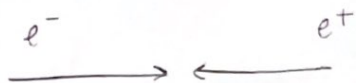


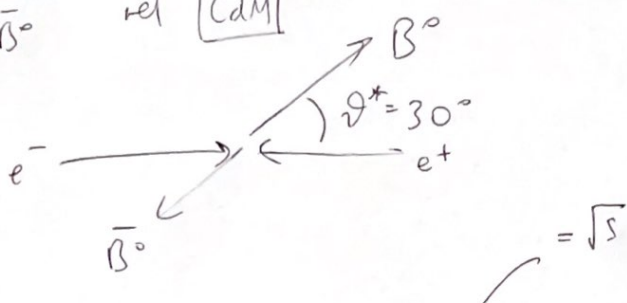
EX

1



Collision : e^- con $E_- = 9.1 \text{ GeV}$
 e^+ con $E_+ = 3 \text{ GeV}$

reagisce prodott due mesoni $B^0 \bar{B}^0$ con $m_B = 5.279 \text{ GeV}$
 $e^+e^- \rightarrow B^0 \bar{B}^0$ nel CM



a) Calcolare l'angolo theta nel CM e il boost nel CM

$$p_- \sim E_- \quad p_+ \sim E_+$$

$$\Rightarrow p_- = (E_-, 0, 0, E_-) \quad p_+ = (E_+, 0, 0, -E_+)$$

$$\Rightarrow p_{tot} = p_- + p_+ = (E_- + E_+, 0, 0, E_- - E_+)$$

$$\Rightarrow \sqrt{s} = \sqrt{(E_- + E_+)^2 - (E_- - E_+)^2} = 10.564 \text{ GeV}$$

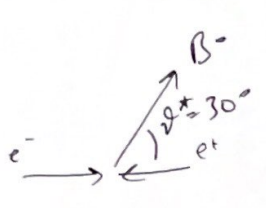
$$\beta_{cm} = \frac{p_{tot}}{E_{tot}} = \frac{E_- - E_+}{E_- + E_+} = 0.49$$

$$\gamma_{cm} = \frac{E_{tot}}{\sqrt{s}} = 1.15$$

⑤ Calcolare \vec{p} di due mesoni B nel LAB [2]

Nel CM $E^*(B^0) = E^*(\bar{B}^0) = \frac{\sqrt{s}}{2} = 5.282 \text{ GeV}$

$$\Leftrightarrow p^*(B^0) = \sqrt{E^{*2} - m_B^2} = 178 \text{ MeV}$$

 $\Rightarrow \vec{p}^*(B^0) = (p_{\perp}^*, p_{\parallel}^*) =$
 $= (p^* \sin \vartheta^*, p^* \cos \vartheta^*)$

$$e \quad \vec{p}^*(\bar{B}^0) = -\vec{p}^*(B^0)$$

INVECE NEL LAB: v fu TdL

$$p_{\perp} = p_{\perp}^*$$

$$e \quad p_{\parallel}(B^0) = \gamma_{cm} (\beta_{cm} p_{\parallel}^* + \beta_{cm} E^*) = 3.15 \text{ GeV}$$

$$p_{\parallel}(\bar{B}^0) = \gamma_{cm} (-\beta_{cm} p_{\parallel}^* + \beta_{cm} E^*) = 2.80 \text{ GeV}$$

⑥ $\tau_B = 1.5 \text{ ps}$

Assumendo che il \bar{B}^0 decade a $t_0 = 0$ ($t=0$)

e il mesone B^0 a $t > 0$

Calcolare Δt e Δz^*

Nel CdM

$$P_t^* = P_{||}^* = P^* \cos \theta^* \quad \boxed{3}$$

$$\Delta t^* = \beta_z^* \gamma^* c \tau_B = \frac{P_t^*}{m_B} c \tau_B = \frac{P^* \cos \theta^*}{m_B} 13 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

$$= 13 \mu\text{m}$$

\nearrow media \nearrow media

Nel LAB

$$\Delta t = \beta_z \gamma c \tau = \frac{P_z}{m_B} c \tau_B = 269 \mu\text{m}$$

