

ESPERIMENTI CON FASCI DI NEUTRINI

- Cosa sono i neutrini
- Fasci di neutrini
- Esperimenti per studiare i neutrini (*)
- Esperimenti con ν per studiare altre particelle (*)
- Esperimenti in corso

(*) NON una rassegna di questi esperimenti,
ma la descrizione di alcuni di essi,
particolarmente semplici

A. MARZARI CHIESA

Cuneo 3/11/94

②

MASSA	⇒	INTERAZIONE GRAVITAZIONALE
CARICA	⇒	" ELETTROMAGNETICA
CARICA DI "COLORE"	⇒	" NUCLEARE FORTE
" DEBOLE	⇒	" " DEBOLE

IL NEUTRINO HA : MASSA ~ 0
CARICA $= 0$
CARICA DI COLORE $= 0$

⇒ SOLO INTERAZIONE DEBOLE
(probabilità di interagire molto
piccola : particella "penetrante") →

PARTICELLE "ELEMENTARI":

QUARK	LEPTONI
$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix} \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} e^- \\ \nu_e \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mu^- \\ \nu_\mu \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tau^- \\ \nu_\tau \end{pmatrix}$
+ anti-quark	+ anti-leptoni
↓	
ADRONI (int. forte)	(<u>no</u> int. forte)
	3 "FAMIGLIE"
	⇒ 3 "NUMERI LEPTONICI"
	separatamente conservati

ALCUNI NUMERI

$$\sigma_{\nu} \sim 10^{-38} \text{ cm}^2 \text{ a } 1 \text{ GeV}$$

→ i neutrini possono attraversare la Terra, il Sole, il Sistema Solare, la nostra galassia *senza interagire*

- in ogni cm^3 dell'Universo attuale si trovano $\sim 330 \nu$ prodotti nel Big Bang (ν fossili)
- il Sole produce $\sim 10^{38} \nu$ al secondo di questi $\sim 6 \times 10^{10} / \text{s}$ attraversano ogni cm^2 della superficie terrestre - la loro energia $\bar{E} < 20 \text{ MeV}$
- ogni secondo, un uomo è attraversato da:
 - $4 \times 10^{14} \nu$ provenienti dal Sole
 - $5 \times 10^{10} \nu$ da radioattività naturale
 - $10^{10} - 10^{12} \nu$ da centrali nucleari
- il corpo umano contiene $\sim 20 \text{ mg}$ di ^{40}K che è β -radioattivo → emette $\sim 3,4 \times 10^8 \nu$ al giorno

FASCI DI NEUTRINI (ν_μ)

(3)

π e K , copiosamente prodotti nelle interazioni nucleari forti (es. urti $p-p$, $p-N$) decadono producendo neutrini (o antineutrini):

$$\pi^\pm \rightarrow \mu^\pm + \nu_\mu (\bar{\nu}_\mu) \quad \text{B.R. } 100\%$$

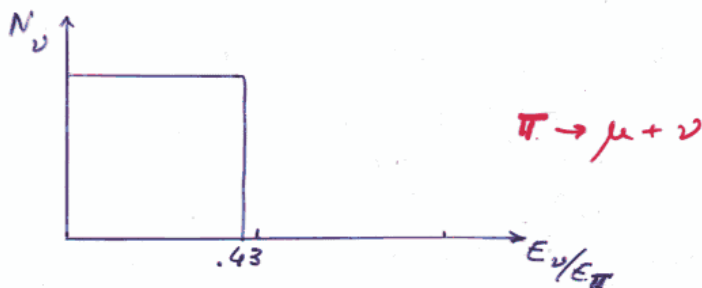
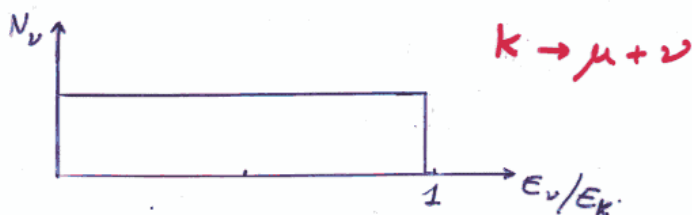
$$K^\pm \rightarrow \mu^\pm + \nu_\mu (\bar{\nu}_\mu)$$

Notare:

- entrambe forniscono ν_μ o $\bar{\nu}_\mu$
- da adroni positivi $\rightarrow \nu_\mu$; negativi $\rightarrow \bar{\nu}_\mu$
- le reazioni sono a due corpi

quindi:

$$0 < \frac{E_\nu}{E_{\pi, K}} < 1 - \frac{m_\mu^2}{m_{\pi, K}^2}$$



- E' sempre presente un fondo di ν_e ($\sim 1\%$) provenienti da $K \rightarrow e + \pi + \nu_e$ (B.R. $\sim 5\%$)
- $\sim 1\%$ di ν_μ deriva da decadimenti a 3 corpi del K ($K \rightarrow \mu + \pi + \nu$ B.R. $\sim 3.2\%$)

(3')

(**) Un po' di cinematica ...

Energia del ν nel sistema di riposo della particella "peritore" (sistema S^*)

$$E_\nu^* = \frac{(m^2 - m_\mu^2) c^2}{2m}$$

$$E_\nu^* = 30 \text{ MeV} \quad \text{per } m = m_\pi$$

$$E_\nu^* = 236 \text{ MeV} \quad \text{per } m = m_K$$

Con una trasformazione di Lorentz lungo la direzione del fascio, l'energia del ν nel sistema di laboratorio è legata a E^* da:

$$E_\nu = \gamma E_\nu^* (\beta \cos \theta^* + 1)$$

θ^* = angolo di decadimento del ν rispetto alla direzione del fascio in S^*

I decadimenti di K e π sono isotropi in S^*

→ distribuzione di E_ν piana in $\cos \theta^*$

$$\text{per } \beta=1 \quad E_\nu^{\text{max}} = 2\gamma E_\nu^* = \begin{matrix} 0.43 E_\pi \\ 0.95 E_K \end{matrix}$$

π e K sono prodotti nel bersaglio con la stessa distribuzione di energia

↓

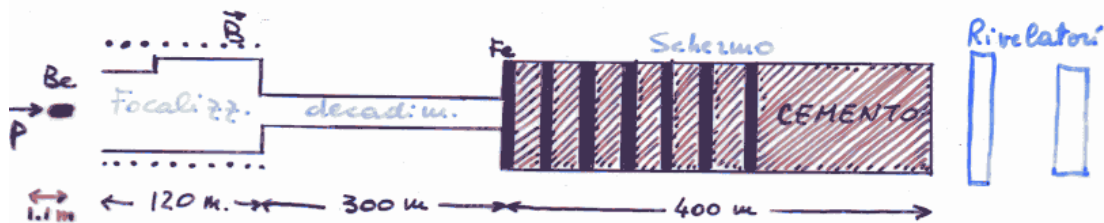
parte bassa dello spettro : ν da π
alta : ν da K

- ④ I protoni di un acceleratore (al SPS : 10^{13} p/pulso) colpiscono un bersaglio producendo adroni

gli adroni prodotti :

- ② vengono selezionati in seguito a quantità di moto
- ③ passano in un "tunnel" di decadimento
- ④ quelli sopravvissuti entrano, insieme con le particelle prodotte nei decadimenti (altri adroni + μ + neutrini) in un assorbitore di Fe e cemento

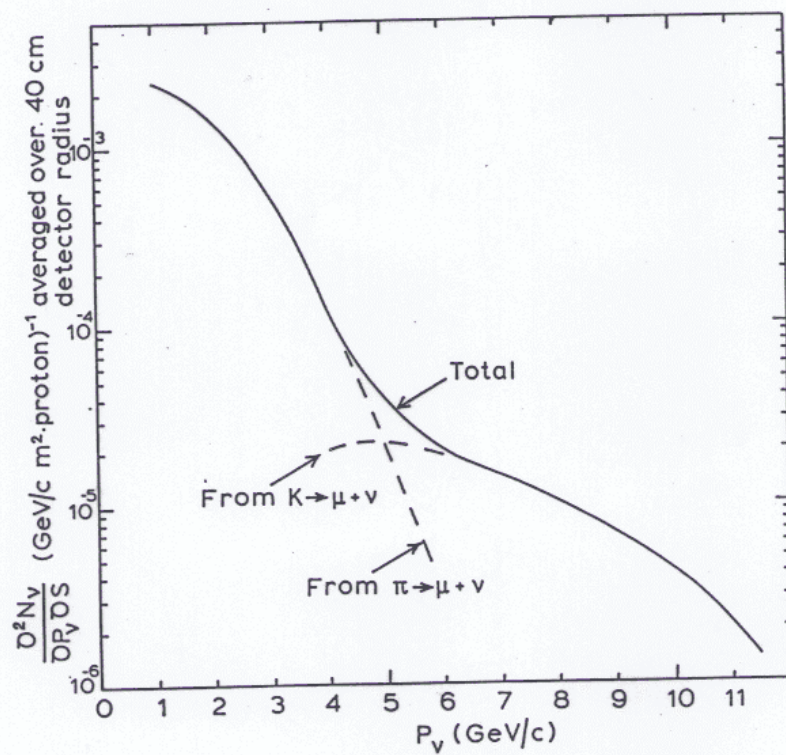
⇒ IN USCITA SOLO ν_μ (E ALCUNI μ PRODOTTI NELLE LORO INTERAZIONI)



