

COMITATO NAZIONALE PER L'ENERGIA NUCLEARE  
Laboratori Nazionali di Frascati

LNF - 64/16  
18 Maggio 1964.

**C. Schaerf: SULLA UTILIZZAZIONE DEL LINAC PER  
EFFETTUARE DELLA SPERIMENTAZIONE CON PIONI. -**

(Nota interna: n. 240)

Nota interna: n° 240  
18 Maggio 1964

C. Schaerf: SULLA UTILIZZAZIONE DEL LINAC PER EFFETTUARE DELLA SPERIMENTAZIONE CON PIONI.

La prossima istallazione presso questi laboratori di un acceleratore lineare per elettroni ad alta intensità da essere usato parzialmente come iniettore per il progetto ADONE, pone il problema della sua utilizzazione per altri tipi di ricerca. Scattering elastico ed anelastico di elettroni e positroni su nuclei è ovviamente una sperimentazione aperta che dovrà in ogni modo essere effettuata. Tuttavia si pone il problema se questo strumento, unico nel suo tipo, non apra degli altri campi di indagine che siano meno sfruttati e permettano del lavoro meno sistematico e più nuovo. Mi sembra che la utilizzazione del Linac per produrre dei fasci di pioni di bassa energia da utilizzare tra l'altro per misure di fisica nucleare costituisca una interessante possibilità.

Il numero di pioni fotoprodotti in un materiale leggero può essere facilmente calcolato usando dei valori sperimentali delle sezioni d'urto. Questo calcolo è effettuato in appendice e mostra come il numero di pioni ottenibile è nettamente superiore a quello delle altre macchine attualmente in funzione<sup>(1)</sup>.

In fig. 1 ho riportato il risultato ottenuto assumendo un angolo solido del magnete deflettore di 0.01 steradiani, una sorgente di grafite lunga 5 centimetri, una banda di momenti accettata del 10 per cento ed un radiatore di 0.2 lunghezze di radiazione.

Usando un diamante invece della grafite, un radiatore leggermen

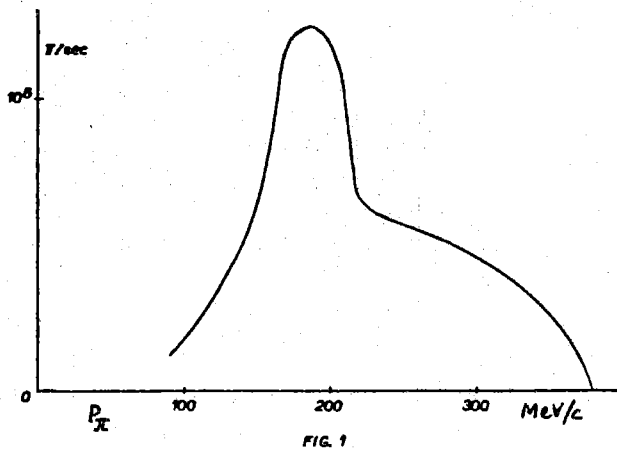


FIG. 1

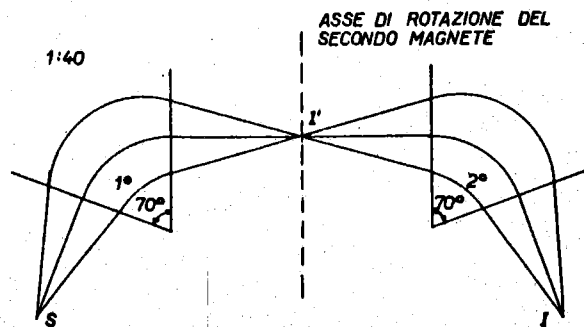
te più spesso (0.3 l. r.) ed una banda di momenti accettata del 20 per cento questi numeri crescono di un fattore 5.