\nearrow 3.15 GeV

- (d) Se il rivelatore di vertice misura la distanza con una risoluzione di $50 \mu\text{m}$, calcolare la significanza con cui possiamo dire che Δt^* e Δt sono diversi da 0

$$\Delta t^* = 13 \mu\text{m} < 50 \mu\text{m} \Rightarrow \text{compatibile con } 0$$

$$\Delta t = 269 \mu\text{m}$$

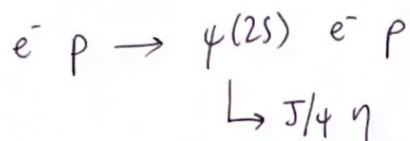
$$\frac{\Delta t}{\sigma} = \frac{269}{50} = 5.4 \quad \text{diverso da } 0$$

con significanza $> 5\sigma$

Ex

Un fascio di elettroni incide su un bersaglio
fisso producendo la reazione

4



$$m_\psi = 3686 \text{ MeV}$$

$$m_p = 938 \text{ MeV}$$

$$m_e = 0.511 \text{ MeV}$$

$$m_{J/\psi} = 3097 \text{ MeV}$$

$$m_\eta = 548 \text{ MeV}$$

(a) $E_{soglia} = ?$

$$E_{soglia} = \frac{\left(\sum_f m_f\right)^2 - m_i^2 - m_b^2}{2m_b} =$$

$$= \frac{(m_\psi + m_e + m_p)^2 - m_e^2 - m_p^2}{2m_p} =$$

$$= 10931 \text{ MeV}$$

(b) il 3-impulso MAX di $\psi(2S)$ nel LAB

con $E_e = 20 \text{ GeV}$

NOTA: E_ψ è max quando la

massa inv. di $(e^- p)$ è min

$$\Rightarrow M(e^- p) = m_e + m_p$$



5

$$M_{inv}(e^-, p) = |\vec{p}_e + \vec{p}_p| = \left| (\vec{E}_e + \vec{E}_p, \vec{p}_e + \vec{p}_p) \right| =$$

$$= \sqrt{(\vec{E}_e + \vec{E}_p)^2 - |\vec{p}_e + \vec{p}_p|^2} = \sqrt{(\vec{E}_e + \vec{E}_p)^2}$$

$$= \sqrt{\underbrace{E_e^2 + E_p^2 + 2E_e E_p} - \underbrace{p_e^2 + p_p^2 + 2p_e p_p \cos \alpha}}$$

$$= \sqrt{m_e^2 + m_p^2 + 2E_e E_p - 2p_e p_p \cos \alpha}$$

se $E \gg m$

$$\approx \sqrt{m_e^2 + m_p^2 + 2E_e E_p (1 - \cos \alpha)}$$

se $\alpha = 0$ \Rightarrow $\underline{\underline{min}}$

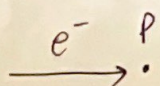
$$M_{inv}^{min}(e^-, p) = m_e + m_p$$

ent. vogliamo p_4^{max} nel LAB

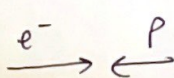
Questo succede quando

$\vec{p}_4^* \parallel \text{boost}$

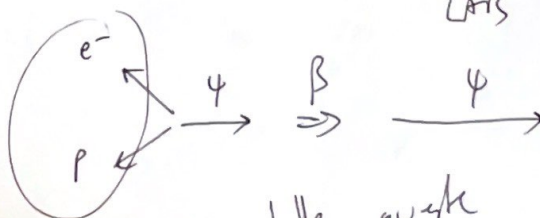
LAB, s.i.



COM, s.i.



COM s.f.



\uparrow e fin. la configurazione
prende quella
con $\alpha = 0$

6

possiamo vedere come



come due "particelle" back-to-back
in questo p.l.h. la massa variabile
a seconda di come sono messi
 e^-/p (α)

In generale avremo visto che (decadimento in due corpi)

$$E_Y^* = \frac{S - m_{ep}^2 - m_Y^2}{2\sqrt{S}}$$

Valore di raggio $E_Y^{*max} \leftrightarrow m_{ep}^{min} = m_e + m_p$

$$\Rightarrow E_Y^{*max} = \frac{S - (m_e + m_p)^2 - m_Y^2}{2\sqrt{S}}$$

Quindi senza \sqrt{S} , da 6 prende dalla s.i. nel LAB

$$e^- \rightarrow p \quad P_{tot} = \begin{pmatrix} E_e + m_p \\ E_e \end{pmatrix} \quad \text{con } E_e = 20 \text{ GeV} \quad (\gg m_e)$$

$$\Rightarrow \sqrt{S} = \sqrt{(E_e + m_p)^2 - E_e^2} = \sqrt{E_e^2 + m_p^2 + 2E_e m_p - E_e^2} = \sqrt{m_p^2 + 2E_e m_p} = 6198 \text{ MeV}$$

$$\Rightarrow E_{\psi}^{*max} = 4124 \text{ MeV}$$

7

$$\Rightarrow P_{\psi}^{*max} = \sqrt{E_{\psi}^{*max 2} - m_{\psi}^2} = 1849 \text{ MeV}$$