Notare :

- i fasci di ν sono più intensi dei corrispondenti fasci di $\bar{\nu}$ (più probabile la produzione di adroni positivi)
- fondo di ν in fasci di $\bar{\nu}$ maggiore del fondo di $\bar{\nu}$ in fasci di ν
- i neutrini prodotti da $K \rightarrow \mu + \nu$ hanno energia più alta (ma sono una frazione piccola)

- 9 -

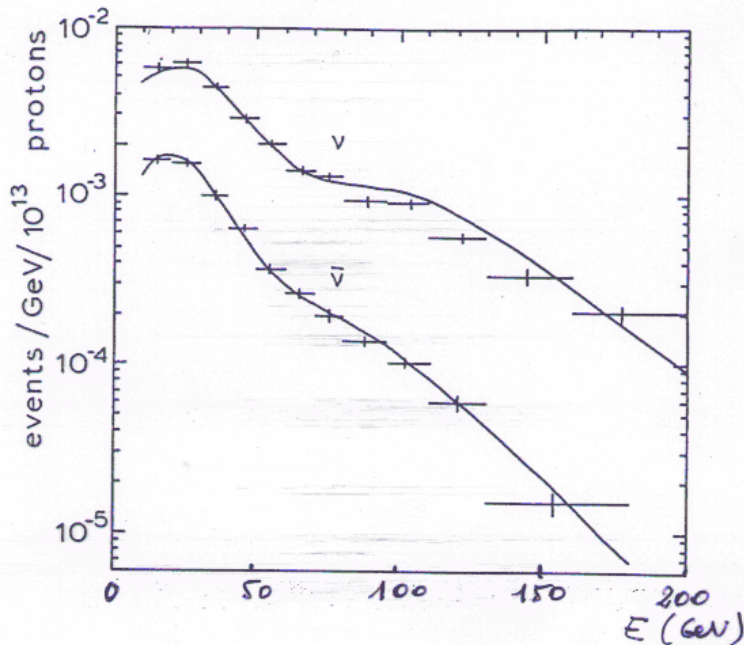


① Gli adroni vengono selezionati SOLO in SEGNO ⑥



WIDE BAND BEAM (Fascio a banda)
 larga

scopo: ottenere la più alta intensità possibile

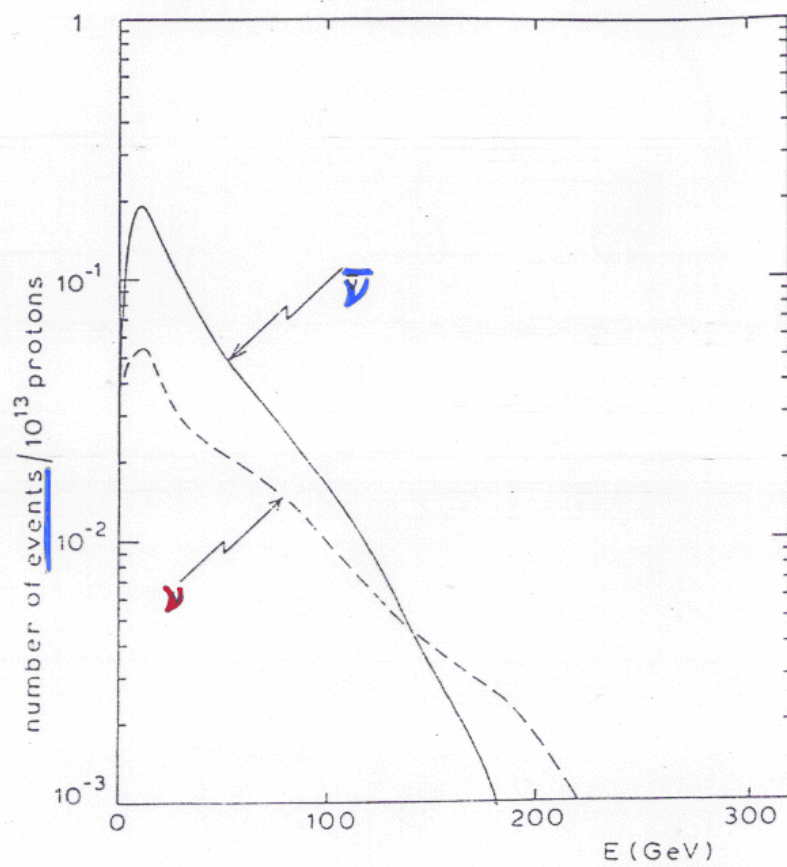


$$(E_\nu)_{\text{med}} = \frac{E_p}{10}$$

FONDI	FASCI DI ν_μ	$\bar{\nu}_\mu$
ν_e	0.5%	0.2%
$\bar{\nu}_e$	0.05%	0.5%
$\bar{\nu}$ in ν e viceversa	0.2%	1%

Attenzione: $\sigma_\nu \approx 3\sigma_{\bar{\nu}}$ quindi il fondo
 di interazione di ν in quelle di $\bar{\nu}$ è $\sim 3\%$

61



Spettro d'energia degli antineutrini e fondo di neutrini

② Gli adroni vengono selezionati in ^⑦
SEGNO e in QUANTITA' DI MOTO



NARROW BAND BEAM (fasci di ν
"monocromatici")

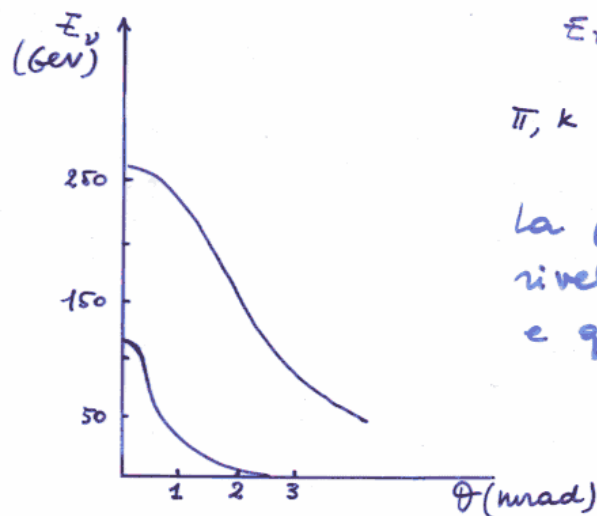
Fascio iniziale angolato rispetto al rivelatore

→ SOLO GLI ADRONI SELEZIONATI IN QUANTITA'
DI MOTO "VEDONO" IL RIVELATORE

Provenendo da decadimento a due corpi
(99.9 % ν da π , 90% ν da K): $E_\nu = f(\theta)$

$$E_\nu = \frac{2\gamma E_\nu^*}{1 + \gamma^2 \tan^2 \theta}$$

π, K di 275 GeV



la posizione nel
rivelatore fornisce θ
e quindi E_ν

Ma: l'intensità di questi fasci è ~ 100 volte
minore di quella dei fasci non
monocromatici

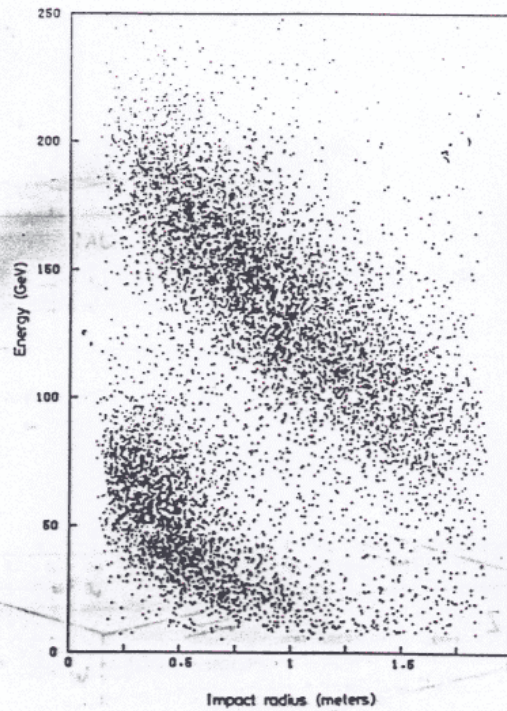


Fig. 10 Relation between the energy and the radial coordinate of the interaction point of CC events as measured by the CDHS Collaboration. The lower-energy concentration of dots corresponds to pion decay, the higher energy one to kaon decay.

