ER PER CHSA 1

$p = 1$ GeV $e^+ / \pi^+ / K^+ / p$

$m_e = 0.511$ MeV

$m_\pi = 140$ MeV

$m_K = 494$ MeV

$m_p = 938$ MeV

Č fa luce se $\beta > \frac{1}{n}$

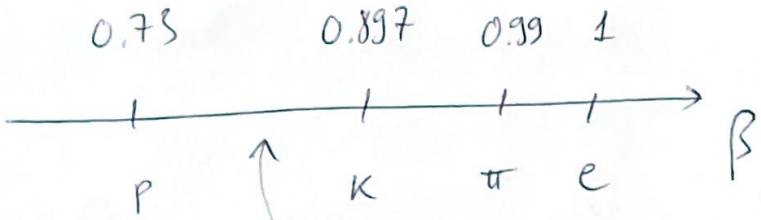
Calcolo β:

$$\beta_e = \frac{p}{E_e} = \frac{p}{\sqrt{m_e^2 + p^2}} = 0.999999999\ldots \sim 1$$

$$\beta_\pi = \frac{p}{\sqrt{m_\pi^2 + p^2}} = 0.990$$

$$\beta_K = 0.897$$

$$\beta_p = 0.73$$



& scelgo un $\check{C}$ con $\beta_p < \frac{1}{n_1} < \beta_K$

luce per K/π/e

NO luce per p

⇒ bastano prendere 3 $\check{C}$:

$$\beta_p < \frac{1}{n_1} < \beta_K$$

$$\beta_K < \frac{1}{n_2} < \beta_\pi$$

$$\beta_\pi < \frac{1}{n_3} < \beta_e \sim 1$$

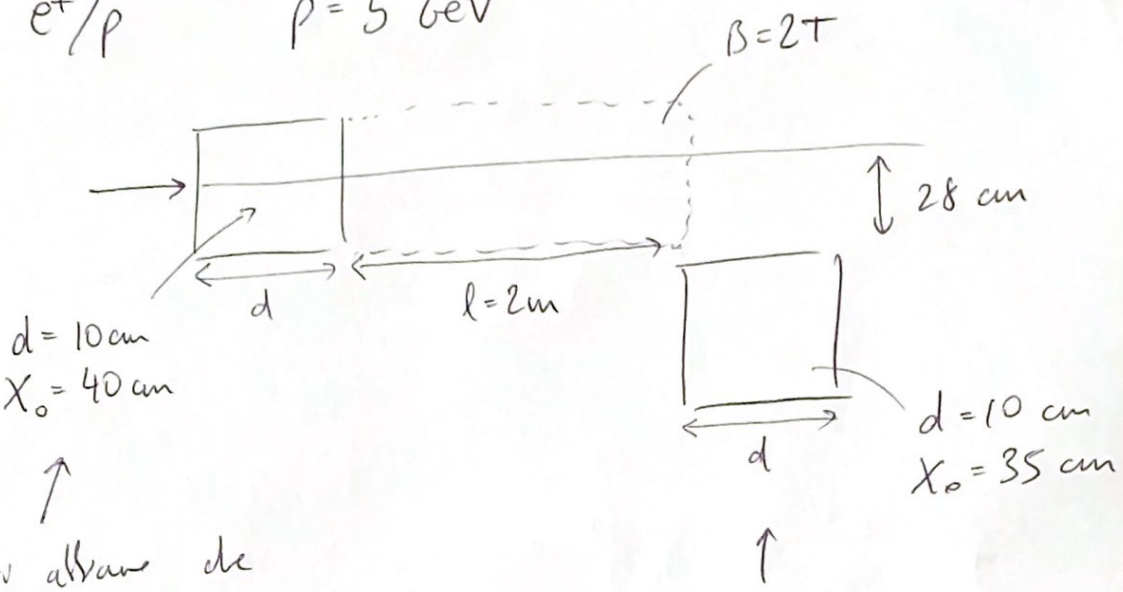
IN QUESTO MODO

	C_1	C_2	C_3	
p	×	×	×	← se non ho trigger serve 4° $\check{C}$
K	×	×	×	
π	✓	✓	×	
e	✓	✓	✓	

EX PER CASA 2

3

e^+/p $\quad p = 5$ GeV



Qui attraversa che

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_{ion,e} = 2.5 \text{ MeV/cm} \qquad \left(\frac{dE}{dx}\right)_{ion,e} = 3 \text{ MeV/cm}$$