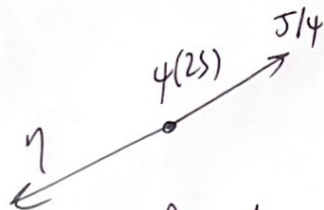
Per avere gli eloni nel LAB la cui funzione TdL:

$$\beta_{cm} = \frac{\vec{P}_{tot}}{E_{tot}} = \frac{P_e}{E_e + m_p} = 0.955$$

$$\gamma_{cm} = \frac{E_e + m_p}{\sqrt{s}} = 3.38$$

$$\Rightarrow P_{\psi}^{max} = \gamma_{cm} (P_{\psi}^{*max} + \beta_{cm} E_{\psi}^{*max}) = 19900 \text{ MeV}$$

(c) Impulso della J/ψ nel sistema di quiete della ψ



Decadimento in due corpi

$$\Rightarrow E_{J/\psi}^* = \frac{m_{\psi(2S)}^2 - m_{\gamma}^2 + m_{J/\psi}^2}{2m_{\psi}} = 3103 \text{ MeV}$$

$$P_{J/\psi}^* = \sqrt{E_{J/\psi}^{*2} - m_{J/\psi}^2} = 199 \text{ MeV}$$

CONVERSI, PANCINI, PICCIONI

8

FINE ANNI '30 / INIZIO ANNI '40

Contesto: scoperta componente "penetrante"
dei raggi cosmici

muoni fin 100 e 200 MeV

Che particella è?

Si conoscevano $p/\nu/e$ e da poco anche e^+
(si pensava di aver trovato)

Nel 1935 Yukawa predice particella con massa
fin $(m_e \text{ e } m_p)$ "mesone": portatore di forza forte.

Visita da range di forza forte è $\sim 1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$

\Rightarrow per lunghezza d'onda di de Broglie

$$\lambda = \frac{h/c}{m} \quad \Leftrightarrow \quad m = \frac{h/c}{\lambda}$$

$$\Leftrightarrow mc^2 = \frac{hc}{\lambda} = \frac{200 \text{ MeV fm}}{1 \text{ fm}} \sim 200 \text{ MeV}$$

[Oggi sappiamo che forza forte è trasportata da gluoni
ma in approx di bassa energia: primi sono le particelle
di Yukawa (e infatti $m \sim 140 \text{ MeV}$)

[9]

Domanda di quegli anni: ragazzi cosare
"pentimenti" saranno la patella di Yukawa?

⇒ CONVERSI, PANCINI, PICCOLI

SOTTO LE BOMBE!

1943 - bombardamento aereo di San Lorenzo
> 80 bombe colpiscono città universitaria

⇒ sportus apparato sperimentale nei sotterranei
del liceo Virgilio (⇒ più vicino al Vaticano)

PANCINI dopo 8 settembre va al Nord per
combattere con i partigiani in GAP del Veneto

⇒ esperimento continuato da Conner e Piccoli

cavalletti tirati a mano da gruppi di
studenti mentre Amaldi faceva da bullettinista
in bicicletta

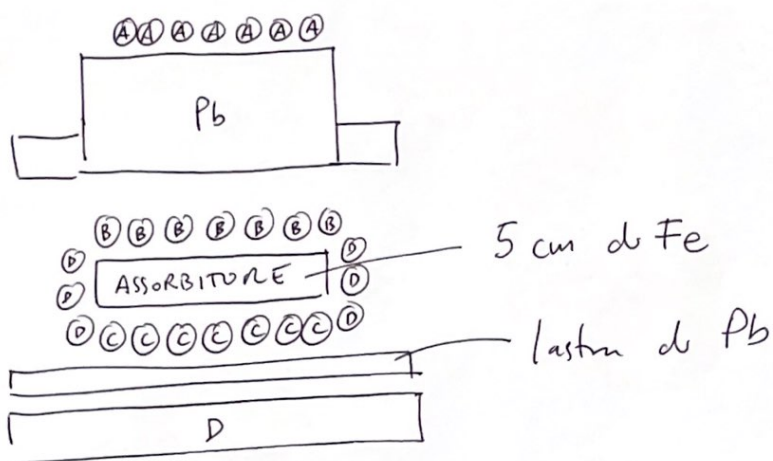
PRIMO ESPERIMENTO: CONVENSI e PICCOLI 1944