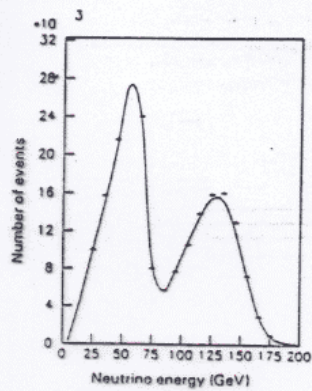


Fig. 11 Projection of Fig. 10 on the energy axis

"MISURA" DEL FLUSSO DI v

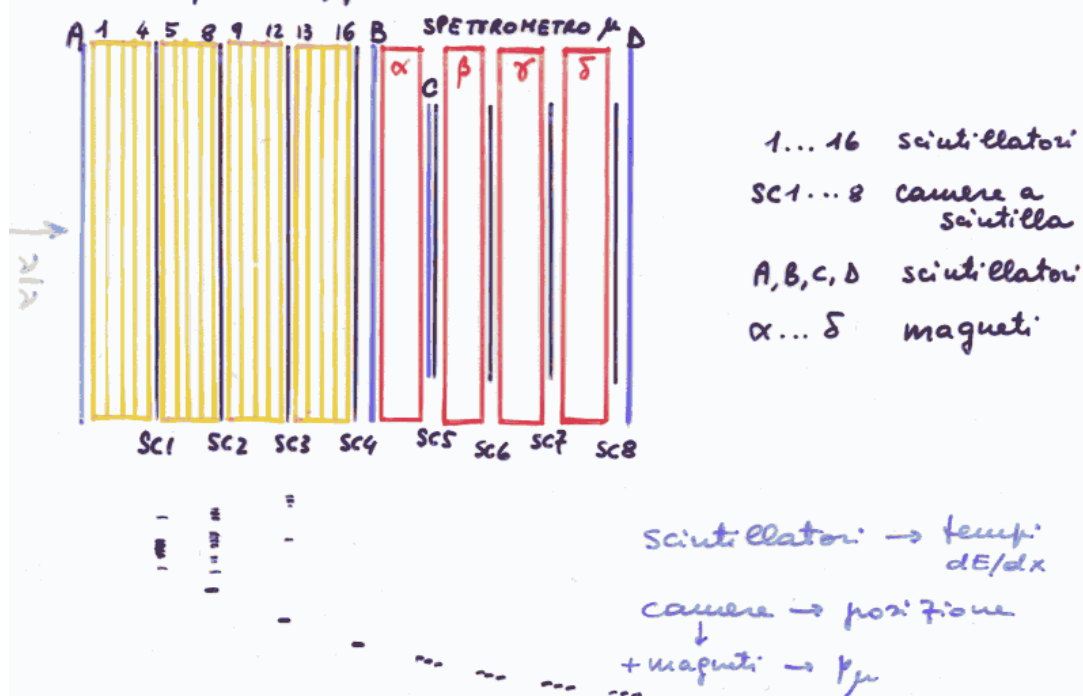
→ MISURA DEI μ CHE
ACCOMPAGNANO I v

+ MONTE CARLI

RIVELATORI μ NEUTRINI :

- Bersaglio di grande massa (tonnellate)
- Rivelatore $\equiv$ bersaglio
- Separazione μ /adroni

Esempio : apparato di NAL 1A (1973-74)



trigger : deposito di energia nei 16 scintillatori
 $> E_T$

registrati per ogni evento : E depositata in ogni segmento
 posizione e temp. di A...D

RIVELATORE "STORICAMENTE" MOLTO IMPORTANTE
NELLA FISICA DEI NEUTRINI:

(9)

CAMERA A BOLLE

Contenitore con liquido mantenuto a riposo
(non in ebollizione) mediante alte pressioni
(con H_2 : $27^\circ K$, 6 atm)

Se la pressione viene abbassata rapidamente
al di sotto della pressione di equilibrio
di vapore corrispondente a quella temperatura
si crea una **situazione instabile di liquido
surriscaldato** che provoca la formazione
di bolle di gas.

Le bolle si formano di preferenza lungo
il percorso delle particelle cariche che,
durante l'espansione, si trovano a passare
per la camera.

**Le bolle, e quindi le particelle, possono
venire fotografate.**

Subito dopo la pressione viene riportata
al valore iniziale per impedire che tutto
il liquido entri in ebollizione.

ESPANSIONE, ILLUMINAZIONE DELLA CAMERA
CON I FLASH E FOTOGRAFIE VENGONO
SINCRONIZZATI CON GLI IMPULSI DEL
FASCIO E QUINDI CON IL PASSAGGIO
DELLE PARTICELLE



$\uparrow \nu$

ESPERIMENTI PER STUDIARE

I NEUTRINI

E LA LORO INTERAZIONE

$$- \nu_\mu \neq \nu_e$$

- sezioni d'urto $\propto E_\nu$

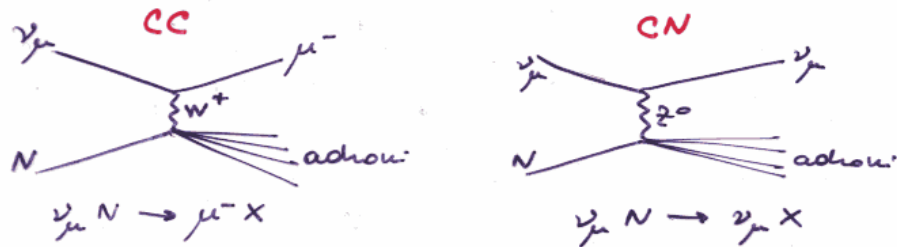


- correnti neutre / correnti cariche

- $m_\nu \neq 0$ $\left\{ \begin{array}{l} \text{miscela diretta} \\ \text{oscillation} \end{array} \right.$

ESPERIMENTI PER STUDIARE I NEUTRINI E LA LORO INTERAZIONE (INTER. DEBOLE) ¹¹

ESEMPIO : "CORRENTI NEUTRE"



- Le correnti neutre erano state cercate nei decadimenti

es. $K^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$; $K^+ \rightarrow \pi^+ \mu^+ \mu^-$
e non erano state trovate

- Gli esperimenti su ν erano più difficili
(un evento $\nu N \rightarrow \nu X$ non è distinguibile
da $n N \rightarrow n X$)
- Si era concluso che le C.N. non esistono
anche se la teoria le prevedeva



① ESPERIMENTI PER DIMOSTRARE
L'ESISTENZA DELLE CORRENTI NEUTRE

② ESPERIMENTI PER LA MISURA
DEI PARAMETRI DELLA TEORIA

Un po' di storia:

(H')

TEORIA:

- 1957
... 1961 Inizio del tentativo sistematico di unificare
teoria e.m. e debole (Schwinger, Bludman, Glashow)
- 1964 Weinberg-Salam: necessità dell'esistenza
di correnti deboli neutre
- 1968 Dimostrazione che la teoria è rinormalizzabile
(t' Hooft)
- 1970 Glashow-Griopoulos-Maiani: modello con
4 quarks $\rightarrow$ NC con $\Delta S \neq 0$ sono sflavorite

ESPERIMENTI:

- 1960-62 Esperimento $\nu_e \neq \nu_\mu$ (Columbia-Brookhaven)
 ~ 50 eventi $\nu_\mu + n \rightarrow \mu^- + p$
 $\mu^- + p + n^0$
*alcuni eventi sente μ : pensavano a
fondo di neutroni $\rightarrow$ non vennero studiati.*
- 1963-64 Esperimento CERN con camera a bolle
di 1.2 m: tesi di E.C.H. Young
fondo di neutroni = 3 volte previsto
Memorandum non pubblicato di Perkins:
 $NC/CC \sim (17 \pm 6) \%$
Però al congresso di Siena $\frac{G(\nu p \rightarrow \nu p)}{G(\nu n \rightarrow \mu^- p)} < 3\%$
- 1973 Esperimento CERN con camera a bolle
GARGAMELLE ($l \sim 4.8$ m)
*• evidenza di eventi di correnti neutre.
• rapporto NC/CC non piccolo*
- 1974 T/μ d'accordo con il modello GIM

VERIFICHE DEL MODELLO STANDARD CON CORRENTI NEUTRE

(11)

① ESISTENZA DELLE CORRENTI NEUTRE

$$\left. \begin{array}{l} \bar{\nu}_\mu N \rightarrow \bar{\nu}_\mu X \\ \bar{\nu}_\mu e \rightarrow \bar{\nu}_\mu e \end{array} \right\} \text{ GGM (CERN) 1973}$$

Scattering di e^- polarizzati su D_2 (SLAC, 1978)

② MISURA DEI PARAMETRI DELLA TEORIA Esperimento CHARM (CERN)

CC:

$$\nu_\mu N \rightarrow \mu^- X$$

$$\bar{\nu}_\mu N \rightarrow \mu^+ X$$

$$n \rightarrow p e^- \bar{\nu}$$



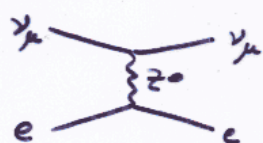
NC:

$$\nu_\mu N \rightarrow \nu_\mu X$$

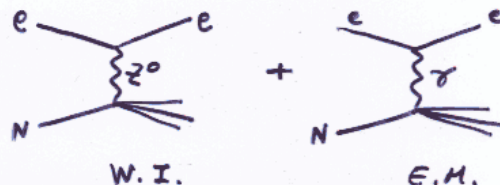
$$\bar{\nu}_\mu N \rightarrow \bar{\nu}_\mu X$$

$$\nu_\mu e \rightarrow \nu_\mu e$$

$$\bar{\nu}_\mu e \rightarrow \bar{\nu}_\mu e$$



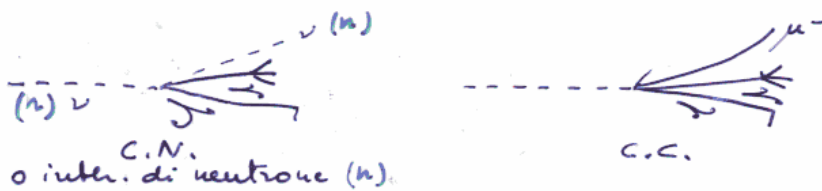
$$e^- N \rightarrow e^- X$$



NON ESISTONO CORRENTI NEUTRE CON $\Delta S = 1$
(es. $K^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$; $K^+ \rightarrow \pi^+ \mu^+ \mu^-$; $K^+ \rightarrow \pi^+ e^+ e^- \dots$)
→ TEORIA G.I.M.