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_{ion,p} = 2 \text{ MeV/cm} \qquad \left(\frac{dE}{dx}\right)_{ion,p} = 2.2 \text{ MeV/cm}$$

(a) ΔE_{tot} nel primo blocco ?

$$\Delta E_p = \Delta E_{ion,p} = \left(\frac{dE}{dx}\right)_{ion,p} \cdot d = 2 \text{ MeV/cm} \cdot 10 \text{cm} =$$

20 MeV

$$\Delta E_e = \Delta E_{ion} + \Delta E_{brem}$$

↑ non sappiamo z quindi non possiamo calcolare E_c

MA sicuramente a queste energie domina BREM

visto che $E_c \sim \frac{700\ MeV}{Z} \leq 700\ MeV$

e $E_e \sim p = 5\ GeV$

in ogni caso

$$\Delta E_{ion} = \left(\frac{dE}{dx}\right)_{ion,e} \cdot d = 2.5\ MeV/cm \cdot 10\ cm = 25\ MeV$$

$$\Delta E_{brem} = E\left(1 - e^{-d/X_0}\right) = 5\ GeV\left(1 - e^{-10/40}\right) = 1.11\ GeV$$

$$\Rightarrow \Delta E_e = 25\ MeV + 1.11\ GeV = 1.135\ GeV$$

$\Rightarrow$ dopo il primo blocco:

$= \sqrt{p^2 + m_p^2} = 5.09\ GeV$

$$E'_p = E_p - \Delta E_p = 5.09\ GeV - 0.02\ GeV = 5.07\ GeV$$

$$E'_e = E_e - \Delta E_e = 5\ GeV - 1.135\ GeV = 3.87\ GeV$$

$\sim p = 5\ GeV$

(b) raggio di curvatura ~~dopo il primo blocco~~ e deviazione da asse di volo alla fine di spettrometro magnetico

$\boxed{5}$

$$R = \frac{p}{qB} \rightarrow R[m] = \frac{p\,[GeV]}{0.3 \cdot B[T]}$$

$$\begin{cases} p_p' = \sqrt{E_p'^2 - m_p^2} = 4.98 \text{ GeV} \\ p_e' = \sqrt{E_e'^2 - m_e^2} \sim E_e' = 3.87 \text{ GeV} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} R_p = \dfrac{4.98}{0.3 \cdot 2} = 8.30 \text{ m} \\ R_e = \dfrac{3.87}{0.3 \cdot 2} = 6.45 \text{ m} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_p = \dfrac{0.3\, B \overset{(2m)^2}{L^2}}{2p_p'} = 24 \text{ cm} \\ x_e = \dfrac{0.3 \cdot BL^2}{2p_e'} = 31 \text{ cm} \end{cases}$$

(c) Qual attraversa secondo blocco e quanta energia perde?

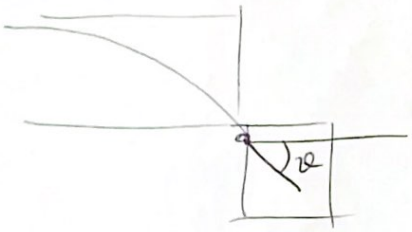
Secondo blocco sta a $x_2 = 28$ cm

$\Rightarrow$ e passano perché hanno $x_e > x_2$

Escono con angolo

$$\tan\frac{\vartheta_e}{2} = \frac{x}{L}$$

$$\Rightarrow \vartheta_e = 2\tan^{-1}\left(\frac{x}{L}\right) = 0.3 \text{ rad}$$



$\Rightarrow$ attraversa non d ma

$$d' = \frac{d}{\cos\vartheta} = \frac{10 \text{ cm}}{0.95} = 10.5 \text{ cm}$$

$\Rightarrow$ $E'' = E' - \Delta E'$

$\Delta E' = \Delta E'_{ion} + \Delta E'_{brem}$

$$\Delta E'_{ion} = \left(\frac{dE}{dx}\right)_2 \cdot d' = 3 \cdot 10.5 = 31.5 \text{ MeV}$$

$$\Delta E'_{brem} = E'\left(1 - e^{-d'/X_0}\right) = E'\left(1 - e^{-10.5/35}\right) =$$

$$= 3.87\left(1 - e^{-10.5/35}\right) =$$

$$= 1 \text{ GeV}$$

$\Rightarrow \Delta E = 1.03$ GeV $\Rightarrow E'' = 3.87 - 1.03 = 2.84$ GeV

CONVERSI, PANCINI, PICCIONI

FINE ANNI '30 / INIZIO '40

CONTESTO: Scoperta componente "penetrante" di raggi cosmici

massa fra 100 e 200 MeV

che particella è?

si conoscevano $p/e^-/n$ e da poco anche e^+

(si pensava di aver chiuso)

Nel 1935 Yukawa predice p.lla con massa fra m_e e m_p ("mesone"): portatore di forza forte.

