

LNF-75/41(R)  
28 Agosto 1975

A. Atanasov, T. Angelescu, O. Balea, F. Balestra, Yu. A. Bikovskii, L. Busso, I. V. Falomkin, R. Garfagnini, C. Guaraldo, M. M. Kulyu kin, V. I. Lyashenko; R. Mach, A. Mihul, F. Nichitiu, Nguen Min Kao, G. Piragino, G. B. Pontecorvo, R. Scrimaglio, Yu. A. Shcherbakov, M. V. Stabnikov, T. Troshev e A. Zanini: STUDIO DELLA DIFFUSIONE DI MESONI  $\pi^+$  SU D,  $^3\text{He}$ ,  $^4\text{He}$  CON UNA CAMERA A STREAMER SELF-SHUNTED IN CAMPO MAGNETICO.

A. Atanasov<sup>(\*)</sup>, T. Angelescu<sup>(\*)</sup>, O. Balea<sup>(\*)</sup>, F. Balestra<sup>(+)</sup>, Yu A. Bikovskii<sup>(\*)</sup>, L. Busso<sup>(+)</sup>, I. V. Falomkin<sup>(\*)</sup>, R. Garfagnini<sup>(+)</sup>, C. Guaraldo, M. M. Kulyukin<sup>(\*)</sup>, V. I. Lyashenko<sup>(\*)</sup>, R. Mach<sup>(\*)</sup>, A. Mihul<sup>(\*)</sup>, F. Nichitiu<sup>(\*)</sup>, Nguen Min Kao<sup>(\*)</sup>, G. Piragino<sup>(+)</sup>, G. B. Pontecorvo<sup>(\*)</sup>, R. Scrimaglio, Yu. A. Shcherbakov<sup>(\*)</sup>, M. V. Stabnikov<sup>(\*)</sup>, T. Troshev<sup>(\*)</sup> e A. Zanini<sup>(+)</sup>: STUDIO DELLA DIFFUSIONE DI MESONI  $\pi^\pm$  SU D,  $^3\text{He}$ ,  $^4\text{He}$  CON UNA CAMERA A STREAMER SELF-SHUNTED IN CAMPO MAGNETICO.  
(Progetto d'esperienza)

#### 1. - FINALITA' DELL'ESPERIMENTO. -

Scopo di questo lavoro è la messa a punto di una camera a streamer self-shunted in campo magnetico per ricerche sulla interazione di mesoni  $\pi^\pm$  su D,  $^3\text{He}$ ,  $^4\text{He}$ . L'apparato sperimentale permette un vasto programma di esperimenti, nei quali è necessario determinare il vertice delle interazioni di particelle di bassa energia, valutarne la ionizzazione, rivelare le reazioni con emissione di molte particelle e determinarne le correlazioni spaziali. La camera a streamer può lavorare con fasci intensi ( $10^5 \div 10^6 \text{ s}^{-1}$ ), e quindi essere utilizzata per lo studio di processi con piccole sezioni d'urto. Si propone di effettuare gli esperimenti esponendo l'apparecchiatura al fascio intenso di pioni, con energia fino a 400 MeV, sulla posizione "Ø" del laboratorio dei Problemi Nucleari del JINR. Il dispositivo sperimentale sarà utilizzato per lo studio della sezione d'urto, totale e differenziale, elastica ed inelastica allo scopo di stabilire l'ampiezza dell'interazione pione-nucleo, ed anche per ottenere dati

---

(\*) - Joint-Institut for Nuclear Research, Dubna (USSR).

(+) - Istituto di Fisica dell'Università di Torino e INFN, Sezione di Torino.

2.

sulle funzioni d'onda dello stato fondamentale dei nuclei leggeri. I dati sperimentali sono necessari per la verifica delle previsioni del modello ottico, della teoria di Glauber, della teoria della dispersione.

Tra i processi inelastici, in primo luogo, ci si propone di studiare i processi di doppio scambio carica su  $^4\text{He}$ ,  $^3\text{He}$  e D per la verifica delle previsioni teoriche esistenti (modello a cascata, modello delle correlazioni a coppie, modello dell'eccitazioni della risonanza barionica  $\Delta^{++}$ , ecc...).

Dai dati sulla cattura di pioni da  $^3\text{He}$  (reazione:  $\pi^- + ^3\text{He} \rightarrow p + n + n$ ), misurando lo spettro degli impulsi dei protoni, ci si propone di ottenere informazioni dettagliate sulla funzione d'onda del nucleo  $^3\text{He}$ . Si intende, inoltre, valutare il contributo dello stato D alla funzione d'onda dello stato fondamentale del D, ricercare eventuali stati eccitati dell' $^3\text{He}$ , ricevere nuovi dati sulla lunghezza di interazione n - n.

## 2. - CAMERA BERSAGLIO A STREAMER AD IDROGENO. -

L'interesse verso le camere-bersaglio a streamer si fonda sui seguenti punti: il primo è che esse sono un bersaglio che visualizza il vertice dell'evento permettendo inoltre la misura con una buona precisione di angoli, impulsi e percorsi, particolarmente nel caso di particelle di bassa energia<sup>(1,2)</sup>. Il secondo, che questo strumento risulta essere un ottimo concorrente delle camere a bolle ad idrogeno per la misura di sezioni d'urto piccole, dato che può lavorare su fasci intensi ( $\sim 10^6 \text{ s}^{-1}$ ) ed è comandabile con elevata frequenza.

Uno studio sistematico delle camere a streamer ad idrogeno è condotto al CERN, dove recentemente sono state visualizzate tracce in camere caricate con idrogeno alla pressione di 0.8 atm ad alimentate con impulsi di alta tensione molto brevi (base 6 ns)<sup>(3)</sup>.

Presso il Laboratorio dei Problemi Nucleari del JINR, usando la tecnica sviluppata in seguito anche presso l'Istituto di Fisica di Torino per le camere a streamer ad elio self-shunted<sup>(4)</sup>, si è cercato di ottenere tracce molto luminose e localizzate in idrogeno, aggiungendo al gas di riempimento (e bersaglio), piccoli quantitativi di opportuni gas, in modo da cambiare la configurazione della scarica. Con questo metodo sono state ottenute<sup>(5)</sup> tracce luminose e localizzate in idrogeno, alla pressione di 1 atm, coll'aggiunta di 0.5% di  $\text{CH}_4$ , per un valore del campo elettrico di circa  $27 \text{ kV cm}^{-1}$  (v. Fig. 1).

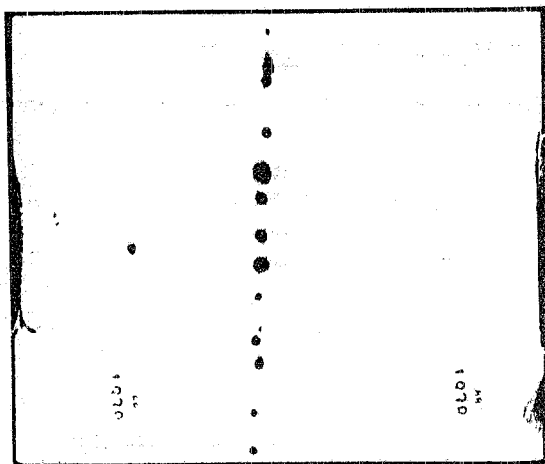


FIG. 1 - Fotografia di una traccia di elettrone in camera a streamer self-shunted ad idrogeno ( $p = 1 \text{ atm}$ ;  $E = 27 \text{ kV cm}^{-1}$ ).