① SCOPERTA DELLE CORRENTI NEUTRE
(Camera a bolle Gargamelle, 1972)

12



o inter. di neutrone (n).

C'era un pregiudizio: C.N. « fondo di neutroni

Risultato (primavera 1973):

Tipo di evento	fascio ν	fascio $\bar{\nu}$
eventi senza μ	102	64
eventi con μ	428	148

Scoperta o fondo?

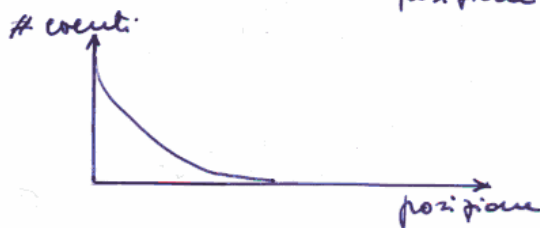
→ Verifica su distribuzione dei vertici
lungo la camera

Lunghezze di interazione: $\lambda_\nu \sim \infty$
 $\lambda_n \approx 70 \text{ cm}$

Eventi indotti
da neutrini

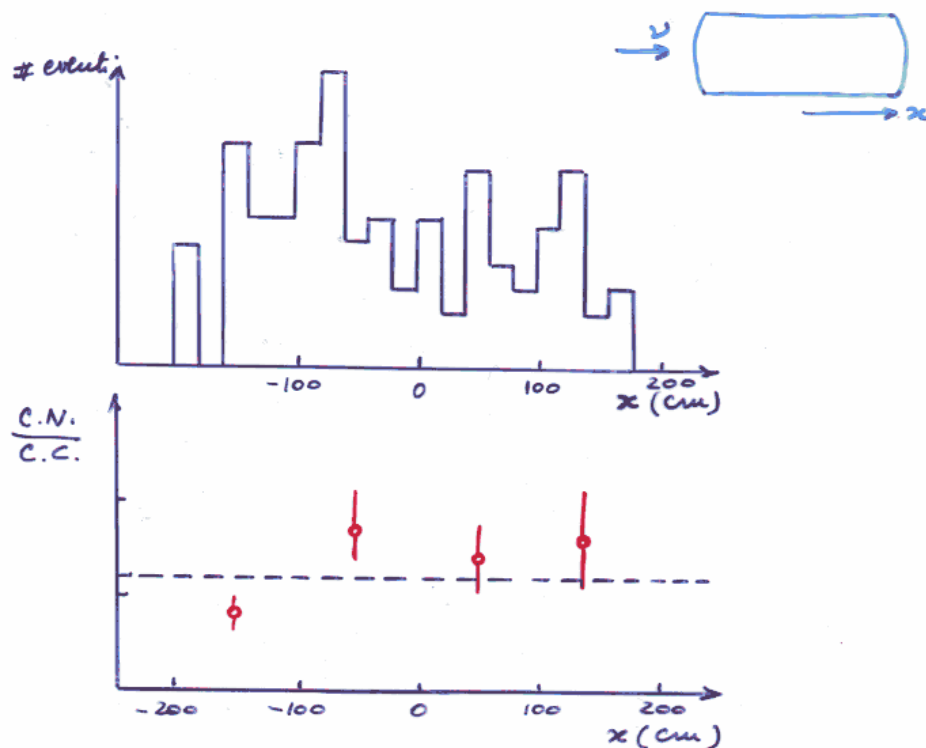


Eventi indotti
da neutroni

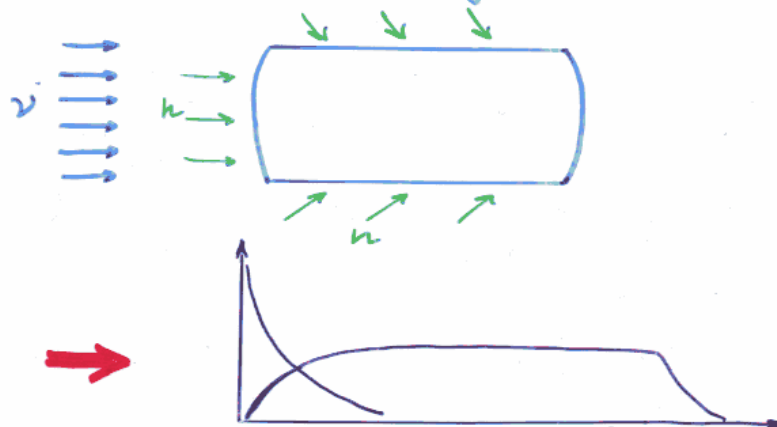


RISULTATO SPERIMENTALE :

(13)



Ma: possibile spiegazione alternativa:



→ necessario calcolare numero assoluto di neutroni nel fascio di ν
molto difficile → necessario un controllo

Per il controllo sono stati usati gli eventi "associati"

(14)



Una interazione di neutrone può apparire come:

associata (A_s)
non-associata (B)

Metodo:

Contare gli eventi associati ($\# A_s$)

Calcolare $\frac{B}{A_s}$ (più facile da calcolare del valore assoluto)

$$\Rightarrow \# B = \frac{B}{A_s} \# A_s$$



Confrontare $\# B$ con $\#$ eventi senza μ

RISULTATO:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{B}{A_s} = 0.6 \pm 0.3 \\ \# A_s = 15 \end{array} \right\} \Rightarrow \# B = 9 \pm 4.5$$

mentre il numero di eventi senza μ era 102

CONCLUSIONE: le correnti neutre esistono!

② MISURA DEI PARAMETRI DELLA TEORIA

→ NECESSARIA ALTA STATISTICA



ESPERIMENTI DI "SECONDA GENERAZIONE"

(contatori elettronici "triggerabili";

dati registrati su calcolatori in linea

→ selezione degli eventi, calcolo dei parametri, valutazione del fondo]

(ESPERIMENTI CDHS, CHARM, ...)

CDHS : Massa totale 1250 t

"fiduciaria" 750 t

Misura: $\left. \begin{array}{l} \text{energia totale degli adron.} \\ \text{direzione e } \vec{p} \text{ del } \mu \\ E_{\text{adron.}}/E_{\nu} \quad (E_{\nu} \text{ misuri NBB}) \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{con} \\ \text{grande} \\ \text{statistica} \end{array}$

la teoria delle interazioni deboli è descritta da un parametro: angolo di Weinberg (θ_w) che entra nelle formule come $\sec^2 \theta_w$:

$$R = \frac{\sigma_{NN}(NC)}{\sigma_{NN}(CC)} = \frac{1}{2} - \sin^2 \theta_w + \frac{20}{27} \sin^4 \theta_w$$

$$\bar{R} = \frac{\sigma_{\bar{\nu}N}(NC)}{\sigma_{\bar{\nu}N}(CC)} = \frac{1}{2} - \sec^2 \theta_w + \frac{20}{9} \sec^4 \theta_w$$