Visto che range di forza forte è $\sim 1\,fm = 10^{-15}\,m$

$\Rightarrow$ ~~[illegible]~~ $\cancel{\frac{(\hbar/c)}{10^{-15}\,m}}$

$\Rightarrow$ per lunghezza d'onda di de Broglie

$$\lambda = \frac{\hbar/c}{m} \Leftrightarrow m = \frac{\hbar/c}{\lambda} = \cancel{\frac{200\,MeV\,fm}{1\,fm} \sim 200\,MeV}$$

$$\Updownarrow$$

$$mc^2 = \frac{\hbar c}{\lambda} = \frac{200\,MeV\,fm}{1\,fm} \sim 200\,MeV$$

Noi oggi sappiamo che forza forte trasportata da gluoni, ma in approx di bassa E i pioni sono portatori (e infatti $m_\pi = 140$ MeV ~ 200 MeV)

La domanda di quegli anni: raggi cosmici "penetranti" sono la particella di Yukawa?

⇒ CONVERSI PANCINI PICCIONI

SOTTO LE BOMBE!

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

⇒ spostano 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 ~~fatto~~ continuato da Conversi e Piccioni

carretto tirato a mano da manipolo di studenti mentre Amaldi faceva da battistrada in bicicletta

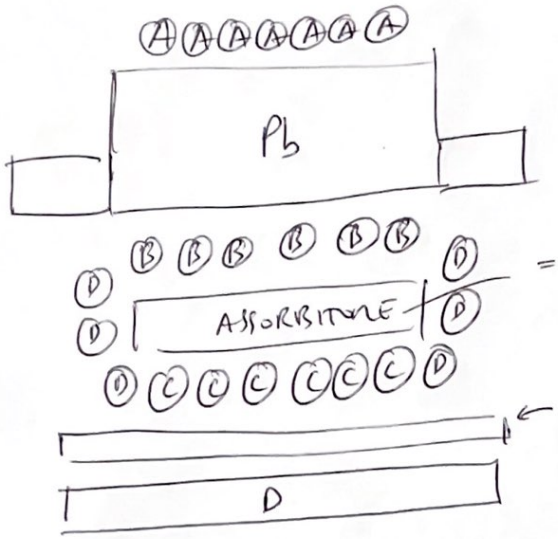
PRIMO ESPERIMENTO: CONVERSI e PICCIONI 1944

OBIETTIVO: MISURARE LA VITA MEDIA DEL MESOTRONE

SI SAPEVA CHE $\mu^{\pm} \to e^{\pm} + \dots$

~~[illegible]~~

SI VOLEVA FERMARLI IN ASSORBITORE E CONTARE DECADIMENTI



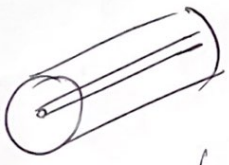
= 5cm di Fe

← LASTRA DI Pb

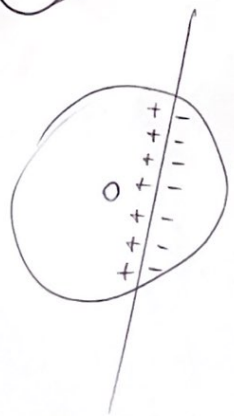
~~[illegible]~~

~~A + B in coincidenza~~

A B C D sono contatori Geiger



HV fra filo e parete riempito con gas



p.lla carica passa e ~~[illegible]~~ ionizza ⇒ HV è talmente alta che ⊕ e ⊖ si allontanano → scarica → conto

TRIGGER

A+B in coincidenza → μ che vanno in giù diritti verso assorb.