Un ulteriore miglioramento nella ripresa delle tracce di camere a streamer potrà venire dalla messa a punto del metodo olografico di registrazione<sup>(6)</sup>. E' stato inoltre recentemente mostrato che l'efficienza della camera-bersaglio può essere migliorata abbassando la temperatura<sup>(7)</sup> del gas di riempimento.

### 3. - ESPERIMENTI CON CAMERA A STREAMER AD IDROGENO ED AD ELIO. -

Si possono studiare i seguenti problemi:

- Processi di doppio scambio carica su D,  $^3\text{He}$ ,  $^4\text{He}$ .
- Assorbimento di  $\pi^-$  in  $^3\text{He}$ .
- Diffusione elastica su D,  $^3\text{He}$ ,  $^4\text{He}$  per energie inferiori e maggiori a quelle finora studiate dalla collaborazione Dubna-Torino.
- Diffusione quasi-elastica di pioni su D,  $^3\text{He}$ ,  $^4\text{He}$  con emissione di particelle cariche.

#### 3.1. - Doppio scambio carica (DCE). -

Questo processo, scoperto al JINR nel 1963<sup>(8)</sup>, è caratterizzato dal seguente schema:  $\pi^\pm + (A, Z) \rightarrow \pi^\mp + (A, Z \pm 2)$ , con una variazione di carica di due unità, cioè  $\Delta \tau_3 = \pm 2$ . I dati noti finora sono<sup>(9)</sup>:

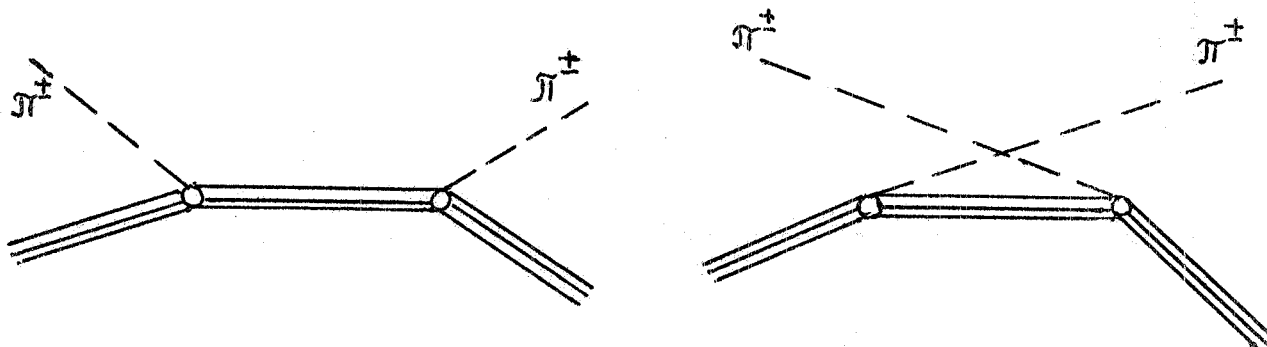
- a) - L'emissione di  $\pi^-$ , misurata inclusivamente, cresce con l'energia, e la sezione d'urto ha un massimo a circa 300 MeV.
- b) - La distribuzione angolare dei  $\pi^-$  è isotropa.
- c) - Lo spettro energetico dei pioni emessi ha un valore massimo per circa  $E = 0.3 E_{\pi_i}$ , dove  $E_{\pi_i}$  è l'energia del pione incidente.
- d) - La sezione d'urto dei processi  $\pi^+ \rightarrow \pi^-$  e  $\pi^- \rightarrow \pi^+$  è differente sia nel valore, sia nell'andamento in funzione dell'energia.
- e) - Vi sono effetti legati alla struttura a shell del nucleo ed alle correlazioni a coppie dei nucleoni nei nuclei.

4.

3.1.1. - Modelli proposti per il doppio scambio carica. -

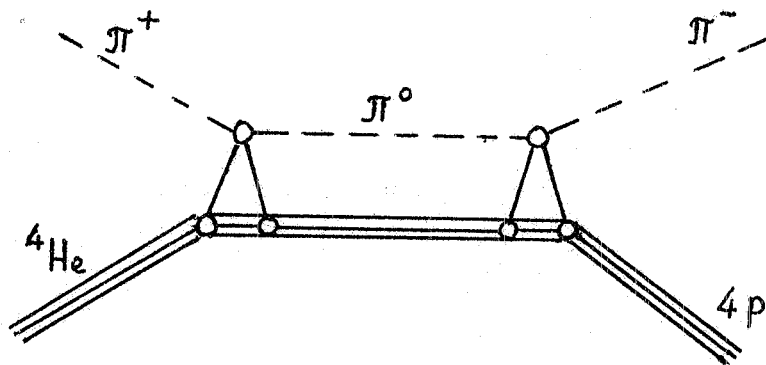
Per spiegare i dati sperimentali sono stati proposti diversi modelli:

a) Assorbimento<sup>(10)</sup>, descritto da diagrammi del tipo:



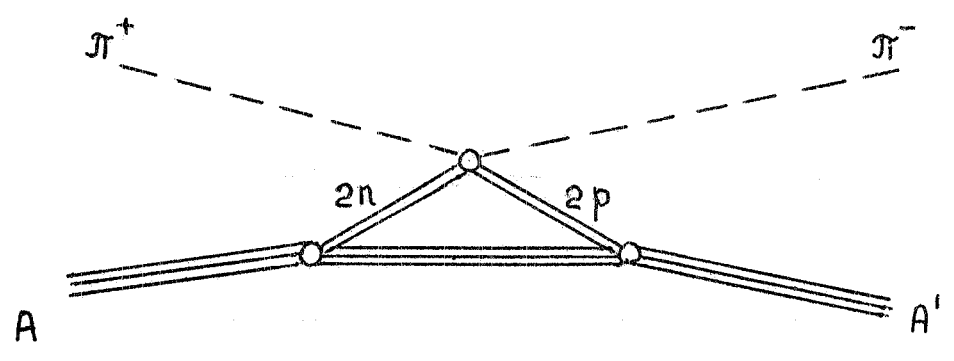
Questo modello viene usato a basse energie, quando, dopo il DCE il nucleo rimane allo stato fondamentale od ad uno stato eccitato, per esempio per la descrizione di processi del tipo  $\pi^- + {}^{58}\text{Ni} \rightarrow \pi^+ + {}^{58}\text{Fe}$ .

b) Modello a cascata<sup>(11)</sup>; si adopera per l'interpretazione dei processi con disintegrazione del nucleo. Viene descritto con diagrammi del tipo:



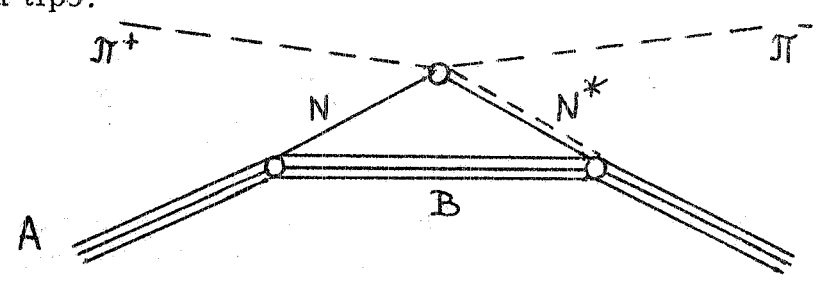
In questo modello si immagina che il processo avvenga in due tempi: generazione di un  $\pi^0$  da scambio carica del  $\pi^+$  con uno dei nucleoni, e suo successivo scambio carica con un altro nucleone con formazione di un  $\pi^-$ . Sulla base di questi modelli si fanno valutazioni con il metodo di Montecarlo<sup>(12)</sup>.

c) Modello della correlazione a coppie<sup>(13)</sup>, si immagina che il processo avvenga mediante un'interazione tra il pione incidente ed una coppia di nucleoni omonimi. Si descrive con un diagramma del tipo:

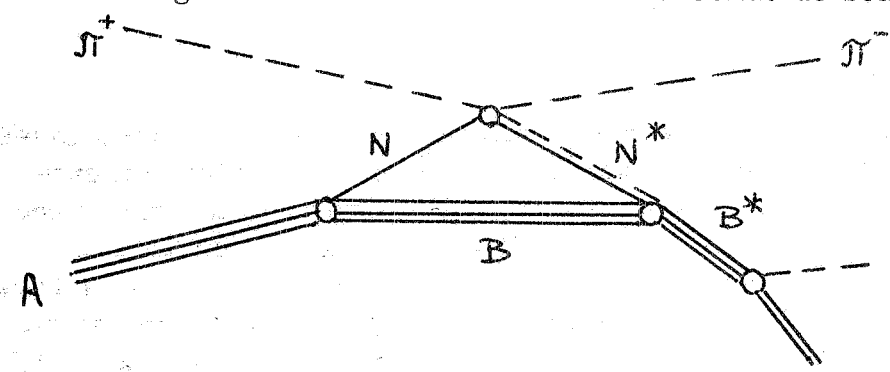


L'uso di questo modello permette una migliore descrizione della distribuzione angolare dei mesoni da scambio carica.

d) Modello isobarico<sup>(14)</sup>, questo modello è proposto dalla descrizione del processo di DCE per energie maggiori della soglia di produzione di mesoni da mesoni. Esso è schematizzato da un diagramma del tipo:



Nell'ambito del modello suddetto è possibile descrivere il processo di generazione di isonuclei<sup>(15)</sup> secondo lo schema:



3.1.2. - Dati sperimentali e problematica. -

La maggior parte delle informazioni sul processo di DCE è stata ottenuta con ricerche su nuclei complessi<sup>(9)</sup>. Questo fatto complica l'interpretazione teorica. Nella regione di bassa energia, il modello che tiene conto soltanto del processo di assorbimento appare dominante ma ora risultano necessari nuovi dati dettagliati sulla eccitazione, nel processo di DCE, di livelli nucleari separati<sup>(16)</sup>. Per energie superiori alle soglie di produzione di mesoni, l'interpretazione degli esperimenti diventa particolarmente difficile. In questa regione possono dare notevoli contributi tutti i meccanismi descritti prima e di conseguenza è necessario studiare sia l'andamento energetico sia le correlazioni angolari tra le particelle secondarie. Il con-

6.

tributo dello stato isobarico nel processo di DCE finora è stato dedotto solo in modo indiretto<sup>(17)</sup>. In Fig. 2 è rappresentata la di-

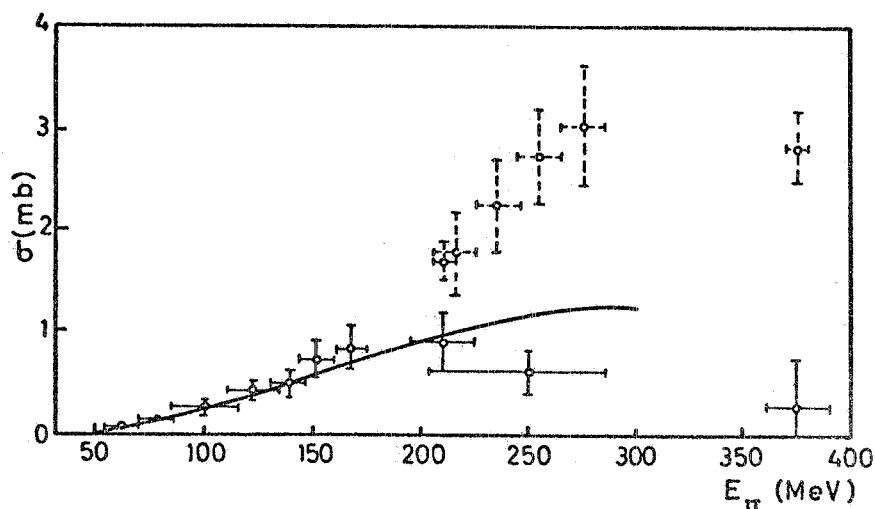


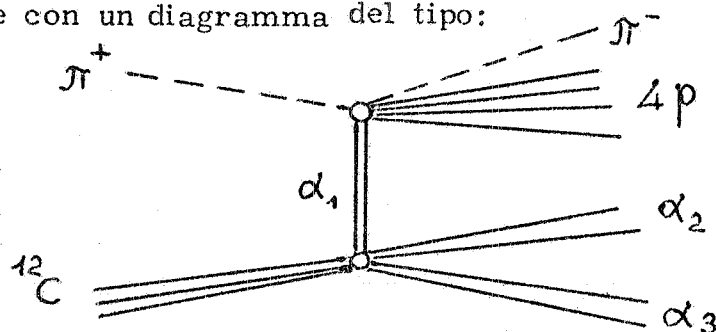
FIG. 2 - Dipendenza energetica della sezione d'urto totale di produzione di  $\pi^+$  da  $\pi^-$  (tratteggiata) e del DCE. (tratto pieno) di  $\pi^-$  in emulsioni nucleari. La curva continua rappresenta il risultato di un calcolo della sezione di urto di DCE con il modello a cascata<sup>(17)</sup>.

pendenza energetica della sezione d'urto di DCE.

Per comprendere separatamente il ruolo dei vari meccanismi di DCE, è opportuno studiare questo processo non inclusivamente, come nella maggior parte degli esperimenti finora fatti, ma avere uno stato del sistema definito e fare l'analisi cinematica totale. Questa analisi non deve dare solo il valore della sezione d'urto totale, ma anche informazioni sullo spettro degli impulsi, delle particelle che intervengono nella reazione, la loro distribuzione angolare, la correlazione angolare tra le particelle e la distribuzione tra le masse efficaci.