QUESTA MISURA NON DIPENDE DALLA VALUTAZIONE DEI FLUSSI

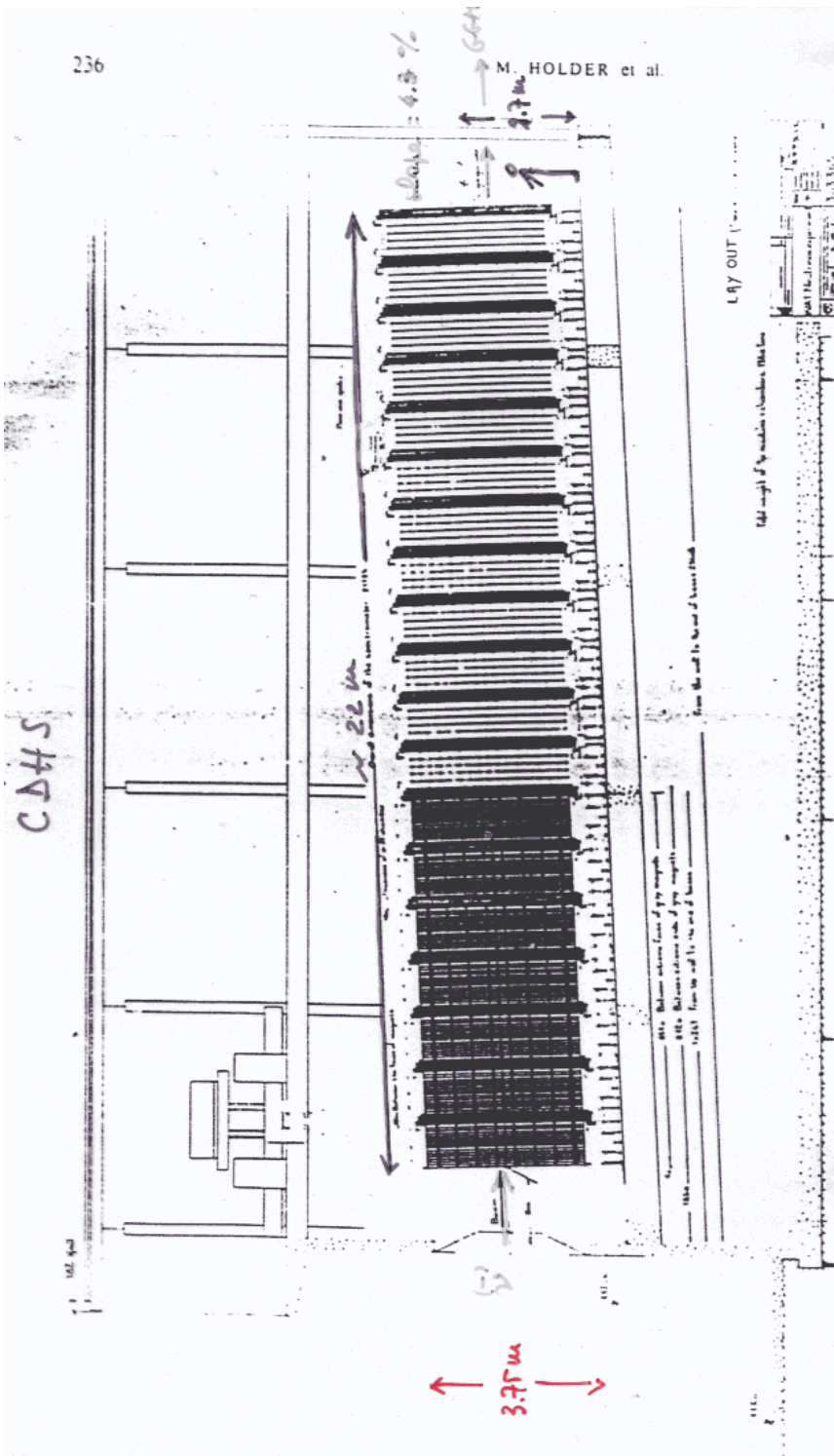


Fig. 1. Layout of the neutrino experiment.

19 moduli x 65 t : Fe + scintillator (ogni 5 cm nei primi 7 moduli,
 poi ogni 15 cm e 75 cm
 negli ultimi 4
 moduli totali
 in seguito: aggiunta di camere a deriva (Pn)

SELEZIONE DEGLI EVENTI:

(17)

- $E > 12 \text{ GeV}$ (E = energia depositata nel rivelatore)
- tagli geometrici per ridurre il fondo di neutroni e di raggi cosmici
- Separazione NC/cc in base alla lunghezza^L dello sciame (spesso di Fe tra il vertice e l'ultimo scintillatore che dà segnali)

CORREZIONI:

- Raggi cosmici: da eventi "fuori tempo"
- CC: estrapolazione (Montecarlo) da eventi con L molto grande (+ sicuri)
- Ke_3 : si calcola conoscendo K/π e probabilità di decadimento $K \rightarrow \pi e \nu$ (10% ν 5% $\bar{\nu}$)

RISULTATI:

	Fascio	
	ν	$\bar{\nu}$
Eventi di corrente neutra	8074 ± 156	2203 ± 130
Eventi di corrente carica	27603 ± 211	6378 ± 123
NC/cc	0.293 ± 0.010	0.35 ± 0.03

$$\rightarrow \sin^2 \theta_w = 0.253 \pm 0.010 \pm \dots$$

ESPERIMENTI PIÙ RECENTI

(e di energia più elevata)

CDHS(W)

CHARM (II)

- largo Narrow band $\rightarrow E_\nu$
- grande Massa $\rightarrow$ statistica elevata
- ottima riconoscibilità del μ
- ottima misura dell'energia adronica

CHARM $\rightarrow \sin^2 \theta_W = 0.235 \pm 0.005$ (exp.) $+ 0.005$ (theo.)
 per $m_t = m_H = 100 \text{ GeV}$

CDHSW $\rightarrow \sin^2 \theta_W = 0.226 \pm 0.005$ (exp.) ± 0.005 (theo.)



$$\sin^2 \theta_W = 0.230 \pm 0.004 \text{ (exp.)} + 0.005 \text{ (theo.)}$$

da confrontare con

$$\sin^2 \theta_W = 0.28 \pm 0.03$$

I NEUTRINI SONO PARTICELLE ELEMENTARI
 " HANNO SOLO INTERAZIONE DEBOLE



permettono di studiare nel modo più diretto
 possibile la struttura delle particelle
 ($\equiv$ nucleoni) con cui interagiscono

Modello a quark dei nucleoni:

$$\begin{array}{l}
 p: \begin{array}{ccc} u & u & d \\ 2/3 & 2/3 & -1/3 \end{array} \\
 n: \begin{array}{ccc} u & d & d \\ 2/3 & -1/3 & -1/3 \end{array}
 \end{array}
 + \text{"mare"} (q\bar{q})$$

Negli eventi di corrente carica:

ν interagisce solo con quark carichi -
 (per conservazione di numero leptonico
 si deve produrre un μ^-)

$\bar{\nu}$ interagisce solo con quark carichi +
 (si deve produrre un μ^+)

$$\begin{aligned}
 \rightarrow \quad \bar{R} &= \frac{\bar{\sigma}_n}{\bar{\sigma}_p} = 0.5 \text{ per } \bar{\nu} \\
 R &= \frac{\sigma_n}{\sigma_p} = 2 \text{ per } \nu
 \end{aligned}$$

$\frac{n}{p} = \frac{udd}{uud}$

$+2/3$	$-1/3$	$-1/3$
$+2/3$	$+2/3$	$-1/3$

Deviazioni da questi valori $\rightarrow$ contributo
 dei quark del "mare"

Separazione eventi su p e su n
(bersaglio più semplice: D_2)

su p : numero di secondari carichi dispari

su n : " " " " pari

Correzioni: negli eventi dispari c'è un fondo di eventi su n con protone "spuntato"

Risultati:

$$\bar{\sigma}_n / \bar{\sigma}_p$$

$$0.53 \pm .02 \pm .03$$

$$\sigma_n / \sigma_p$$

$$2.10 \pm .08 \pm .22$$

Si può andare più a fondo:

$$\bar{R}(x) = \frac{\frac{1}{3} \times u(x) + x \bar{d}(x) + x \bar{s}(x)}{\frac{1}{3} \times d(x) + x \bar{u}(x) + x \bar{s}(x)}$$

$$\frac{1}{R}(x) = \frac{\frac{1}{3} \times \bar{d}(x) + x u(x) + x s(x)}{\frac{1}{3} \times \bar{u}(x) + x d(x) + x s(x)}$$

$$v = E_\nu - E_\mu$$

$$x = \frac{Q^2}{2Mv}$$

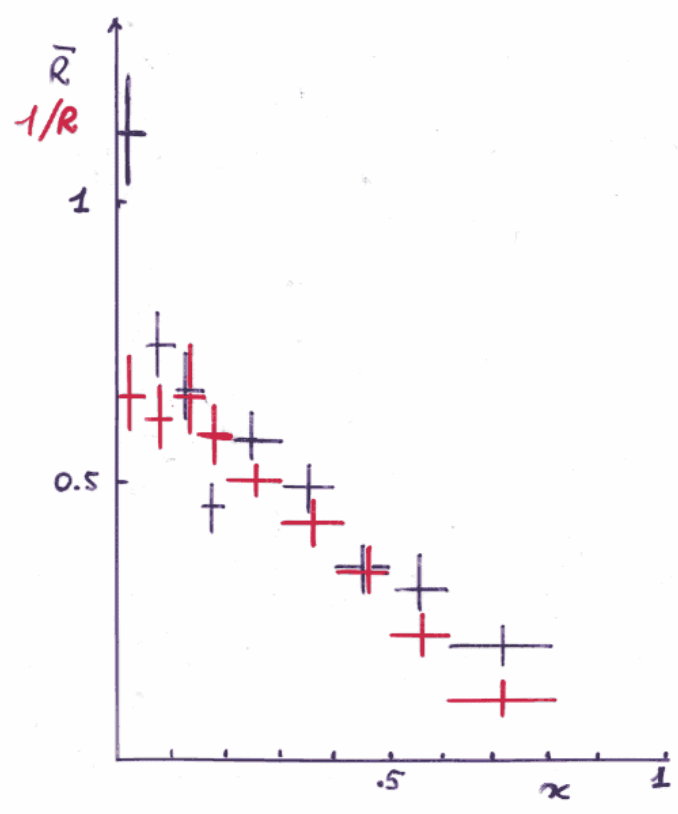
(frazione di P_N portata dai quark)