10

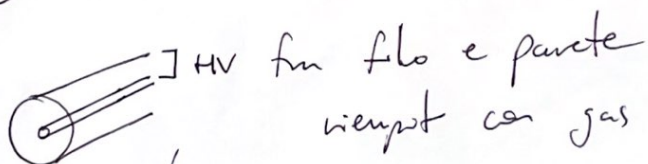
OBIETTIVO: misurare vita media del mesotrone

Si sapeva che $\mu^\pm \rightarrow e^\pm + \dots$

s: voleva fermarli in assorbitore
e contare decadimenti



(A)(B)(C)(D) sono contatori Geiger



particella carica che passa \rightarrow ionizza
HV e fulmine alla \rightarrow $+e^-$
sono attratti dai elettrodi \rightarrow scintille

\rightarrow corrente sul filo
 \rightarrow conte

TRIGGER

11

(A) in coincidenza $\rightarrow \mu^\pm$ che vanno in giro
della loro assorbitore

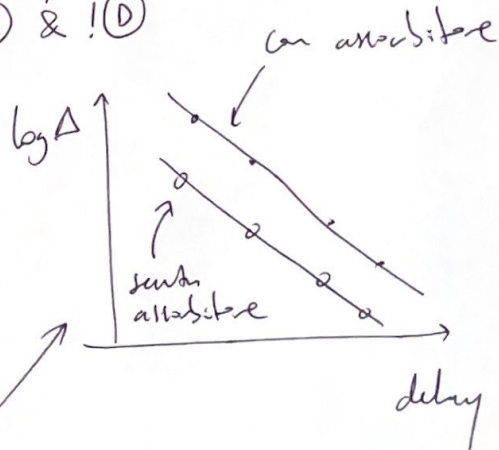
(C) in coincidenza ritardata

con delay variabile $\rightarrow \mu$ si ferma in
assorbitore e due anni tempo
di decadere producendo
debole (po' cattivo)

! (D) \rightarrow veto!

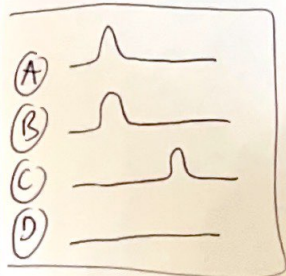
non vogliamo μ che NON si sono fermati

start:
(full stopped) - (stopped + decay) = (ancora vivi)
 $\Rightarrow \Delta := (A \& B \& !D) - (A \& B \& C \& !D)$



dal fit $\tau = 2.3 \cdot 10^{-6} \text{ s} \pm 7.5\%$

Mentre Yukawa predice $\tau \sim 10^{-8} \text{ s}$!
(infatti $\tau_\pi = 2.6 \cdot 10^{-8} \text{ s}$)