Per effettuare una esperienza di fisica nucleare occorre un apparato con un potere risolutivo capace di distinguere lo scattering elastico da quello dei livelli eccitati. Sarà perciò necessaria una risoluzione in momento meglio di una parte su cento. Ciò com-

porterebbe una intensità utile di pioni nettamente inferiore a quella indicata.

Il sistema qui proposto dovrebbe permettere di utilizzare tutta la banda di momenti accettabile dal magnete permettendo tuttavia di separare lo scattering elastico da quello inelastico. Esso è indicato nelle figure 2 e 3.

Consideriamo un canale magnetico simmetrico costituito da due magneti a poli piani con un angolo di deflessione di  $70^\circ$  in ogni magnete. Consideriamo inoltre il caso che il sistema abbia un fuoco intermedio nel suo piano di simmetria.

FIG. 2 - TRAIETTORIE NEL PIANO MEDIANO DEL SISTEMA. SECONDO MAGNETE A  $0^\circ$ .

Questo sistema sarà per la sua natura a dispersione totale nulla (acromatico). In questo modo particelle emesse dalla sorgente con qualsivoglia energia andranno a rifocalizzarsi tutte lungo una linea indipendentemente dal loro momento nel piano focale del secondo magnete. Pertanto se introdurremo un bersaglio tra i due magneti nel piano di simmetria del sistema avremo che le particelle si distribuiranno in fine a seconda del momento perso nell'attraversare questo bersaglio.

Abbiamo scelto dei magneti a campo costante e focalizzazione singola onde poter mantenere il cammino dei pioni dalla sorgente al rivelatore il più corto possibile. Infatti avendo a che fare con pioni di bassa energia ciò è necessario per evitare un eccessivo decadimento in volo.

Questo sistema permetterà anche di effettuare delle misure di distribuzione angolare a vari angoli ruotando il secondo magnete intorno ad un'asse intersezione del piano di simmetria del sistema e del piano mediano (anche esso di simmetria) dei due magneti. Questa rotazione non altera la proprietà del sistema dei due magneti di avere di

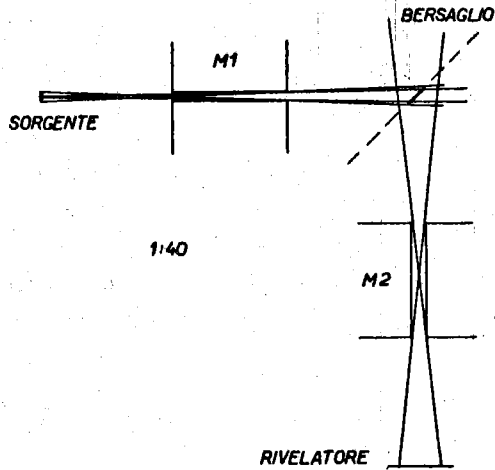


FIG. 3 - TRAIETTORIE NEL PIANO TRASVERSALE DEL SISTEMA. SECONDO MAGNETE RUOTATO DI 90° RISPETTO AL PRIMO.

spersione totale nulla.

Inoltre questo sistema permette di usare dei bersagli di notevole spessore. Infatti allineando il bersaglio secondo la bisettrice dell'angolo formato dai due magneti, tutte le particelle deflesse avranno attraversato lo stesso spessore di bersaglio e pertanto avranno perso la stessa quantità di energia.

Per dare una idea delle effettive velocità di conteggio che si possono avere con un sistema di questo tipo prendiamo ad esempio il caso dello scattering pioni carbonio. Queste sezioni d'urto sono state misurate per un momento del pione di 160 MeV/c ed a larghi angoli il valore trovato per la sezione d'urto è di circa 3 millibarn per steradiante<sup>(1)</sup>. Per le regioni dette possiamo pensare di usare un bersaglio di carbonio dello spessore di 1 gr/cm<sup>2</sup>. Ricordiamo che anche il secondo magnete, essendo identico al primo, avrà un angolo solido di 10<sup>-2</sup> ster. Pertanto avremo per il numero di eventi rivelati

$$n = N_{\pi} N_C \frac{d\sigma}{d\Omega} \Delta\Omega$$

$$N_{\pi} \approx 10^6/\text{sec}; \quad N_C = 6 \cdot 10^{23}/12 = 5 \cdot 10^{22};$$