$u(x) d(x) \dots =$
densità dei quark $u, d, \dots$ nel nucleone

→ studio di R e $\bar{R}$ in funzione di x

(il contributo dei quark del mare è più importante a x piccoli)

$$\rightarrow \text{a } x \sim 0 \quad \bar{R} > 1/R$$



LA TEORIA DELLE INTERAZIONI DEBOLI ACCETTA ⁽²¹⁾
 $m_\nu = 0$ MA ANCHE $m_\nu \neq 0$

CI SONO ARGOMENTI PER SUPPORRE $m_\nu \neq 0$

- "ESTETICA" $\rightarrow$ SIMMETRIA QUARK-LEPTONI
- RAGIONI COSMOLOGICHE (MATERIA OSCURA)

LIMITI SPERIMENTALI:

$$m_{\nu_e} < 30 \pm 10 \text{ eV}/c^2$$

$$m_{\nu_\mu} < 0.57 \text{ MeV}/c^2$$

$$m_{\nu_\tau} < 250 \text{ MeV}/c^2$$

Se $m_\nu \neq 0$ sono possibili "oscillazioni di ν "

$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_e) = \sin^2 2\theta \sin^2 \left(\frac{1.27 \Delta m^2 L}{E} \right)$$

L = distanza (in m) dalla sorgente di ν

E = energia del fascio (in MeV)

1.27 = costante che va introdotta per
voler esprimere Δm^2 in $(\text{eV}/c^2)^2$

$\rightarrow$ il numero di $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ per unità di
lunghezza (intensità) oscilla lungo L

$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_e)$ dipende da 2 parametri: $\sin^2 2\theta$ e m_ν^2

$\rightarrow$ il risultato degli esperimenti consiste
nell'escludere (o ammettere) una regione
del piano $\sin^2 2\theta, m_\nu^2$

Migliore limite su $\sin^2 2\theta$ e m^2 , se il rivelatore è a una distanza tale da "vedere" la prima oscillazione (22)

$$1.27 \frac{L}{E_\nu} \Delta m^2 = \pi/2$$

$$\Rightarrow \Delta m^2 = 1 \text{ eV}^2 \text{ se } \frac{L}{\langle E_\nu \rangle} \sim 1$$

(L = qualche metro per $E_\nu \sim 1 \text{ MeV}$
 " " " " $\sim 1 \text{ GeV}$)
 $\rightarrow$ meglio ν di bassa energia

ESPERIMENTI $\left\{ \begin{array}{l} \text{"APPARIZIONE"} \\ (\nu_e \nu_e \text{ in fasci di } \nu_\mu) \\ \text{"SCOMPARS"} \\ (\bar{\nu}_e \rightarrow \nu_\mu) \end{array} \right.$

limite su $\sin^2 2\theta \propto 1/N$ } esperimenti di
 " " $\Delta m^2 \propto 1/\sqrt{N}$ } "apparizione"

limite su $\sin^2 2\theta \propto 1/\sqrt{N}$ } esperimenti di
 limite su $\Delta m^2 \propto 1/\sqrt{N}$ } "scomparsa"
 $N = \text{n° eventi}$

$\rightarrow$ necessarie grandi statistiche (fasci ν_μ)

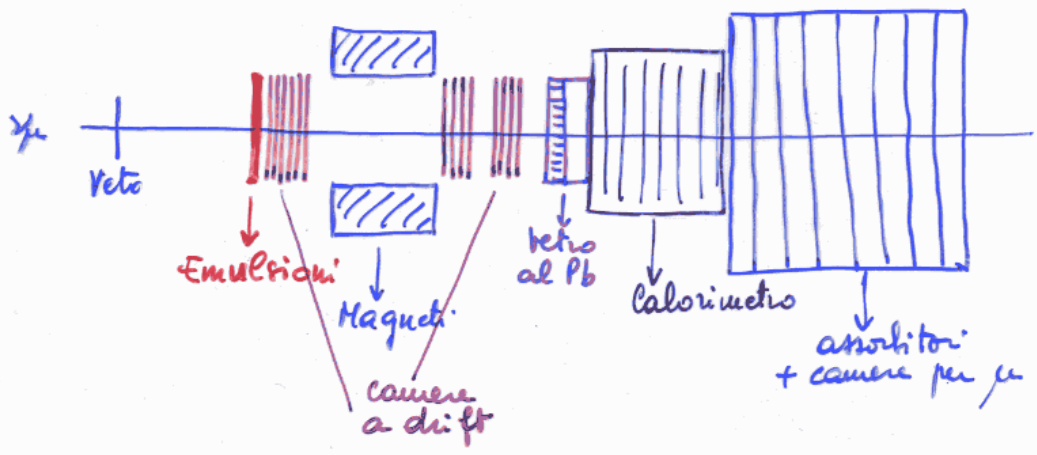
$\rightarrow$ migliore limite con esperimenti di "apparizione"

I fasci di ν_μ non sono mai puri, ma contengono altri tipi di ν ($\sim 5\%$ di $\bar{\nu}_\mu + \nu_e + \bar{\nu}_e$)

$\rightarrow$ ricerca di oscillazioni $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ più sicura

E 531 (Fermi-lab)
(Collaborazione USA-Giappone)

Progettato per rivelare decadimenti di charm
Usato per cercare decadimenti di τ (vita media simile a quella delle particelle con charm)



Procedimento: per tutte le interazioni di ν
seguono all'indietro le tracce cariche

Efficienza di riconoscimento: $90 \div 95\%$

3886 interazioni di $\nu \rightarrow 104$ decadimenti

Fra i decadimenti hanno creato il τ :

	Tagli applicati	Decadimenti rimasti
eliminare scattering Coulombiani	$P_T > 125 \text{ MeV/c}$ (kinks)	104
90% ν 10% $\bar{\nu}$ → favorito τ^-	particella negativa	25
vento di cc ν_μ	assenza di μ "prompt"	3
eliminazione interazioni scattering	$P > 2.5 \text{ GeV/c}$	0

Se ci fossero stati τ^- , 95% avrebbe passato questi tagli

(29)

0 eventi osservati $\rightarrow$ limiti di 2.3 eventi al 90% c.l.

(la probabilità che una nuova misura dia come risultato n° eventi < 2.3 è almeno 90%.)

$$1870 \text{ eventi con } \mu^- \Rightarrow R_{\text{raw}}(\mu^-) < \frac{2.3}{1870} = 0.0012 \quad (90\% \text{ c.l.})$$

$$53 \text{ eventi con } e^- \Rightarrow R_{\text{raw}}(e^-) < \frac{2.3}{53} = 0.043$$

R = probabilità che un $\nu_\mu(\nu_e)$ esista in ν_e

R_{raw} va corretto per tener conto che a seconda del tipo di neutrino variano:

- le sezioni d'urto
- l'assorbimento
- la efficienza di ricostruzione
- l'efficienza di ritrovamento

Correzioni valutate con monte carlo

$$\Rightarrow R(\mu^-) = 0.002 \quad 90\% \text{ c.l.}$$

$$R(e^-) = 0.073$$

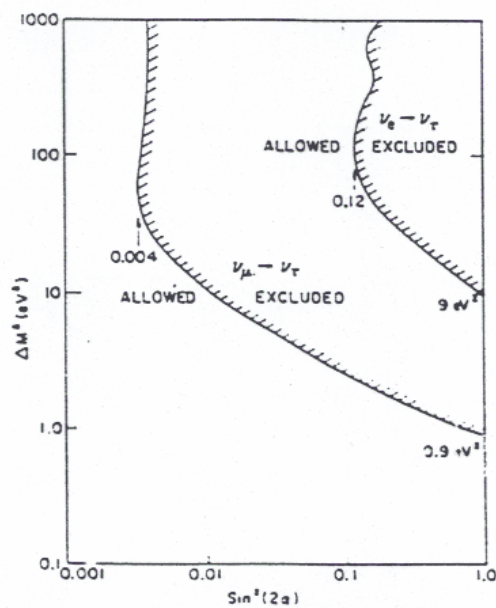


FIG. 2. ΔM^2 vs $\sin^2(2\alpha)$ plane. The curves show the 90%-C.L. limits for $\nu_\mu/\nu_\tau \rightarrow \nu_\tau$ oscillations.