L'uso della camera a streamer, come proposto in questo progetto, permette questo tipo di analisi. Inoltre è molto importante che il processo di DCE avvenga su nuclei con un numero piccolo di nucleoni, in modo che il processo possa avvenire in modo "elementare". In questo caso si può prevedere di ottenere informazioni su quale modello meglio descrive il fenomeno (modello della correlazione a coppie, modello a cascata, modello isobarico) ed in quali intervalli energetici. Il DCE di pioni su nuclei D,  $^3\text{He}$ ,  $^4\text{He}$ , appunto soddisfa questo criterio di "elementarità".

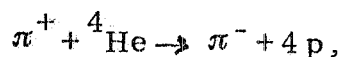
Questo dimostra la necessità della messa a punto e dell'uso di camere a streamer funzionanti anche come bersaglio, che possano lavorare con i gas suddetti. Gli esperimenti fin'ora effettuati, mostrano<sup>(18)</sup> che una parte notevole del DCE avviene secondo uno schema descrivibile con un diagramma del tipo:



dove è presente un vertice "elementare": perciò le informazioni provenienti da studi per il DCE in nuclei leggeri sono particolarmente utili. La camera a streamer è un rivelatore con un lungo tempo di accettazione (memoria) il che permette di comandarla con dei rivelatori esterni per la scelta dei processi indotti dai pioni nei nuclei dei gas di riempimento; essa può inoltre lavorare con fasci intensi di pioni.

La sezione d'urto di DCE è dell'ordine di circa  $100 \mu\text{b}$  su coppia di nucleoni. Per intensità di  $\pi$  di circa  $10^6 \text{ s}^{-1}$ , per una pressione di 3 atmosfere ( $n \simeq 10^{20} \text{ nuclei cm}^{-3}$ ) e una dimensione lineare della camera lungo la direzione del fascio di 0.5 m si possono rivelare circa  $1 \pm 0.1$  eventi al secondo, a seconda dell'angolo solido sotteso dal sistema di contatori di comando. Attualmente si hanno pochi dati sperimentali riguardanti il processo di DCE su nuclei leggeri<sup>(9)</sup>. Essenzialmente, l'informazione viene data da ricerche su processi inclusivi con l'uscita di un  $\pi$  carico.

Nei lavori<sup>(19)</sup> e <sup>(20)</sup>, fatti ad energie di pioni minori di 300 MeV su  $^4\text{He}$ , il valore della sezione d'urto differenziale differisce di 2 ordini di grandezza. La sezione d'urto totale della reazione:

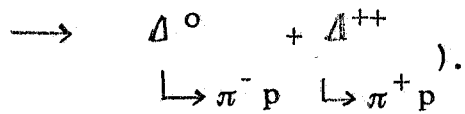


con rivelazione di tutte le particelle, è stata misurata nel lavoro<sup>(21)</sup> a 485 MeV con una camera a bolle e nel lavoro<sup>(22)</sup>, a 100 MeV, con una camera a streamer a  $^4\text{He}$ .

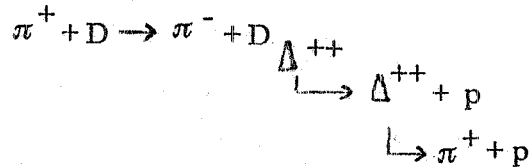
In Fig. 3 sono riportati i dati sperimentali e la stima teorica dell'andamento della sezione d'urto del processo di DCE secondo il modello della correlazione a coppie.



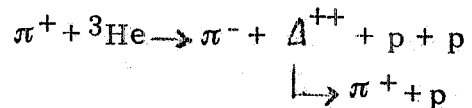




Lo studio dello spettro di massa e di impulsi del sistema  $\pi^{\pm} + p$ , e con la distribuzione angolare dei  $\pi^{-}$ , potrebbero dare informazioni sul ruolo dell'eccitazione  $\Delta^{++}$  confrontato con il meccanismo di non risonanza che è caratterizzato semplicemente dalla produzione del mesone  $\pi^{-}$ . Solamente da un'analisi cinematica sarà possibile stabilire se il processo ha le caratteristiche del DCE. E' possibile che l'andamento della  $d\sigma/dp$  e  $d\sigma/d\omega(\theta)$  per i  $\pi^{-}$  permetta di fare alcune considerazioni sulla formazione dell'isonucleo:



In accordo con il lavoro (15) per l'isonucleo  $\Lambda_{++}$  si intende un nucleo  $A$  nel quale un nucleone si trova nello stato isobarico. Finora la diffusione inelastica ( $\pi^{\pm}, D$ ) è stata poco studiata e non vi è la possibilità di fare questo tipo di analisi. La reazione (3), così come la reazione (1) può avvenire solo quando l'energia del  $\pi^{\pm}$  è maggiore della soglia di produzione mesonica. Nella reazione (3) l'analisi cinematica della ricerca del contributo della  $\Delta^{++}$  è complicata dalla presenza di tre protoni nello stato finale:

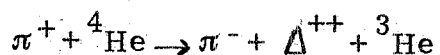


Tuttavia nello spettro degli impulsi dei  $\pi^{\pm}$ , potrebbe essere possibile trovare delle caratteristiche correlate con la presenza dell'isonucleo  ${}^3\text{He}_{\Delta^{++}}$  oppure di "cluster" di isonucleoni.

Nella reazione (2) è indispensabile ottenere dati sulla dipendenza energetica della sezione d'urto totale, della dipendenza angolare e per impulso del pione e dei protoni.

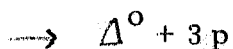
Questa reazione può avvenire per energie sia maggiori, sia minori di quelle della soglia di produzione mesonica.

Per energie del  $\pi^{\pm}$  incidente superiori alla soglia, si verifica la creazione di mesoni e in questo caso l'analisi cinematica del processo (4), che può essere rappresentato:



10.

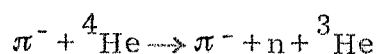
oppure



può permettere di definire quale contributo dà questo canale alla sezione d'urto totale di produzione di mesoni su  ${}^4\text{He}$  (Reazione (4)). Evidentemente c'è una notevole probabilità di osservare la reazione nella quale il nucleo  ${}^3\text{He}$  non si disintegra. Questo conferma l'importanza di esperimenti sui processi di diffusione quasi elastica di pioni su nuclei  ${}^4\text{He}$  (23)



e

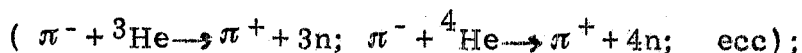


nei quali i nuclei  ${}^3\text{He}$  e T non si disintegrano.