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = 3 \cdot 10^{-27}; \quad \Delta\Omega = 10^{-2}$$

con questi numeri si ottiene subito:

$$n = 10^6 \cdot 5 \cdot 10^{22} \cdot 3 \cdot 10^{-27} \cdot 10^{-2} = 1.5/\text{sec}$$

cioè un centinaio di eventi al minuto per lo scattering elastico. Sempre considerando il nostro esempio la sezione d'urto per il processo in cui il nucleo di carbonio rimane nel suo primo livello eccitato è circa un fattore dieci più piccola. Pertanto per questo secondo processo avremo circa 10 eventi al minuto. Si noti che con l'apparato descritto in questa

4.

relazione questi eventi inelastici verrebbero misurati simultaneamente a quelli elastici.

Fissiamo ora la nostra attenzione su eventi corrispondenti ad un doppio scambio di carica

$$N(A, Z) (\pi^{\pm}, \pi^{\mp}) N(A, Z \pm 2)$$

cioè transizioni corrispondenti ad un  $T = 2$ . La sezione d'urto per un processo di questo tipo non è nota. Ci sembra tuttavia ragionevole assumere che si aggirerà tra un centesimo ed un millesimo di quella elastica. Pertanto in questo caso avremo tra 5 e 50 eventi all'ora. In queste condizioni una esperienza limitata è senz'altro fattibile sebbene piuttosto laboriosa.

Il terzo problema da considerare sono i processi con scambio di carica singolo:

$$N(A, Z) (\pi^{\pm}, \pi^0) N(A, Z \pm 1)$$

in questi casi la difficoltà consiste nel fatto che il pione prodotto è neutro. In questo caso non è facile indicare una strumentazione che permetta di eseguire tutte le misure che potranno interessare. Tuttavia è ragionevole assumere che con le intensità di pioni disponibili anche questo sia un canale di indagine aperto.

## APPENDICE A -

Il fascio di pioni ottenibile da un acceleratore di elettroni è dato da:

$$N_{\pi} = \frac{d^2\sigma}{d\Omega dE} \Delta E \Delta \Omega Q N_N e^{-\psi}$$

dove:

$$\Delta E = \frac{p}{E} \Delta p = \frac{p^2}{E} \frac{\Delta p}{p}; \quad N_N = \frac{1}{A} N_{AV};$$

$$Q = N_e t_{RL}; \quad \psi = \frac{L}{\tau_{0c}} \frac{m}{p}; \quad \tau_{0c} = 7.65 \text{ metri}$$

$$N_{\pi} = \frac{d^2\sigma}{dE d\Omega} \frac{p^2}{E} e^{-\frac{L}{\tau_c} \frac{m}{p}} \frac{1}{A} N_{AV} N_e t_{RL} \Delta \Omega \frac{\Delta p}{p}$$

$$N_{\pi} = V \cdot B \cdot M; \quad V = \frac{d^2\sigma}{dE d\Omega} \frac{p^2}{E} e^{-\frac{L}{\tau_c} \frac{m}{p}};$$

$$B = \frac{\delta}{A} N_e t_{RL} N_{AV}; \quad M = \Delta \Omega \frac{\Delta p}{p}$$

dove:

$(d^2\sigma/d\Omega dE)$  è la sezione d'urto espressa in  $\text{cm}^2/\text{MeV ster nucleo } Q$ ;  
 $p$  il momento del pione in  $\text{MeV}/c$ ;

$E$  l'energia totale del pione;

$L$  la lunghezza della traiettoria dei pioni in metri;

$m$  la massa del pione in  $\text{MeV}$ ;

$\tau_{0c} = 7.65$  metri;

$\delta$  densità del bersaglio;

$A$  numero atomico del bersaglio;

$N_e$  numero di elettroni al secondo emessi dal linac;

$t_{RL}$  lunghezza di radiazione del radiatore usato;

$\Delta \Omega$  angolo solido del canale magnetico;

$\Delta p/p$  banda di momenti accettati dal canale magnetico;

$l$  lunghezza del bersaglio accettato dal canale magnetico.