ESPERIMENTI DI SCOMPARSA

(26)

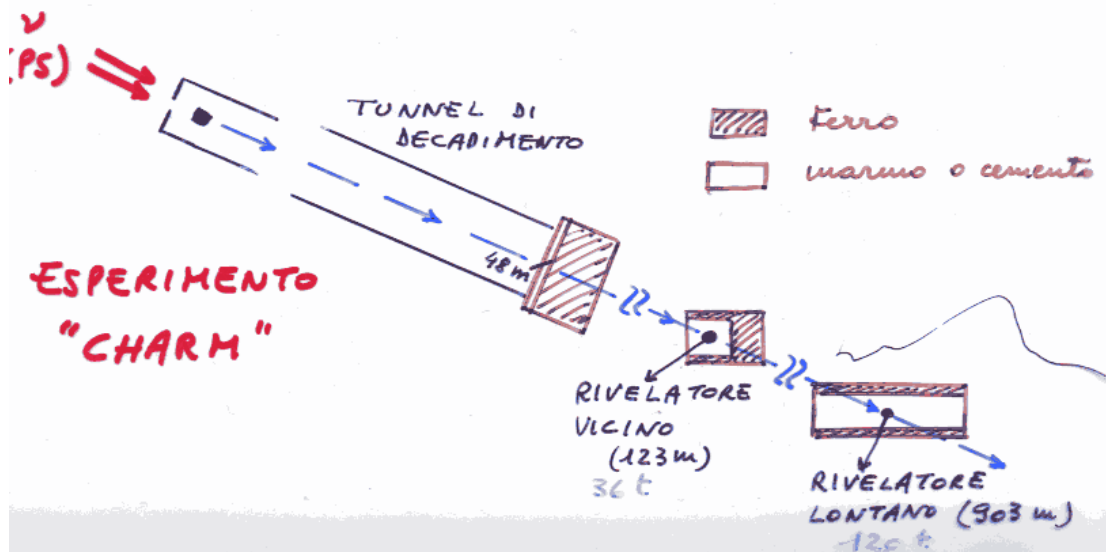
2 rivelatori a diverse distanze
(es. $\sim 100\text{ m}$ e $\sim 800\text{ m}$)

In un esperimento ideale:

$$\frac{N_2}{N_1} \left(\frac{L_2}{L_1} \right)^2 \frac{M_2}{M_1} = 1 \quad \text{in assenza di oscillazioni}$$

Il risultato sperimentale va corretto per:

- differenza in spettro E_ν (angoli $\neq$)
- produzione di adroni secondari che decadono in ν (n° dipende da L)
- efficienza dei rivelatori



ESPERIMENTI SULLE OSCILLAZIONI DI ν (27) IN CORSO (O IN PROGETTAZIONE)

CHORUS

$$\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$$

- il decadimento del τ viene cercato in emulsione
- l'evento viene identificato da un apparato esterno

NOMAD

$$\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$$

L'apparato è costruito in modo tale da identificare decadimenti del leptone τ

$$\tau^- \rightarrow \nu_\tau + \pi^-$$

$$\nu_\tau + \rho^-$$

$$\nu_\tau + \pi^- + \pi^+ + \pi^-$$

$$\nu_\tau + e^- + \bar{\nu}_e$$

NEUTRINO OSCILLATION MAGNETIC DETECTOR

28

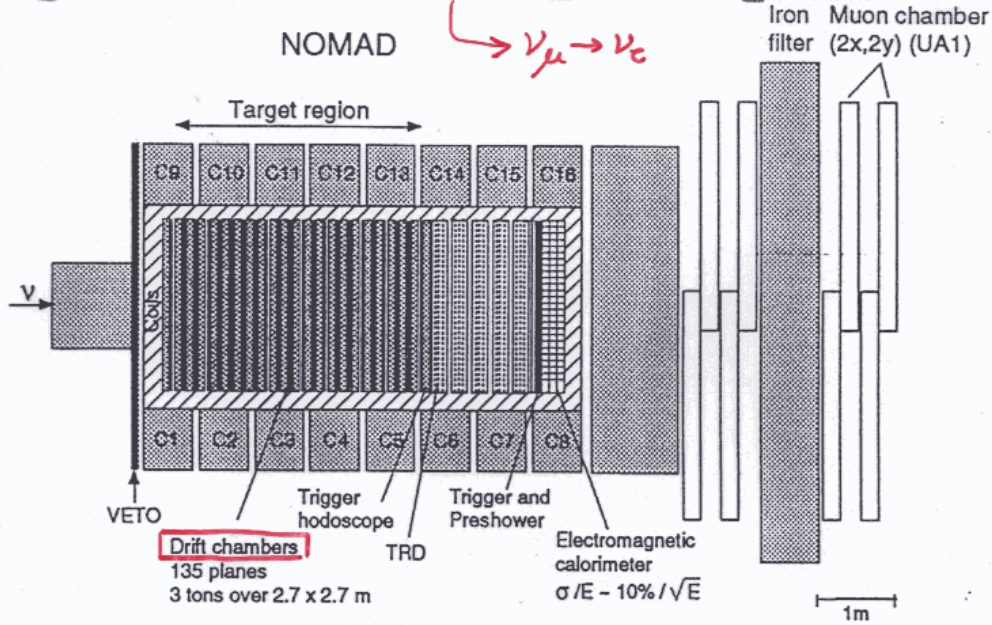


Figure 25 : Schematics of the NOMAD Detector.

~ 3 ton

piani di camera a deriva nel magneti di UA1

In base a criteri cinematici si riconoscono i decadimenti del τ

$$\nu_\tau + N \rightarrow \tau^- + \dots$$

$$\rightarrow \tau^- \rightarrow \nu_\tau + \pi^- \quad (11\%)$$

$$\nu_\tau + \rho^- \quad (23\%)$$

$$\nu_\tau + \pi^+ \pi^- \pi^- \quad (14\%)$$

$$e^- + \nu_\tau + \bar{\nu}_e \quad (17.5\%)$$

$$\mu^- + \nu_\tau + \bar{\nu}_\mu \quad (17.5\%)$$

CERN HYBRID OSCILLATION RESEARCH APPARATUS

Esperimento di "comparsa"

$$\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$$

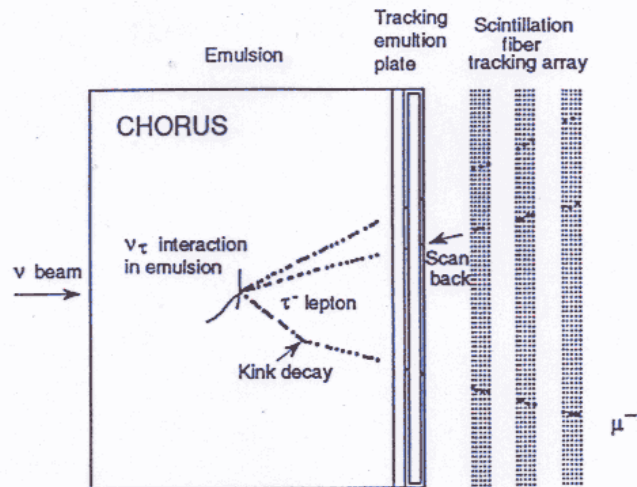


Figure 24 : Reconstruction of a ν_τ interaction in CHORUS.

I ν_τ prodotti direttamente dagli adroni

(es. $pN \rightarrow D_s + \dots$) sono una
 $L \rightarrow D_s \rightarrow \tau \nu_\tau$

frazione trascurabile ($\sim 10^{-7}$)

→ è possibile rivelare oscillazioni $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$
 fino a questo limite (10^{-7}) di sensibilità

③ Il decadimento del τ viene identificato da un "kink" sulla traccia del μ .

① Gli eventi in cui è più probabile che un τ sia stato prodotto vengono identificati con tagli cinematici.

② Questi eventi vengono localizzati tracciando all'indietro i secondari carichi, rivelati nelle camere.

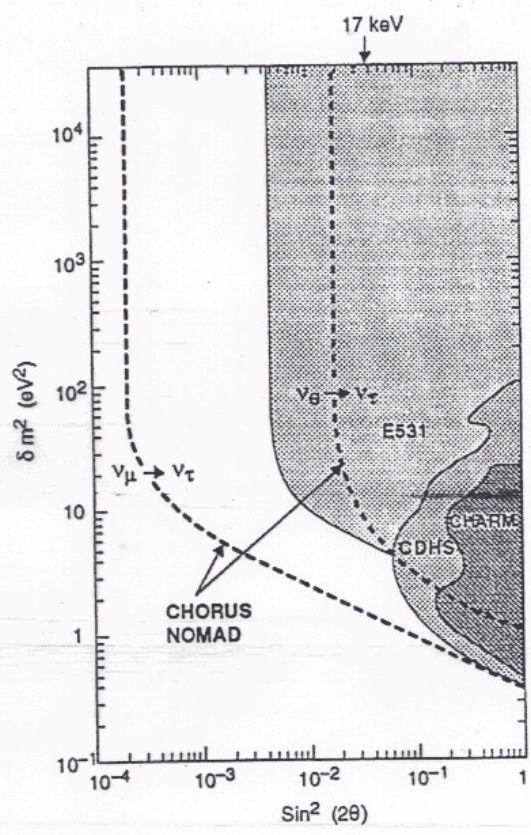


Figure 27 : Sensitivity of the CHORUS and NOMAD experiments for $\nu_\mu \leftrightarrow \nu_\tau$ and $\nu_e \leftrightarrow \nu_\tau$ oscillations.

