^2-\beta^{*2}}$$

Quindi ϑ_{max} è definito da

$$\tan(\vartheta_{max}) = \frac{\frac{1}{\beta_{cm}}\sqrt{\beta_{cm}^2-\beta^{*2}}}{\gamma_{cm}\left(\frac{\beta_{cm}}{\beta^*} - \frac{\beta^*}{\beta_{cm}}\right)} = \sim$$

$\boxed{2}$ $\cancel{\boxed{3}}$ 2

$$= \frac{\sqrt{\beta_{cm}^2 - \beta^{*2}}}{\cancel{\beta_{cm}}\,\gamma_{cm}\left(\frac{\beta_{cm}^2 - \beta^{*2}}{\beta^*\,\cancel{\beta_{cm}}}\right)}$$

$$\Rightarrow \tan(\vartheta_{max}) = \frac{\beta^*}{\gamma_{cm}\sqrt{\beta_{cm}^2 - \beta^{*2}}}$$

<u>OK</u>

In corrispondenza di questo angolo abbiamo

$$E(\vartheta_{max}) = \gamma_{cm}\left(E^* + \beta_{cm}\, p^* \underbrace{\cos\vartheta^*}_{= -\beta^*/\beta_{cm}}\right) =$$

$$= \gamma_{cm}\left(E^* + \beta_{cm}\, p^*\left(-\frac{\beta^*}{\beta_{cm}}\right)\right) =$$

$$= \gamma_{cm}\left(E^* - \beta^* p^*\right) \qquad \beta^* = \frac{p^*}{E^*}$$

$$= \gamma_{cm}\left(E^* - \frac{p^{*2}}{E^*}\right) = \qquad \gamma^* = \frac{E^*}{m}$$

$$= \gamma_{cm}\left(\frac{\overbrace{E^{*2} - p^{*2}}^{m^2}}{E^*}\right) = \gamma_{cm}\,\frac{m^2}{E^*} =$$

$$= \frac{\gamma_{cm}}{\gamma^*}\, m = E(\vartheta_{max}) \neq \underline{\underline{E_{max}}}\ !$$

per che angolo si ottiene E_{max}?

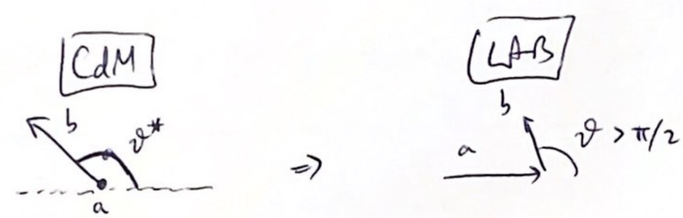
$\underline{\underline{\vartheta^* = 0}}$!

OK quello era il caso $\beta_{cm} > \beta^*$ e abbiamo visto che "vince" il boost

$\Leftrightarrow$ flippa la velocità di b

CASO: $\boxed{\beta_{cm} < \beta^*}$

$\Rightarrow \exists\, \vartheta^*$ t.c. $\vartheta_{LAB} > \frac{\pi}{2}$



$\vartheta = \frac{\pi}{2}$ quando $\cos\vartheta^* = -\beta_{cm}/\beta^*$

NON esiste ϑ_{MAX} (ovvero $\vartheta_{MAX} = \pi$)

derivata di 1 non si annulla mai

CASO: $\boxed{\beta_{cm} = \beta^*}$

il boost annulla esattamente β^*

ferma!

ENERGIA NEL CENTRO DI MASSA

Abbiamo visto che il 4-vettore energia/impulso si conserva (componente per componente)

$$P_{TOT} = \sum_i \begin{pmatrix} E_i \\ \vec{p}_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_{TOT} \\ \vec{p}_{TOT} \end{pmatrix}$$

$$\Rightarrow \quad P_{TOT}\Big|_{s.i.} = P_{TOT}\Big|_{s.f.}$$ nello <u>stesso SdR</u> !!

ma in generale NON è un invariante

$\Leftrightarrow$ cambia con boost di Lorentz

$$\begin{array}{c|c|c}
 & s.i. & s.f. \\
SdR_1 & (P_{TOT})_i = & (P_{TOT})_f \\
\hline
 & \neq & \neq \\
SdR_2 & (P_{TOT})_i' = & (P_{TOT})_f'
\end{array}$$

es. LAB e CdM

Però come <u>tutti</u> i 4-vettori la sua norma è

INVARIANTE

$$\Rightarrow \quad |P_{TOT}| = \sqrt{\left(\sum_i E_i\right)^2 - \left|\sum_i \vec{p}_i\right|^2} = \sqrt{s}$$

Visto che è invariante la posso calcolare nel ~~SdR~~ SdR che preferisco

⇒ la calcolo nel CdM

$$|P_{TOT}| = |P^*_{TOT}| = \sqrt{\Big(\sum_i E_i^*\Big)^2 - \Big|\underbrace{\sum_i \vec{p}_i^*}_{=\vec{0}\ \text{nel CdM}}\Big|^2} = \sum_i E_i^*$$

