

STRANEZZA



leptoni	{	e^-	μ^-	τ^-
		ν_e	ν_μ	ν_τ
quark	{	u	c	t
		d	s	b

replicazione famiglia

↑ basta queste per materia (atomi)

$$|p\rangle = |udd\rangle$$

$$|n\rangle = |udd\rangle$$

CONVULSI · PANICHI · PICCIONI → scoperta del μ

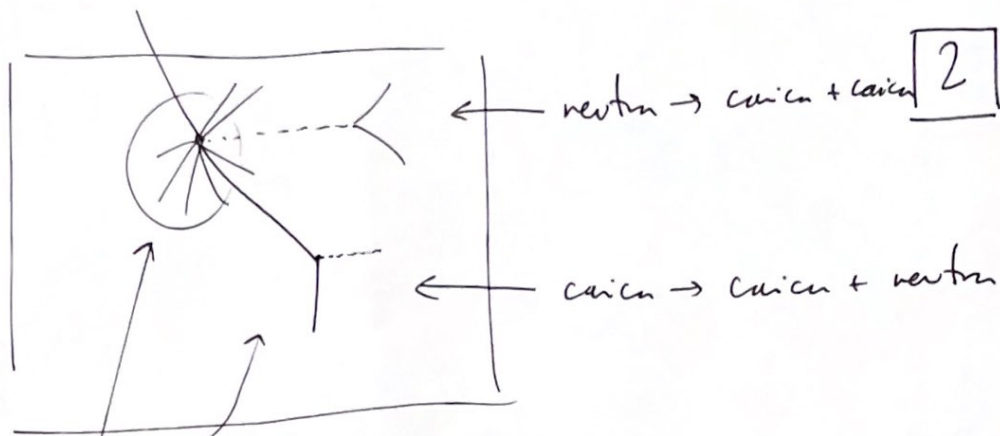
prima hint di seconda famiglia "who ordered that!?"

E la straneness e' prima hint di seconda famiglia
nei quark

EMULSIONI NUCLEARI → particelle "strane"

PRODOTTE FONTI e DECADONO DEBOLE (IN PARTICELLE
FONTI)

COME?



esplosione nucleare \rightarrow scontro forte \rightarrow prodotti forte

come facciamo a sapere che il decadimento è debole?

$$\Gamma_{\text{NAA}} \sim \frac{1}{\tau} \quad (\text{nel decadimento})$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \Gamma_{\text{NAA}} \text{ FORTE} &\rightarrow \tau \sim 10^{-22/23} \text{ s} \\ \text{EM} &\rightarrow \tau \sim 10^{-18/-17} \text{ s} \\ \text{WEAK} &\rightarrow \tau \sim 10^{-8/-10} \text{ s} \end{aligned}$$

lunghezza di decadimento $\lambda = \beta \gamma c \tau$

PER DECADIMENTO DEBOLE $c \tau \sim 3 \cdot 10^8 \cdot 10^{-9} = 0(0.1 \text{ m})$

FORTE $c \tau \sim 3 \cdot 10^8 \cdot 10^{-22} = 10^{-14} \text{ m}$
 $= 10^{-5} \text{ nm}$

impossibile da misurare \nearrow

Quint highest of trace $O(\frac{m}{cm}) \rightarrow$ debole 3

SE SONO PRODOTTE FONTI COME MAI NON DECADONO FORTE?

PUNTO DI SVOLTA: 1953/54

Si cominciano a usare per la prima volta le tecniche dei raggi cosmici + collider

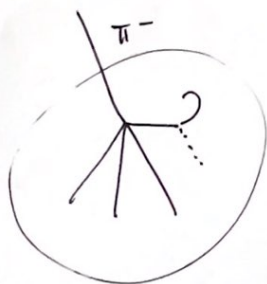
BROOKHAVEN

COSMOTRON + CLOUD CHAMBER



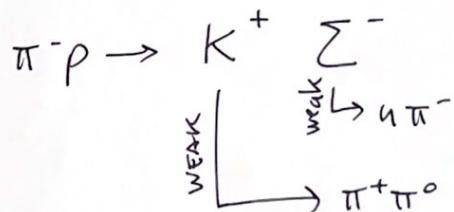
fascio di protoni da 2.2 GeV
+ bersaglio di carbonio

\Rightarrow estratto fascio di π^- da 1.5 GeV

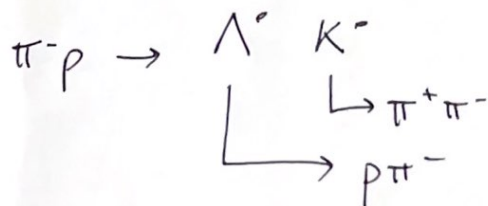


STANFORD

BEVATRON + EMULSIONI NUCLEARI



DECADONO
DEBOLIS
IN
ADRONI



sempre debole

STRANO!