Usando un bersaglio di carbonio ed utilizzando per le sezioni di urto i dati di Williams, Crowe e Friedman<sup>(2)</sup> modificati per il diverso valore dell'energia degli elettroni incidenti<sup>(3)</sup>, abbiamo:

$$\delta = 2.2 \text{ gr/cm}^3; \quad A = 12; \quad N_e = 5 \cdot 10^{14} \text{ elettroni/secondo};$$

$$t_{RL} = 0.2, \quad B = 10^{37}.$$

6.

Per la parte proveniente dal magnete si può ragionevolmente as  
sumere:

$$\Delta \Omega = 10^{-2}; \Delta p/p = 10^{-1}; l = 5 \text{ cm.}$$

$$M = 5 \cdot 10^{-3}$$

Per la parte che dipende dalla energia di pioni vale la seguente tabelli  
na:

$T_{\pi}$ MeV	$P_{\pi}$ MeV/c	$\frac{d^2\sigma}{d\Omega dE}$ $E_e = 550$	$\frac{d^2\sigma}{d\Omega dE}$ $E_e = 375$	$p^2/E_2$ MeV/c	$e^{-LM/\tau_{cp}}$	$V$ $10^{-30}$
33	105	$21.4 \cdot 10^{-32}$	$15.4 \cdot 10^{-32}$	64	0.425	4.3
64	150	$30.0 \cdot 10^{-32}$	$21.6 \cdot 10^{-32}$	110	0.55	13
91	185	$37.8 \cdot 10^{-32}$	$27.2 \cdot 10^{-32}$	150	0.61	25
123	220	$15.2 \cdot 10^{-32}$	$11.0 \cdot 10^{-32}$	185	0.66	13
152	260	$9.3 \cdot 10^{-32}$	$6.7 \cdot 10^{-32}$	230	0.71	11

In conclusione si può dire che il numero di pioni ottenibile per secondo dall'acceleratore lineare entro un intervallo di momento del 10%, un angolo solido di  $10^{-2}$  steradiani e su una superficie di circa  $3 \text{ cm}^2$  (4) (nel punto I di fig. 2) è data da:

$P_{\pi}$	$N_{\pi}/\text{sec}$
105	$0.21 \cdot 10^6$
150	$0.65 \cdot 10^6$
185	$1.25 \cdot 10^6$
220	$0.65 \cdot 10^6$
260	$0.55 \cdot 10^6$

## BIBLIOGRAFIA -

- (1) - T. Ericson, Interactions of pions with complex nuclei. CERN 63-28. In questa relazione viene indicato che il numero di pioni ottenibili dal sincrociclotrone del CERN è approssimativamente  $10^5/\text{sec}$ .
- (2) - Williams, Crowe e Friedman, Phys. Rev. 105, 1840. Queste misure sono state effettuate a  $60^\circ$  e con un fascio incidente di 550 MeV.
- (3) - Waters, Phys. Rev. 113, 1133. Indica che il rapporto tra la produzione di pioni da un fascio gamma prodotto da un fascio di elettroni di 375 MeV ed uno di 550 MeV è dato molto approssimativamente da 0.72. Sebbene questa misura sia stata effettuata per altra energia del pione ed un altro angolo ho utilizzato questa informazione dato il carattere molto sommario di questa nota.
- (4) - Ho assunto, per analogia con altri acceleratori lineari esistenti che il diametro medio del fascio sia dell'ordine di 6 mm. Per un bersaglio lungo 5 cm si ottiene un'area di  $3 \text{ cm}^2$ . Ciò assumendo che il canale magnetico si trovi a  $90^\circ$ .