⇒ $\sqrt{s} = \sum_i E_i^*$ ENERGIA NEL CENTRO DI MASSA

	s.i.		s.f.
SdR_1	$\sqrt{s}$	$\neq$	$\sqrt{s}$
	$\parallel$		$\parallel$
SdR_2	$\sqrt{s}$	$\neq$	$\sqrt{s}$

TORNIAMO AL DECADIMENTO A DUE CORPI

s.i. c'è solo M ⇒ $P_{TOT} = \begin{pmatrix} E_M \\ \vec{p}_M \end{pmatrix}$

⇒ $\sqrt{s} = |P_{TOT}| = \sqrt{E_M^2 - \vec{p}_M^{\,2}} = M$

$\sqrt{s} = M$ vale anche per s.f.

S.F.

$$m_1 : \begin{pmatrix} E_1 \\ \vec{p}_1 \end{pmatrix} \qquad m_2 : \begin{pmatrix} E_2 \\ \vec{p}_2 \end{pmatrix}$$

$$\Rightarrow \quad p_{TOT} = \begin{pmatrix} E_1 + E_2 \\ \vec{p}_1 + \vec{p}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_{TOT} \\ \vec{p}_{TOT} \end{pmatrix}$$

$$\sqrt{s} = \sqrt{(E_1+E_2)^2 - |\vec{p}_1+\vec{p}_2|^2} \equiv M$$

le particelle dello stato finale si ricordano di M

($\forall$ SdR)

UNO DEI PRINCIPALI MODI CON CUI SI SCOPRONO PARTICELLE INSTABILI IN FISICA DELLE PARTICELLE

$\boxed{\text{ES: HIGGS}}$ $\quad m_H = 125$ GeV

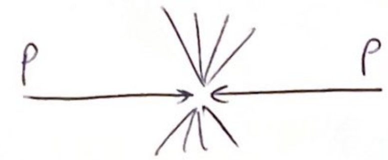
$H \to \gamma\gamma$ $\quad m_\gamma = 0$

vita media cortissima ($O(10^{-22}\,s)$)

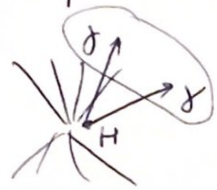
$\Rightarrow$ si vedono solo i fotoni

Come capisco che sono fotoni prodotti da H e non che fotoni a caso?

LHC: due fasci di protoni si scontrano



se produco H



se <u>NON</u> produco H

Ignoro tutto il resto e considero solo i due fotoni di cui misuro ENERGIA e DIREZIONE

$$p_{\gamma_1} = \begin{pmatrix} E_{\gamma_1} \\ \vec{p}_{\gamma_1} \end{pmatrix} \qquad \text{con } |\vec{p}_i| = E_i \quad (m_\gamma = 0)$$

$$p_{\gamma_2} = \begin{pmatrix} E_{\gamma_2} \\ \vec{p}_{\gamma_2} \end{pmatrix}$$

e calcolo la <u>massa invariante</u> del sistema di due fotoni

$$M_{inv}^{\gamma\gamma} = \sqrt{(E_{\gamma_1} + E_{\gamma_2})^2 - |\vec{p}_{\gamma_1} + \vec{p}_{\gamma_2}|^2}$$

QUANTITA' SPERIMENTALE

Se i due γ vengono da H allora

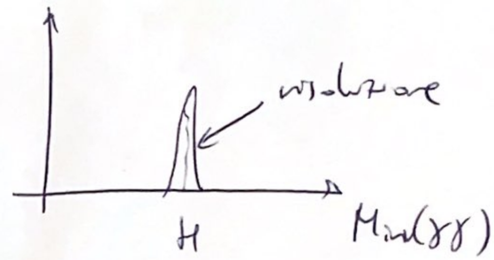
s.i. | s.f.

$$H: \begin{pmatrix} E_H \\ \vec{p}_H \end{pmatrix} \qquad \begin{pmatrix} E_{\gamma_1} \\ \vec{p}_{\gamma_1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} E_{\gamma_2} \\ \vec{p}_{\gamma_2} \end{pmatrix}$$

$$\Rightarrow \quad M_{inv}(\gamma\gamma) \overset{!}{=} \sqrt{s}\Big|_{s.i.} = M_H$$

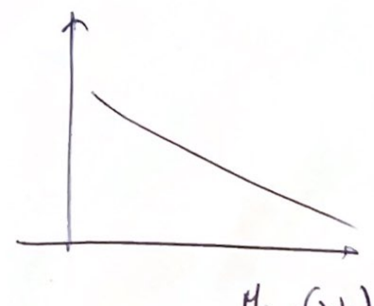
↑ lo calcolo nel s.i. per comodità ma tanto $\sqrt{s}\Big|_{s.i.} = \sqrt{s}\Big|_{s.f.}$

⇒ anche nello stato finale



Se invece NON vengono da H

s.i. NON DEFINITO $\Rightarrow \sqrt{s}\Big|_{s.i.}$ variabile



⇒