Perché non decade forte? Per colpa di un 4
nuovo numero quantico, la "stranezza"

(PAIS): $S = +1$ per particelle ordinarie p, n, π, \dots
 $S = -1$ per particelle strane $K^\pm, \Sigma^\pm, \Lambda^0, \dots$

ed è MULTIPLICATIVO. Conservato da forte,
violato da debole

$$\Rightarrow \pi^- p \rightarrow K^+ \Sigma^-$$

$$S: (+1) \cdot (+1) \rightarrow (-1) \cdot (-1) = +1 \quad \underline{\text{OK}}$$

$= +1$

conservato: se stato iniziale non ha stranezza
 \Rightarrow possono essere prodotte solo in coppia
 \uparrow (forte)

Poi nel decadimento

$$\Lambda^0 \rightarrow p \pi^-$$

$$S: -1 \rightarrow (+1)(+1) = +1 \quad \text{quindi non può}$$

decadere forte perché
violabile stranezza

\Rightarrow deve decadere debole

TEORIA DI PAIS È ELEGANTE E SEMPLICE

GEULMANN

S è un numero quantico
non moltiplicativo ma additivo

5

$$S = 0 \quad p, n, \pi, \dots$$

$$S = +1 \quad K^+$$

$$S = -1 \quad \Lambda^0, \Sigma^+, \Sigma^-, \Sigma^0$$

$$\pi^- p \rightarrow K^+ \Sigma^-$$

$$S: 0+0=0 \rightarrow +1-1=0 \quad \checkmark$$

Inizialmente molto controversa. Perché?

$$\& K^+ \text{ ha } S = +1$$

$$\Rightarrow K^- = \text{anti}(K^+) \Rightarrow S = -1$$

Ma poi, per far tornare questa:

$$\pi^- p \rightarrow \Lambda^0 K^0$$

$$S: 0+0=0 \rightarrow -1 \quad \checkmark \quad \text{senza che } K^0 \text{ ha } S = +1$$

PRIMA VOLTA CHE UN MESONE NEUTRO HA CARICA $\neq 0$!

$$\& K^0 \text{ ha } S = +1$$

$$\Rightarrow \bar{K}^0 \text{ ha } S = -1 \quad \Rightarrow \bar{K}^0 \neq K^0 !$$

PRIMA VOLTA CHE UN MESONE NEUTRO È
DIVERSO DA SUA ANTIPARTICELLA

6

$$\overline{\pi^0} = \pi^0 \quad \text{ma} \quad \overline{K^0} \neq K^0$$

non sembrano naturali

Poi anche isospin

$$\begin{array}{l} \text{MESONI:} \quad (\pi^- \quad \pi^0 \quad \pi^+) \\ I: \quad -1 \quad 0 \quad +1 \end{array} \quad \text{TRIPLETTO}$$

$$\begin{array}{l} \text{BARIONI} \quad (p \quad n) \\ I: \quad \frac{1}{2} \quad -\frac{1}{2} \end{array} \quad \text{DOPPETTO}$$

S: pensiamo mesoni \rightarrow tripletti
barioni \rightarrow doppietti

$$\begin{array}{l} \text{Invece ora} \quad (K^+ \quad K^0) \quad \text{doppetto} \quad S = +1 \\ (\overline{K}^0 \quad K^-) \quad \text{doppetto} \quad S = -1 \end{array}$$

e non $(K^- \quad K^0 \quad K^+) \quad \underline{\text{NO}}$

È anche

$$(\Sigma^- \quad \Sigma^0 \quad \Sigma^+) \quad \text{TRIPLETTO} \quad S = -1$$

Le due teorie PMS vs GELL-MANN
 avevano predizioni diverse

7

$$\text{ES. } \pi^- p \rightarrow K^- \Sigma^+$$

$$\text{PMS: } (+1)(+1)=1 \rightarrow (-1)(-1)=+1 \quad \text{OK}$$

$$\text{G.M: } 0+0=0 \rightarrow -1-1=-2 \quad \underline{\text{NO}}$$

VINCE GELL-MANN

Struttura a addizione e concatenazione di interazioni
 FORTI e EM, mentre WEAK ammette $|\Delta S|=1$