### 3.1.3. - Doppio scambio carica e struttura del nucleo. -

La ricerca del meccanismo di DCE, per una dettagliata comprensione della sua natura, effettuabile come prima tappa dell'esperimento proposto, permette d'altra parte di fare un passo successivo, ossia quello di usare questo processo per lo studio della struttura del nucleo (9). Vi sono proposte di esperimenti nei quali il DCE è usato per le ricerche di:

a) possibilità di esistenza di un sistema stabile o quasi stabile del tipo  $3n$  e  $4n$  per es.:



b) eccitazione di stati analoghi isobarici del nucleo;

c) correlazione tra i nucleoni del nucleo e rappresentazione dettagliata della funzione d'onda dello stato finale del nucleo;

d) distribuzione superficiale dei nucleoni nei nuclei.

Il dispositivo sperimentale proposto può essere usato per eseguire un ciclo di esperimenti su questa problematica.

### 3.2. - Assorbimento di pioni in quiete in ${}^3\text{He}$ . -

La reazione  $\pi^- + {}^3\text{He} \rightarrow p + n + n$  è stata studiata in camera a diffusione, ed è l'unica misura attualmente esistente (24). La misura dello spettro degli impulsi dei protoni ha dato importanti informazioni sulla struttura della funzione d'onda dello stato finale dell' ${}^3\text{He}$  (25). D'altra parte la statistica raccolta non ha permesso di fissare molto rigorosamente i parametri della funzione d'onda. In Fig. 4 sono rappresentati i dati sperimentali ed i risultati dei calcoli dello spettro degli

impulsi dei protoni per questo processo. Per la rivelazione di eventi di questo tipo si può usare una camera a streamer comandata da contatori proporzionali<sup>(26)</sup>. Per identificare la reazione è indispensabile che la camera lavori in campo magnetico.

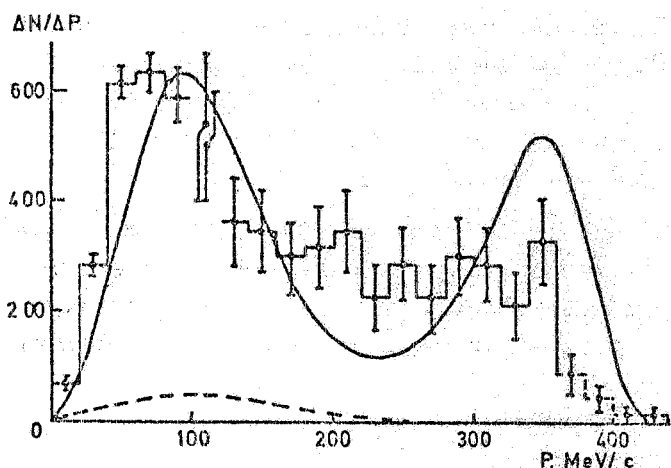
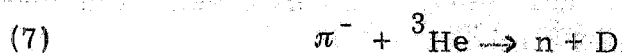


FIG. 4 - Spettro dello impulso dei protoni nel processo  $\pi^- + {}^3\text{He} \rightarrow p+n+n$  (ref. 24). La linea piena rappresenta lo spettro calcolato dei protoni<sup>(25)</sup>. La linea tratteggiata rappresenta lo spettro dei deutoni nel processo  $\pi^- + {}^3\text{He} \rightarrow D+n+\gamma$ .

Per l'intensità prevista di pioni lenti che si fermano in camera ( $\sim 3 \times 10^5 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ ) si stima di raccogliere  $\sim (1 \div 10)$  eventi al secondo con una camera descritta a paragrafo 5. Per calibrare lo spettrometro si usa la reazione:



che accompagna la reazione (6).

Lo studio dello spettro degli impulsi dei protoni nella reazione (6), in particolare nella parte di energia più alte, permette di ottenere nuovi dati sulla lunghezza d'interazione n-n.

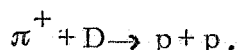
### 3.3. - Diffusione di pioni su nuclei di D, ${}^3\text{He}$ e ${}^4\text{He}$ .

Attualmente si hanno poche informazioni sulla sezione d'urto totale e differenziale di diffusione elastica di pioni su nuclei di D,  ${}^3\text{He}$  ed  ${}^4\text{He}$  per energie inferiori di 100 MeV. Nel caso dell' ${}^3\text{He}$ , non si ha alcuna informazione per energie inferiori a 68 MeV. In particolare per energie inferiori a 50 MeV aumenta la difficoltà di rivelazione dei prodotti di reazione. L'uso della camera a streamer come bersaglio riduce notevolmente questo inconveniente. A basse energie, diversi argomenti sono di notevole interesse:

a) La misura della differenza tra le sezioni d'urto totale di interazione di  $\pi^+$  e  $\pi^-$  (in particolare su isonuclei). L'effetto indicato si manifesta<sup>(27)</sup> nella regione energetica  $110 \div 200$  MeV. Nel nucleo  ${}^4\text{He}$  la grandezza  $\sigma^- - \sigma^+ / \bar{\sigma}$  raggiunge circa il 7% (a 110 MeV) e

diminuisce all'aumentare dell'energia. L'effetto è collegato con il manifestarsi della parte non interferente dell'interazione coulombiana, ed al diverso assorbimento dei  $\pi^+$  e  $\pi^-$  (28). Misure di questo effetto, per energie minori di 100 MeV, mancano del tutto. Lo stesso procedimento per ottenere la sezione d'urto totale nel lavoro (27) necessita di un'ulteriore analisi, in quanto per ottenere la sezione d'urto totale vengono fatte delle valutazioni teoriche della grandezza che male si accordano con le misure dirette di questa grandezza, dedotte dalla misura di diffusione elastica ( $\pi^\pm, {}^4\text{He}$ ). L'effetto suddetto non è stato ancora messo in evidenza per il D.

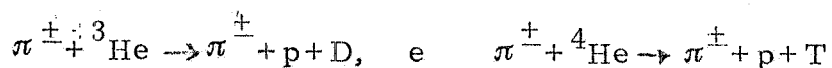
b) La sezione d'urto totale delle reazioni ( $\pi^\pm, \text{D}$ ), ( $\pi^\pm, {}^3\text{He}$ ), ( $\pi^\pm, {}^4\text{He}$ ), a differenza della sezione d'urto totale per le reazioni ( $\pi^\pm, \text{p}$ ) o ( $\pi^\pm, \text{n}$ ) a basse energie non tende a zero ed una notevole parte sarà rappresentata da processi di assorbimento, per esempio:



Ricerche su questi e analoghi processi, su nuclei  ${}^3\text{He}$  e  ${}^4\text{He}$ , permettono di ottenere informazioni ulteriori sulla parte immaginaria dell'ampiezza di diffusione pione-nucleo (29).

c) Lo studio della diffusione elastica nel processo ( $\pi^+, {}^3\text{He}$ ) per energie di pioni tra 100 e 300 MeV, con alta statistica, dà informazioni sulla mescolanza di stati a simmetria diversa nella funzione d'onda dello stato finale del nucleo  ${}^3\text{He}$  (30).

d) Lo studio dei processi di diffusione quasi elastica

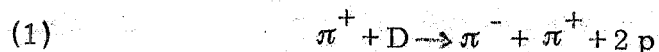


permette di ottenere nuove informazioni sull'eccitazione degli stati isobarici. L'informazione che si ha su questi processi non è vasta. Le uniche misure sono state fatte finora al JINR ed ai LNF alle energie di 110, 160, 273 e 330 MeV (31). Lo studio di questi processi con la camera a streamer non presenta difficoltà se si considera che essi hanno, in questo intervallo energetico, sezioni d'urto da 1 a 300 mb. Nell'analisi di queste reazioni si studierà la dipendenza energetica della sezione d'urto (è così determinata la larghezza e la posizione della risonanza) e verrà fatta un'analisi cinematica completa nell'intervallo energetico tra 50 e 350 MeV.