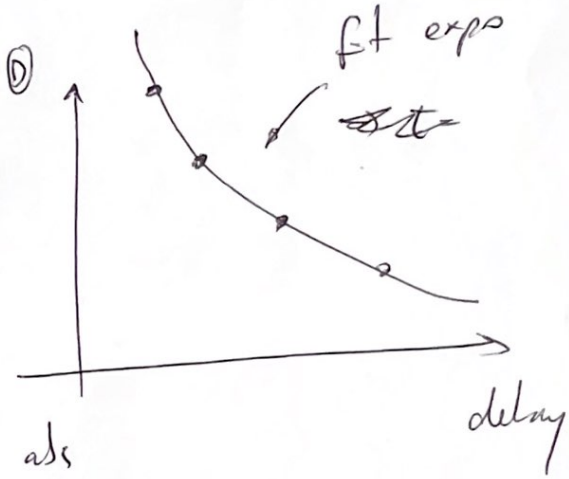
C in coincidenza ritardata

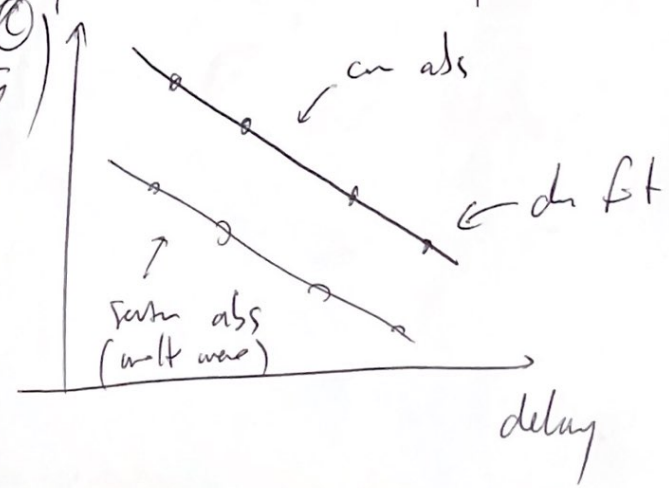
con delay variabile → μ si fermano in assorbitore e dopo un po' decade producendo elettrone

!D → VETO

non voglio μ che non si sono fermati o storti

$\Delta := A \& B \& !D - A \& B \& \overset{\text{delay}}{C} \& !D$

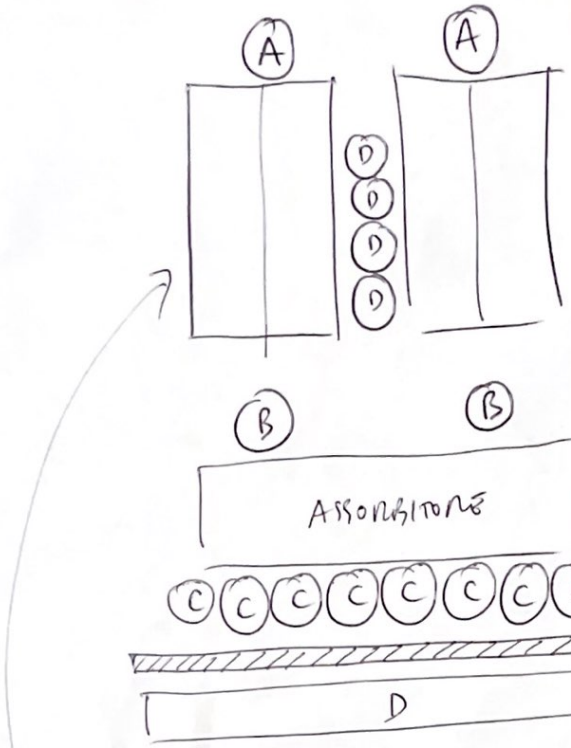




$\tau = 2.3 \cdot 10^{-6}\,s$
$\pm 7.5\%$

MENTRE YUKAWA PREDICEVA
$\tau \sim 10^{-8}\,s$!
$(\tau_\pi = 2.6 \cdot 10^{-8}\,s)$