E' IL CONTENUTO DI QUARK S

u c
 d (S) ← seconda famiglia

Nel decadimento $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0 \leftarrow |\pi^0\rangle = \frac{|u\bar{u}\rangle + |d\bar{d}\rangle}{\sqrt{2}}$

↑ ↑

$|K^+\rangle = |u\bar{s}\rangle$ $|\pi^+\rangle = |u\bar{d}\rangle$

Per decadere deve "perdere" un s, ovvero
 cambiare $s \rightarrow u \text{ o } d$

INT FORTI NON PUO' CAMBIARE SAPORE
 INT DEBOLI SI'

PAMTA'

8

Ma c'è un'altra cosa strana con: K

" θ/τ PUZZLE" 1956

$$"\theta" \rightarrow \pi^0 \pi^+$$

$$"\tau" \rightarrow \begin{array}{l} \pi^+ \pi^- \pi^+ \\ \pi^+ \pi^0 \pi^0 \end{array}$$

$m_\theta \sim m_\tau$ e $\tau_\theta \sim \tau_\tau$ SONO LA STESSA PARTICELLA?

Oggi sappiamo che sono due decadimenti del K^+

Ma all'epoca era difficile da accettare, perché

si pensava che la parità fosse conservata in natura

Quindi facevano un passo indietro e capivano

PAMTA'

$$P[\psi(r)] = \psi(-r)$$

$$\left(\begin{array}{l} x \rightarrow -x \\ y \rightarrow -y \\ z \rightarrow -z \end{array} \right)$$

Il mondo allo specchio

∃ funzioni che sono autovalori di P

9

"PARI" $P(\psi(r)) = \psi(-r) = \psi(r)$

Autovalore
+1

"DISPARI" $P(\psi(r)) = \psi(-r) = -\psi(r)$

-1

VECTORI

$$\vec{V} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \xrightarrow{P} \begin{pmatrix} -x \\ -y \\ -z \end{pmatrix} = -\vec{V}$$



PSEUDOVETTORI
(e.g. SPIN)

$$\vec{\sigma} = \begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \end{pmatrix} \xrightarrow{P} \begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \end{pmatrix} = \vec{\sigma}$$

SCALARI
(e.g. temperature)

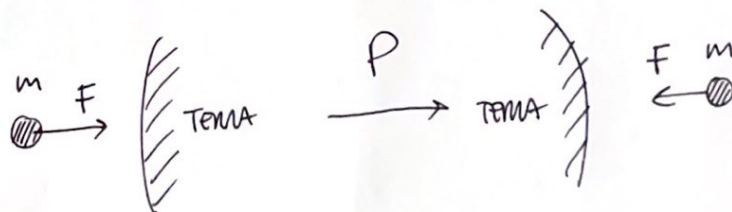
$$K \xrightarrow{P} K$$

PSEUDOSCALARI

$$A \xrightarrow{P} -A$$

LA MECCANICA CLASSICA È INVARIANTE SOTTO PARITÀ

⇒ NEL MONDO ALLO SPECCHIO VIGONO LE STESS
LEGGI DI NATURA



STESSE SOLUZIONI AUE EQUAZIONI DEL MOTO

Perché? tutte le equazioni della M.C. sono

10

VECTORIALE

$$\text{es: } \vec{F} = m\vec{a} \Rightarrow P(\vec{F} = m\vec{a}) \Rightarrow \dagger \vec{F} = m(\dagger \vec{a})$$

e stessa cosa per EM (equazioni di Maxwell), gravità, etc

TEORIA DI M.C. È SIMMETRICA SOTTO OPERAZIONE P

TH. DI NOETHER SIMMETRIA \longleftrightarrow CONSERVAZIONE
P AUTOVALORI DI P

\Rightarrow in M.C. se uno stato ha parità definita ha conservazione

E INVECE LA MQ?

$$\tau/\vartheta \quad \vartheta \rightarrow 2\pi \quad \tau \rightarrow 3\pi$$

Stessa m , stesso τ , ma se fossero stesse particelle

è un PROBLEMA perché 2π e 3π sono
stati con parità diversa "intrinseca"

$$P(2\pi) = \underbrace{P(\text{spaziale})} \cdot \overbrace{P(\pi^+) \cdot P(\pi^0)}^{\text{"intrinseca"}}$$

dipende dal numero d'onda di π
e in particolare dal loro momento
angolare relativo

$$P(\text{spatial}) = (-1)^l$$

11

nella configurazione più semplice $l=0$

↑ K è p.l.a.
più leggiera
decade in 2π

$$\Rightarrow P(\text{spatial}) \Big|_{2\pi} = (-1)^0 = +1$$

Quella intrinseca dei pioni è invece $P(\pi) = -1$

$$\Rightarrow P(2\pi) = (-1)^0 (-1) \cdot (-1) = +1 \quad \leftarrow \text{diversità!}$$

$$\text{Allo stesso modo} \quad P(3\pi) = (-1)^0 \cdot (-1)(-1)(-1) = -1$$

Come fa un partecella a decidere in che stato
con P diversa se P è conservata?