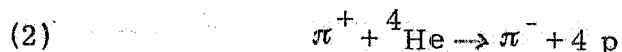
Per la rivelazione dei processi elencati in 3.1, 3.2 e 3.3 è sufficiente praticamente un'unica predisposizione del dispositivo sperimentale che permetta la raccolta di eventi caratterizzati dalla emissione di particelle cariche veloci uscenti dal volume della camera.

#### 4. - DOPPIO SCAMBIO CARICA SU DEUTERIO ED ELIO. REAZIONI DA STUDIARE. -

Si propone di iniziare l'esperimento con lo studio delle reazioni:



e



Ambedue i processi si presentano come reazioni cinematicamente complesse che avranno l'aspetto, in fotografia, di stella a 4 e a 5 rami rispettivamente.

Nella reazione (1) vengono emesse 2 particelle cariche veloci ( $\pi^+$  e  $\pi^-$ ) e danno in camera tracce al minimo di ionizzazione. Nella reazione (2) si ha una particella al minimo di ionizzazione ( $\pi^-$ ). Ambedue le reazioni sono caratterizzate dalla produzione di una particella di carica negativa che permette di predisporre un comando efficiente per separarle da reazioni aventi sezioni d'urto molto maggiori. In ambedue le reazioni, i pioni vengono emessi con uno spettro energetico con un massimo intorno a  $0.3 E_0$  ( $E_0$  è l'energia del pione incidente), quando  $50 \leq E_0 \leq 200$  MeV. Per energie maggiori lo spettro dei pioni si indurisce con un massimo nella zona  $0.5 E_0$ . Si può quindi comandare la camera a streamer con alta efficienza.

Dato che la distribuzione angolare dei pioni è praticamente isotropa è opportuno costruire un sistema di comando avente il massimo angolo solido.

I protoni nella reazione (1) e (2) sono di bassa energia e ciascun protone, mediamente, ha un'energia dell'ordine di  $0.1 \div 0.2$  volte l'energia del pione incidente e possono essere facilmente separati dai pioni con filtri. La distribuzione angolare dei protoni è praticamente isotropa e per questo la camera a streamer è particolarmente adatta alla loro rivelazione. Con riferimento alla sezione di urto delle reazioni (1) e (2), si può prevedere che le reazioni avranno una sezione d'urto  $0.1 \div 1$  mb. In una camera a streamer con 50 cm di volume utile, alla pressione di 4 atm, con intensità di pioni di circa  $10^6 \text{ s}^{-1}$ , si possono avere circa:

$$\begin{aligned} N &= L \cdot n_{\text{He}} \cdot p \cdot \sigma \cdot n_{\pi} = \\ &= 50 \text{ cm} \cdot 2.7 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3} \text{ atm}^{-1} \cdot 4 \text{ atm} (10^{-28} \div 10^{-27}) \text{ cm}^2 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1} = \\ &= (0.6 \div 6) \text{ eventi} \cdot \text{s}^{-1} \end{aligned}$$

#### 4.1. - Precisione nella misura delle tracce. -

Per ottenere la necessaria precisione nella misura dell'impulso delle particelle, occorre scegliere dimensioni ottimali della camera e del valore del campo magnetico.

Nell'intervallo energetico considerato si prevede che il valore massimo dell'impulso possa essere di circa 400 MeV/c; quindi, per un campo di circa 10 KG, il raggio di curvatura  $R$  è dell'ordine di 100 cm. In referenza (32) sono riportate le corrispondenti precisioni che si possono ottenere misurando tracce di lunghezza maggiore di 20 cm con una precisione nella ricostruzione spaziale di circa 0.2 mm per punto. In Tabella I sono riportati i valori della precisione di  $R$ , per diversi valori di lunghezza  $L$  delle tracce, a seconda del valore di  $R$  stesso; essi sono stati dedotti con il metodo descritto in ref. (32).

TABELLA I

$R$ cm \ $L$ cm	5	10	15	20	25	30	40
20	5.5	1.3	0.54	0.30	0.17	0.11	0.06
30	8.5	2.0	0.85	0.47	0.29	0.19	0.09
40	11.5	2.8	1.2	0.66	0.41	0.27	0.14
50	13.8	3.5	1.5	0.80	0.51	0.35	0.18
100	11.4	6.8	3.0	1.7	1.1	0.76	0.42
150	-	6.9	4.5	2.6	1.7	1.2	0.64
200	-	-	5.0	3.3	2.3	1.6	0.88

Si vede quindi che, anche per tracce di lunghezza inferiore a 20 cm, si può misurare l'impulso delle particelle con una precisione migliore del 5+10%. Per quanto riguarda la precisione di misura degli angoli, essa risulta sempre inferiore al grado<sup>(32)</sup> e quindi più che sufficiente per le analisi cinematiche.

#### 4.2. - Sistema di comando. -

Per le ricerche sul DCE, si propone di disporre intorno alla camera due tipi di rivelatori:

a) contatori a scintillazione che dovranno registrare l'esistenza di particelle veloci ed avere buone caratteristiche temporali ( $< 10$  ns) per ridurre il fondo;

b) camere proporzionali, usate come rivelatori di particelle cariche per la registrazione del segno del raggio di curvatura delle tracce. Ci si propone di cominciare con la misura della reazione (2), che ha la sezione d'urto più alta, ed è stata misurata a 100 e 485 MeV.

In Fig. 5 è mostrata la disposizione sperimentale schematica del comando del rivelatore.

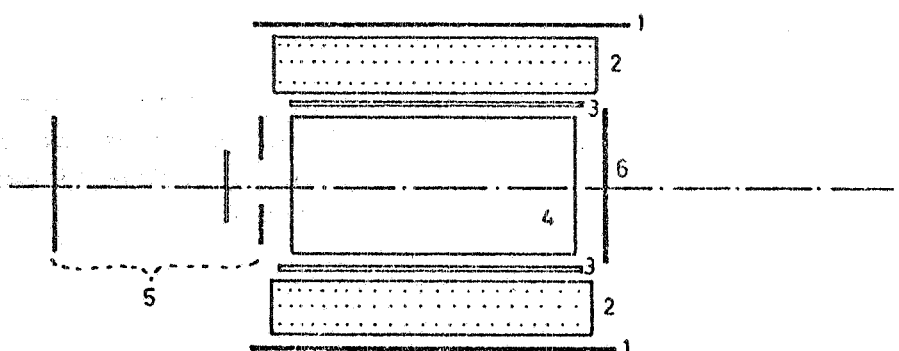


FIG. 5 - 1 - Contatori a scintillazione. 2 - Camere proporzionali. 3 - Filtri per protoni. 4 - Camera a streamer rettangolare di  $(30 \times 70 \times 15) \text{cm}^3$ . 5 e 6 - Sistema di contatori a scintillazione per la definizione del fascio.