SECONDO ESPERIMENTO : CONTEGGI PANCINI PICCIONI 1945-46

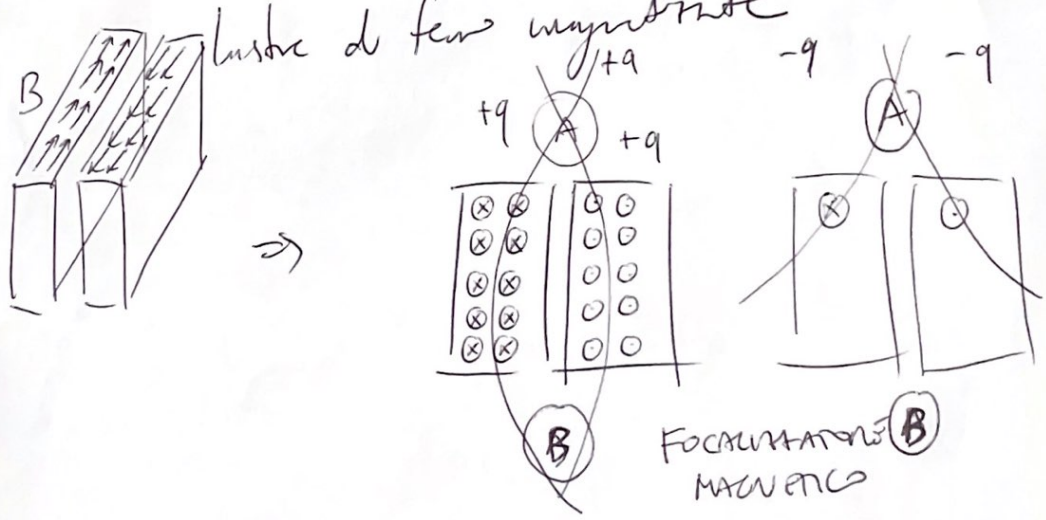


COINCIDENZA:

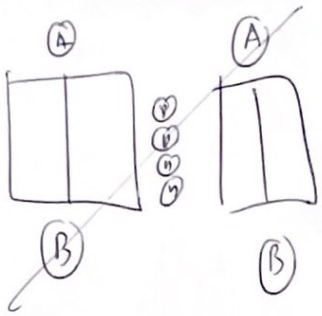
$A \,\&\, B \,\&\, \overset{\text{delay}}{C} \,\&\, !D$

STUDIO SEMPRE

$\Delta := III - IV = A\&B\&!D - A\&B\&\overset{\text{delay}}{C}\&!D$



⇒ coincidenza A & B selezione un canale ±q



veto D per evitare μ diagonali

A & B & C (delay) & !D

POI COME PRIMA: ~~aspetto che~~ con selezione μ che sono stati fermati ~~da~~ nell'assorbitore e sono decaduti in elettroni li denuncio

QUINDI RISPETTO A PRIMO ESPERIMENTO POTEVANO SELEZIONARE CARICA. PERCHE' UTILE?

YUKAWA prevede che se MESOTRONE è particella ~~di~~ mediatrice di forza forte, allo quando rallenta

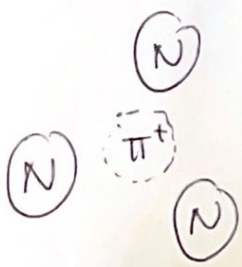
$\Rightarrow$ π^- ~~quando~~ viene attirato dai nuclei

$\Rightarrow$ si sovrappone con nuclei

$\Rightarrow$ ~~da~~ si annichila con un nucleone

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

$\Rightarrow$ π^+ invece si ferma e sente repulsione dei nuclei



$\Rightarrow$ si ferma lontano dai nuclei

$\Rightarrow$ decade con la sua vita media

$\tau \sim 10^{-8}$ s π

$\tau \sim 10^{-6}$ s μ

⇒ con un delay su (C) fisso ottengono

CON ASSORBITORE DI FERRO

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

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

RATE$(-q)$ << RATE$(+q)$ ⇒ sembra essere in accordo con previsioni di YUKAWA

($-q$ decade a $t \sim 0$ ⇒ con delay lo perdo)
(ovvero triggera IV ma non III)

POI CAMBIAMO ASSORBITORE!

CON ASSORBITORE DI GRAFITE (CARBONIO)

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

⇒ MESOTRONE NON E' PARTICELLA DI YUKAWA

⇒ e' una particella NUOVA → (M)

WHO ORDERED THAT?

APRE LE PORTE DELLA FISICA DELLE PARTICELLE
(SI PENSAVA CI FOSSERO SOLO e/p/n, MA C'E' UN INTERO ZOO)

COME MAI? NOI OGGI SAPPIAMO CHE SONO μ

μ^- → attirato da nuclei
→ orbita un po'
→ decade con $\tau \sim 10^{-6}$ s

μ^+ → respinto da nuclei uguale
→ si ferma lontano
→ decade con $\tau \sim 10^{-6}$ s

e il FERRO?

CATTURA K del μ^-: $\mu^- + p \to n + \nu_M$
(PROB $\sim Z^4$) SENZA ELETTRONI!