IDEE PER IL FUTURO

(32)

Con v di energia molto alta, L è dell'ordine di centinaia di km.

→ Mandare il fascio di v di un acceleratore su un rivelatore lontano

- sotto terra, per non avere fondo di raggi cosmici.
- su rivelatori già esistenti (proton decay)

Rispetto a v atmosferici, i fasci di v offrono alcuni vantaggi:

- lo spettro di energia è conosciuto (e più limitato) e può essere variato
- Si possono avere fasci di v e di $\bar{v}$
- E' nota la direzione → più facile eliminare il fondo
- Si conosce il tipo di v ($\nu_\mu + \bar{\nu}_\mu$)
- L'intensità è più alta

Possibilità:

GRAN SASSO (rivelatore ICARUS)

KAMIOKANDE (Giappone)

DUMAND (Hawaii)

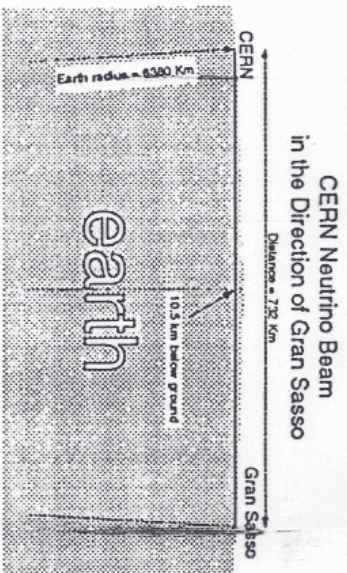


Figure 37 : Schematic cross-section of the Earth showing the CERN neutrino beam in the direction of Gran Sasso.

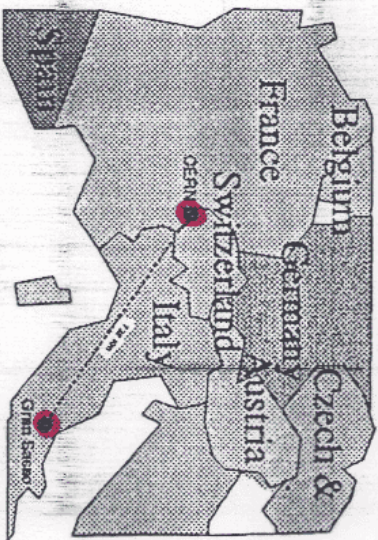


Figure 38 : Geographic map showing the path of the CERN neutrino beam in the direction of Gran Sasso.



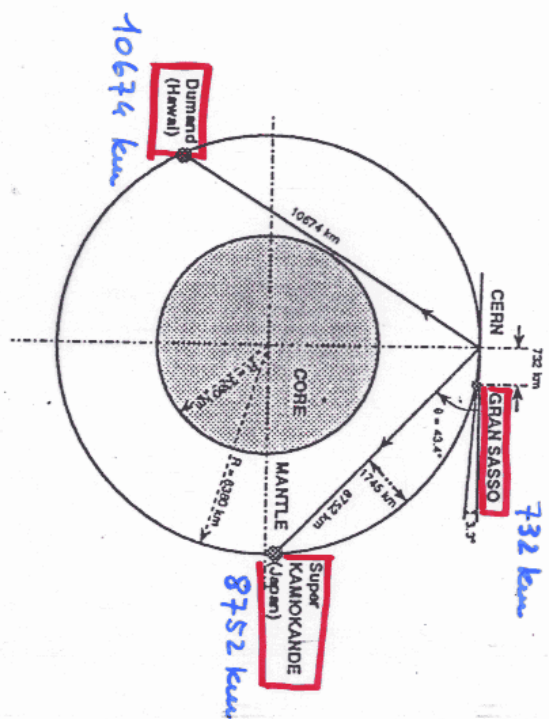


Figure 35 : Various possibilities of neutrino beams from CERN towards existing large neutrino detectors.

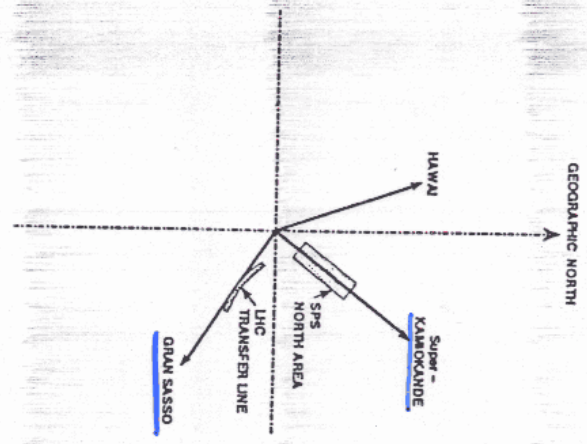
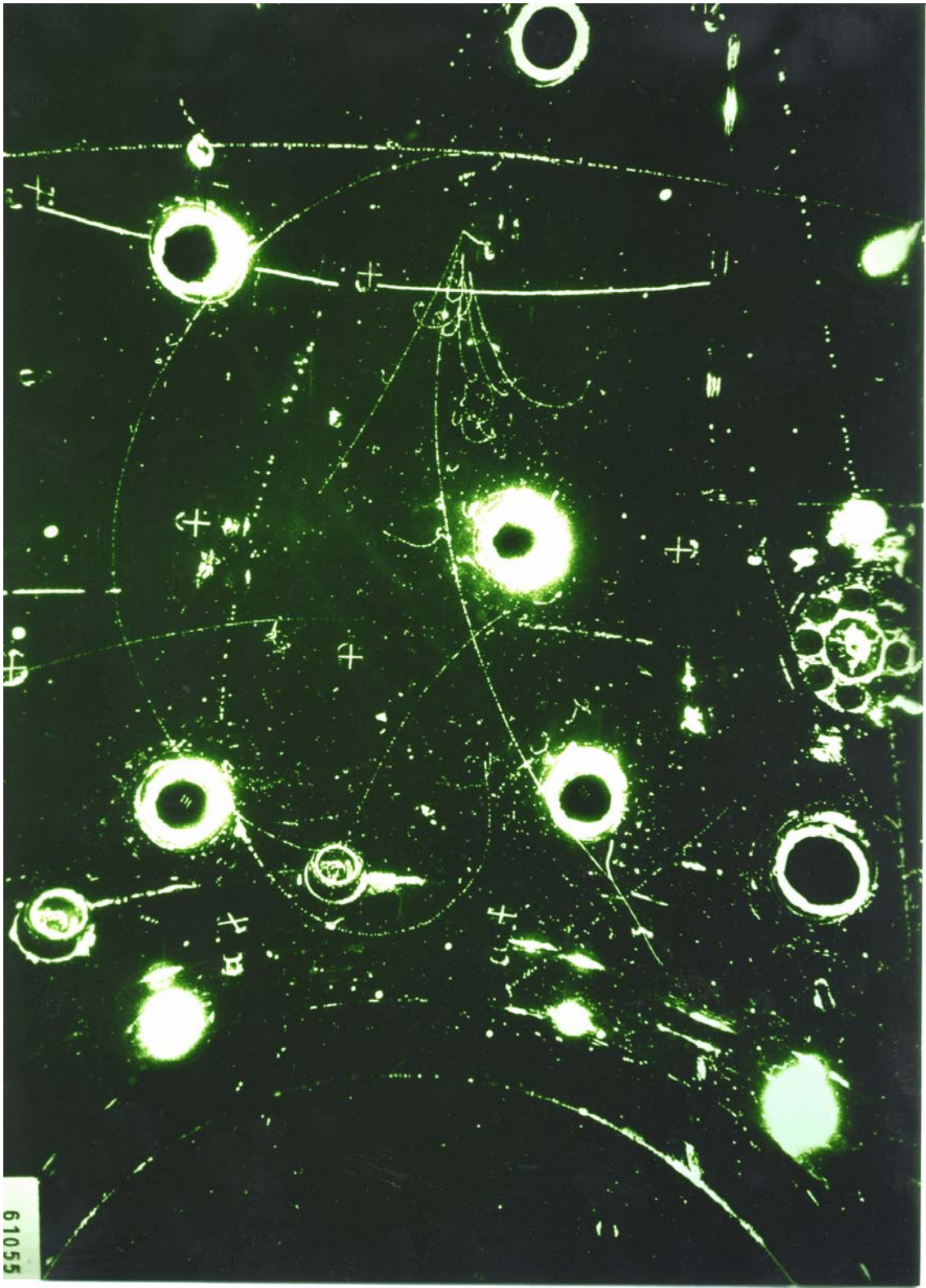


Figure 36 : Azimuthal directions at CERN of Dumand, Superkamiokande and ICARUS.

GRAN SASSO } in future
KAMIOKANDE } direction



61055