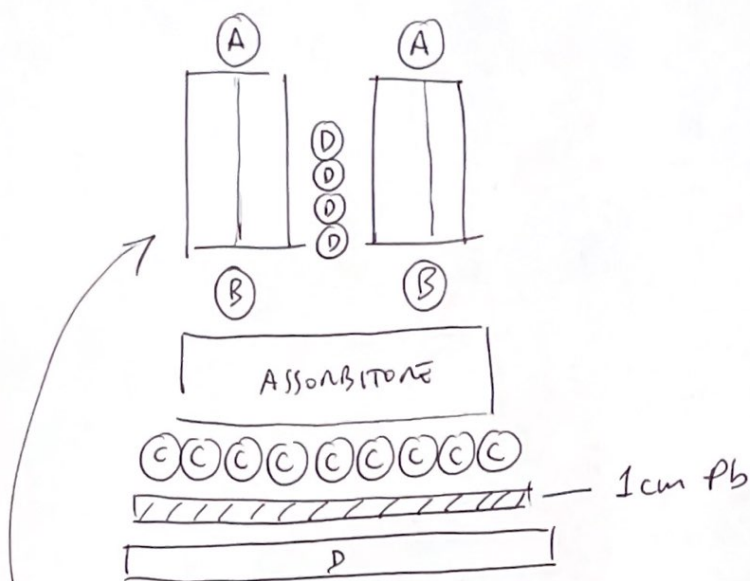


SECONDO ESPERIMENTO

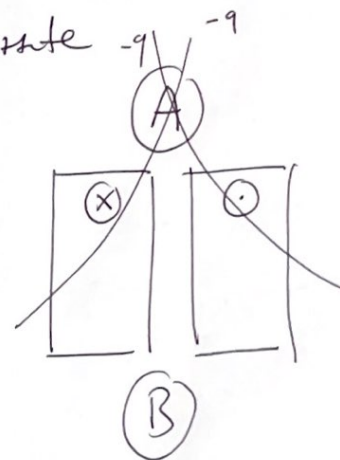
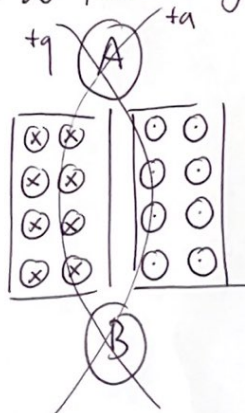
CONVERSI PANCINI PICCOLI

1945-46

12

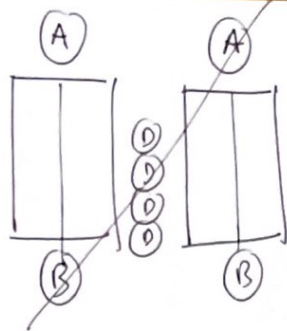


lastre di ferro magnetizzate $-q$ $-q$



focalizziamo particelle di un
canale e defocalizziamo l'altro

\Rightarrow coincidendo $(A) + (B)$ seleziono un canale



e rete D per evitare
diagonali

13

\Rightarrow come primo studio

$$\Delta = (A \& B \& !D) - (A \& B \& C^{\text{delay}} \& !D)$$

ovvero selezione solo μ^\pm che μ sono fermati
dentro contatore e $\bar{\nu}$ dentro decalatore in e^\pm

QUINDI MISURE A PRIMO ESPERIMENTO POTEVANO
SELEZIONARE SEGNO DI CARICA. PERCHÉ UTILE?

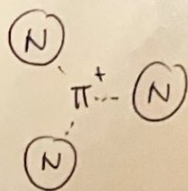
YUKAWA predice che se mesotrone π mediatore di
forza forte allora diverso comportamento fra π^+ e π^-

(π^-) viene attratto dai nuclei (positivi)

\Rightarrow si sovrappone \Rightarrow si annichila con nucleone

\Rightarrow scompaie (decade) con τ tipico della
forza forte $\tau \sim 10^{-23} s$

(π^+) invece π^+ repulso dai nuclei quindi si ferma
lontano dai nuclei



\Rightarrow ha tempo di decadere con \ln
sua vita media

$$\tau_\pi \sim 10^{-8} s$$

$$\tau_\mu \sim 10^{-6} s$$

⇒ fissando un delay fisso su \odot otteniamo

14

CON ASSORBIMENTO DI FERRO

per $+q$: rate di 0.33 event/ora

per $-q$: rate di 0.07 event/ora

$RATE(-q) \ll RATE(+q) \Rightarrow$ sembra essere in accordo con
predizioni di Yukawa

($-q$ decade $\downarrow A$ a $t=0 \Rightarrow$ con delay
↳ perde)

Poi CAMBIANO ASSORBIMENTO!

CON ASSORBIMENTO DI GRAFITE (CARBONIO)

$+q$ e $-q$ hanno rate simili!

CONTRODICENDO YUKAWA! \Rightarrow MESOTRONE NON È PARTICELLA

DI YUKAWA \Rightarrow è una particella nuova (π)

MAI: "who ordered that?" APRES LA POINTE

ALLA FISICA DES PARTICULES

(si pensava ci fossero solo
e/p/n particelle atomiche
ma invece c'è un
intero zoo)

COME MAI MUONI HANNO COMPORTAMENTO
DIVERSO IN Fe e C?

15

DI BME:

μ^+ : respinto dai nuclei

→ si ferma lontano

→ decade con la sua vita media τ

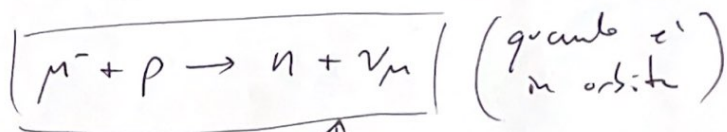
μ^- : attratti dai nuclei

→ si mette in orbita

→ decade con sua τ

↑
uguale!
↓

e il Ferro? CATTURA K del MUONE



PROB $\sim Z^4$

↑
quindi molto
meno probabile
nel carbonio

↑
cattura elettronica!
quindi scomparsa