Lee e Yang 1956 P è conservata?

EM: sì

strong: sì

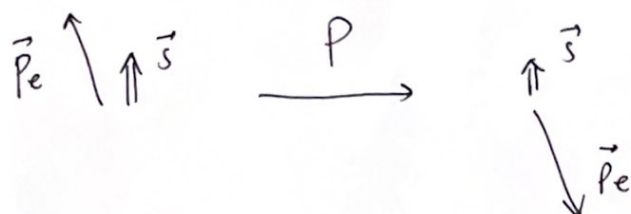
weak: NO CONCLUSIVE PROOF
IN THE DATA

→ same experiment!

ESPERIMENTO DI WU

12

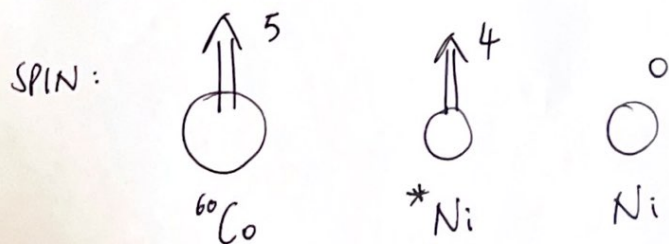
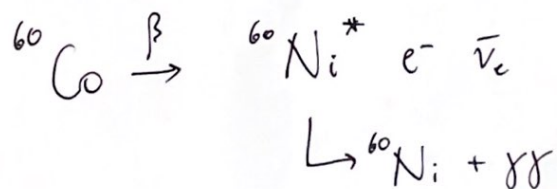
IDEA: studiare un processo debole con uno stato
definito da vettore e pseudovettore



Se h ha un osservabile che assume valore diverso
in queste due configurazioni \Rightarrow le intensità deboli
NON ~~sono invarianti~~ ^{conservano} la parità

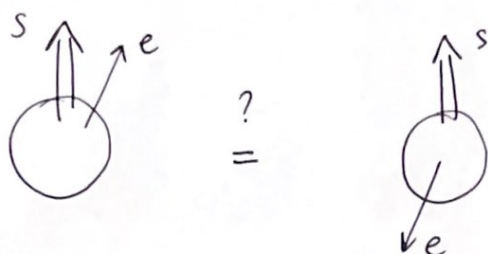
[EM e STRONG conservano parità \Rightarrow non possono distinguere
fra quelle due configurazioni]

Esperimento basato sul decadimento

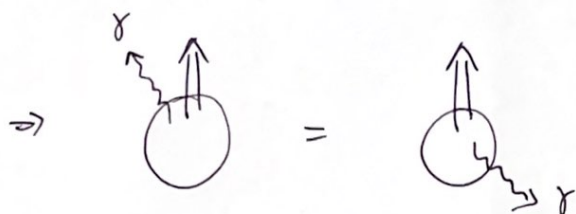


Il decadimento β e' debole. Domanda:

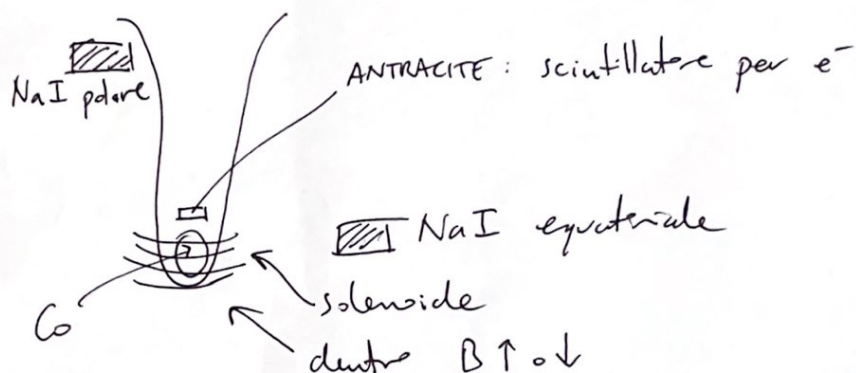
13



Il decadimento del Ni e' invece EM



ESPERIMENTO:



Campione di Co prima messo in criostato per misurare agitazione termica

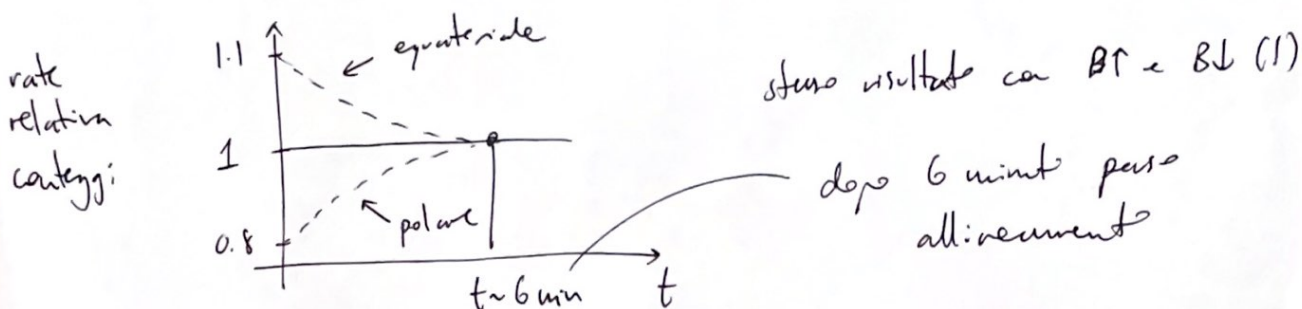
\Rightarrow a $t=0$ quando mette Co in B

$\uparrow\uparrow\uparrow$ poi dopo un po' \rightarrow $\nearrow \nearrow \searrow$ grande temp.

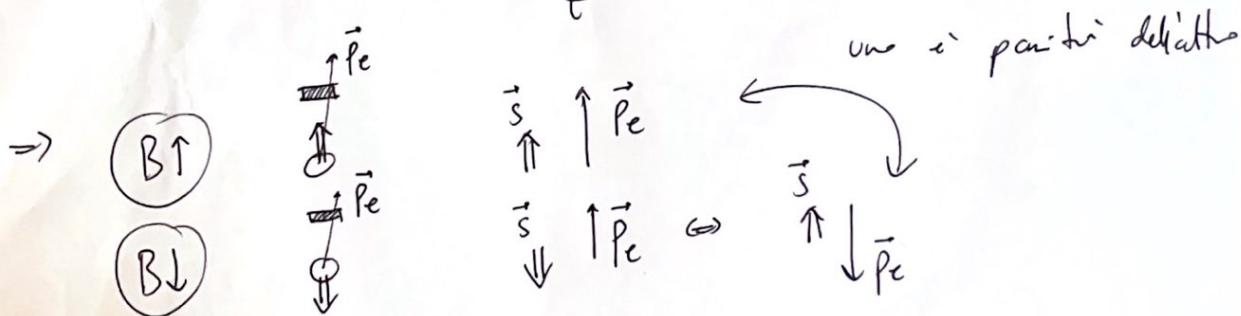
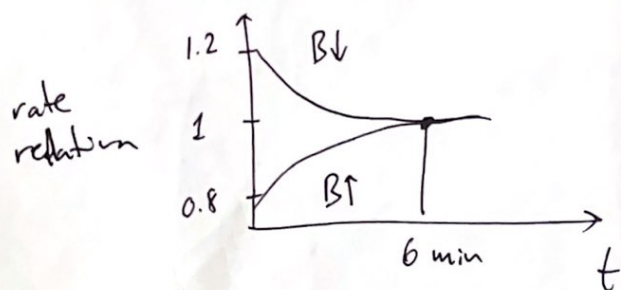
Quanto dall'allineamento di spin? Si misura con il decadimento del Ni! Favorito \perp a B



→ se spin allineati in su (oggi!) 14
 NaI equivalente delle conture
 più di polare. Se random → stessi conteggi



Poi misurare rate di elettroni con antinotche (sempre sopra)



Se rate sono diverse \Rightarrow Prob. decadimento β è diversa
 $\text{Prob}(\uparrow\uparrow) \neq \text{Prob}(\uparrow\downarrow)$

\Rightarrow interazioni deboli NON conservano P!

\Rightarrow il numero allo specchio è diverso (con leggi della natura diverse) da p.v. di interazioni deboli