In Fig. 6 sono mostrati i risultati delle valutazioni dell'ampiezza della zona di registrazione dei pioni, per diversi impulsi, in funzione dell'intensità del campo magnetico.

La linea  $I_2$  rappresenta il limite energetico inferiore per la registrazione dei pioni emessi; esso è determinato dallo spessore delle pareti della camera a streamer e dei contatori proporzionali e così dalla minima perdita di energia nei contatori per ottenere una registrazione stabile. La linea  $I_1$  rappresenta il limite per la registrazione della curvatura massima delle traiettorie, in una camera di larghezza 24 cm. Il limite  $I_3$  deriva dal presupposto che il pione, di impulso minimo, deve attraversare tutti i contatori del sistema di comando. Il limite superiore  $S$  è definito dalla possibilità della determinazione del segno delle curvature con la precisione prescelta.

In questo modo, per un campo da 10 KG, la regione di impulsi registrabili è compresa tra 100 e 300 MeV/c. Con l'abbassamento del valore del campo magnetico, per esposizioni ad energie inferiori, può cambiare il limite inferiore nella zona degli impulsi



più bassi. I calcoli sono stati fatti per contatori di  $20 \times 60 \text{ cm}^2$  e per una profondità del sistema di rivelazione di 20 cm. L'angolo solido del sistema di rivelazione è di circa  $0.1 \times 2 \pi \text{ sr}$ . Il numero di eventi utili di DCE saranno circa  $0.06 \pm 0.6 \text{ s}^{-1}$ .

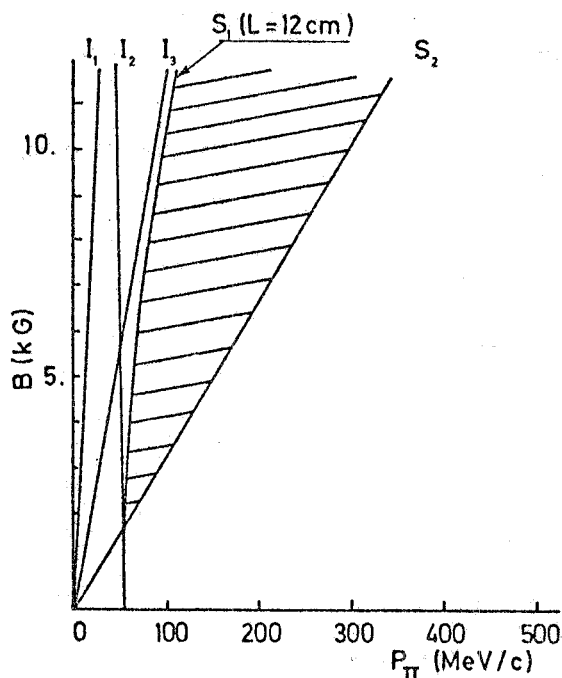
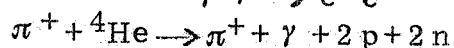
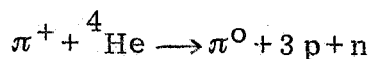
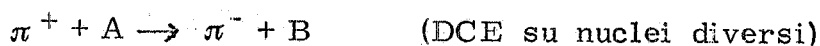


FIG. 6 - Zona di registrazione della camera in funzione del valore del campo magnetico.

#### 4.3. - Fondo. -

La rivelazione soltanto di particelle veloci, in coincidenza con le particelle del fascio non permette di separare soddisfacente mente la reazione in esame, poichè il rapporto tra la sezione d'urto della reazione (2) e la sezione d'urto delle altre reazioni, accompagnate dall'emissione delle particelle veloci, è di  $1/300$ .

Le reazioni che producono il fondo di particelle cariche saranno:



Nell'intervallo di energie esaminato, la sezione d'urto di questi processi varia da alcune decine di  $\mu\text{b}$  ad alcuni  $\text{mb}$ , cioè è dell'ordine di grandezza della sezione d'urto del DCE. In tal modo, il numero di comandi utili sarà dal 20% al 50% del numero totale di

comandi. Dall'analisi dei fotogrammi è facile escludere questo fondo.

#### 4.4. - Materiale statistico. -

Ci si propone di fare esposizioni con  $^4\text{He}$  per energie di 100, 150, 200, 250, 300, 350 MeV con raccolta di statistica per ciascun punto di circa 1000 eventi per raggiungere una precisione nella sezione d'urto dell'ordine del 5%. Il tempo previsto per ciascuna esposizione, tenuto conto del tempo di messa a punto del fascio e di calibrazione della misura è di circa 50 ore di lavoro di acceleratore. L'osservazione di fotogrammi (20.000 per ciascuna esposizione) sarà equivalente al lavoro di 40 uomo-giorno<sup>-1</sup> (doppia osservazione con efficienza del 99%). Per la misura degli eventi, in caso di uso di dispositivi semiautomatici, sono necessari circa 50 uomo-giorno<sup>-1</sup> per esposizione. Si sta studiando la possibilità di rendere totalmente automatica la misura dei film di camera a streamer self-shunted del tipo adottato presso il CNAF ed il LVTA.

#### 5. - DISPOSIZIONE SPERIMENTALE. -

L'apparato consiste dei seguenti elementi:

- elettromagnete contenente la camera a streamer;
- alimentatore di alta tensione;
- sistema di caricamento della camera;
- sistema di contatori di comando e corrispondente elettronico;
- sistema di registrazione.

##### 5.1. - Elettromagneti. -

Per l'esperimento si intende usare un magnete del tipo MC-4-2; opportunamente adottato per questo esperimento, per ottenere caratteristiche di uniformità di campo come quelle ottenute in ref. (3). Le caratteristiche generali dell'elettromagnete sono: campo di 10 KG, corrente di alimentazione di 1000 A, traferro 25 cm.

##### 5.2. - Camera a streamer. -

La camera sarà composta da un cilindro di cloruro di polivinile del diametro di 600 mm, alto 150 mm, racchiuso tra due vetri dello spessore di 1 cm. Nelle pareti verticali saranno ricavate due finestre per l'ingresso e l'uscita del fascio dello spessore di 25  $\mu\text{m}$ . L'insieme della camera e dei contatori sarà contenuto in un involucro metallico che permetterà di lavorare da 1 a 4 atm (Fig. 7). Si esamina la possibilità di una camera raffreddata alla temperatura dell'azoto

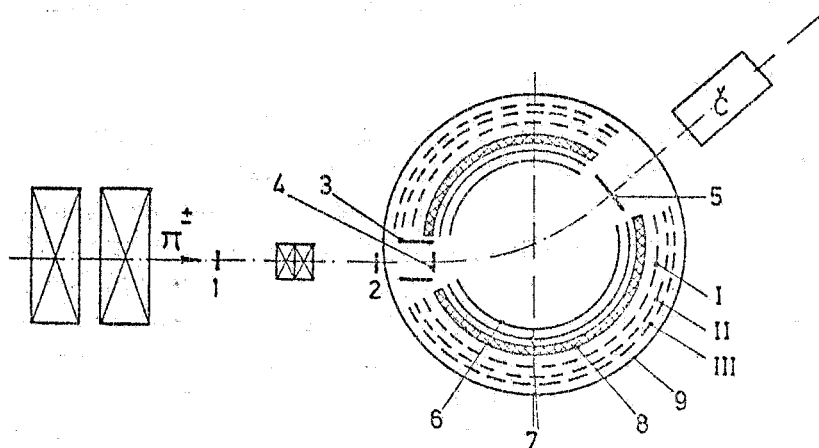


FIG. 7 - Disposizione della camera cilindrica e dei contatori sul fascio. 1÷7 - Contatori a scintillazione. 8 - Filtri. 9 - Contenitore metallico per alte pressioni. I, II, III - Camere proporzionali.

liquido<sup>(7)</sup>. A questa temperatura infatti si ottiene alla pressione di 1 atm, la medesima densità che a 4 atm e a 20°C. Oltre a questa camera cilindrica è prevista, come variante, una camera rettangolare di 30x70x15 cm<sup>3</sup> che, per alcuni degli esperimenti previsti, presenta una migliore geometria per il sistema di raccolta di dati (vedi Fig. 5).

### 5.3. - Generatore di alta tensione. -

Per l'alimentazione della camera è stato elaborato un generatore di alta tensione del tipo Arkadiev-Marx, composto da 35 sezioni di condensatori K 15-10. Ciascuna sezione consiste di due condensatori ed ha una capacità equivalente a 5 nF ed una tensione di lavoro di circa 80 kV. La capacità totale del generatore è di 140 nF.

La massima tensione che si può applicare agli elettrodi della camera, tenuto conto dei vari tipi di perdite, risulta di 1.5 MV. Tutte le parti ad alta tensione sono immerse in olio isolante. Gli elettrodi degli scaricatori sono a distanza variabile e si trovano in un tubo nel quale si può far variare la pressione del gas isolante (azoto).

Il tempo di ritardo tra il comando e l'impulso di tensione è inferiore a 1  $\mu$ s; la frequenza massima di lavoro è di 10 s<sup>-1</sup>.

### 5.4. - Sistema di selezione degli eventi. -

Per il comando della camera si useranno sia contatori a scintillazione, sia camere proporzionali.

In Fig. 7 è rappresentata una delle varianti per la selezione di eventi di DCE. I contatori 1, 2, 4 in coincidenza tra loro ed in anti coincidenza al contatore 3, definiscono il fascio di pioni; inoltre, la energia dei pioni è controllata dal tempo di volo su una base di 5 cm (distanza contatori 1 - 4) e per  $\Delta E/\Delta x$  nel contatore e scintillazione sottile 4, per ridurre il fondo di particelle lente.

Il contatore 5 è posto in anticoincidenza per separare gli eventi con emissione di pioni fuori dal fascio. Gli odoscopi di contatori 6, 7 controllano in tempo le particelle che, uscendo dal fascio, cadono su di essi. Per definire il segno dei  $\pi^\pm$  emessi, si propone di usare non meno di tre moduli (I, II, III) di camere proporzionali ad una coordinata, distanti l'una dall'altro 7 cm.

Il segno della curvatura si determina confrontando le differenze  $K_2 - K_3$  con la retta passante per  $K_1$  e  $K_2$  essendo  $K$  il numero di ordine del filo. Per un impulso di 300 MeV/c e un campo di 10 kG la distanza minima necessaria tra i fili è di 1.5 mm. Le dimensioni dei moduli, approssimativamente dovrebbero essere: altezza 25 cm, lunghezza  $\sim 95$  cm ( $30^\circ < \theta < 150^\circ$ ), raggio di curvatura  $\sim 50$  cm. (eccetto nel caso della variante con camera rettangolare), numero dei fili  $\sim 400$ , l'angolo solido risulta di circa  $0.07 \cdot 4\pi$  sr. La logica della camera sarà posta in linea con i calcolatori dal Centro di Calcolo del JINR. La risoluzione temporale dei contatori è di 3 ns per la misura del tempo di volo e per gli altri contatori a scintillazione migliore di 10 ns. A seconda della modalità di impiego si adotteranno fotomoltiplicatori XP 2020 56 DVP e FEU-30, per un totale di circa 25.

#### 5.5. - Registrazione degli eventi in camera. -

Si considerano 2 varianti per la registrazione: la fotografia diretta e la ripresa olografica. Per la fotografia si usano fotoapparati RFK-5 e obiettivi MIR-1. Per la ripresa olografica, si propone di usare uno schema analogo a quello descritto nel lavoro<sup>(6)</sup>, cambiando il sistema di sincronizzazione del laser. Per l'illuminazione si usa un laser a rubino del tipo OGM-20, modificato per ottenere un tempo di carica di circa  $1 \mu s$ . La lunghezza degli impulsi del laser è di circa 10 ns, la potenza 0.2 J. Gli ologrammi sono registrati su pellicole del tipo VR.

#### 5.6. - Sistema di riempimento. -

L'uso di camere a streamer self-shunted a He, in esperienza ha mostrato che dopo uno o più cicli di esposizione, esse vanno di nuovo completamente riempite.

Si procede secondo il seguente schema di lavoro: completo svuotamento seguito da riempimento con il gas bersaglio, già mescolato con la contaminazione opportuna. I cicli di svuotamento e di riempimento della camera sono completamente chiusi, il che permette di utilizzare gas come D ed  $^3\text{He}$ .

I volumi interno ed esterno alla camera vengono riempiti e vuotati con il controllo di un manometro differenziale.

#### 5.7. - Disposizione delle apparecchiature sul fascio di pioni. -

Le apparecchiature sono disposte sul terzo canale dei fasci dell'acceleratore, " $\phi$ ". Il fascio di  $\pi^+$  è ottenuto dal bersaglio interno. L'energia dei mesoni può variare nell'intervallo fra 20 e 350 MeV; la dispersione in impulso è  $\Delta p/p = 7\%$ . L'intensità è di  $(0.1 \pm 8) 10^8 \text{ s}^{-1}$ . La sezione del fascio è  $10 \text{ cm}^2$ . Per introdurre il fascio in camera e dimensionarlo, si prevede un completamento del dispositivo con un magnete deflettore ed un sistema di collimatori. L'intensità media del fascio in camera, con una sezione di circa  $5 \text{ cm}^2$ , è di circa  $10^6 \text{ s}^{-1}$ . Questa intensità dei fasci, prevista per il sincrociclotrone rinnovato, permette di ottenere fasci incidenti nella camera maggiormente monocromatici ed intensi degli attuali. Di fronte alla camera è posto un sistema di contatori per la selezione dei pioni incidenti su una base di 5 m, con una risoluzione di 3 ns (fotomoltiplicatori XP 2020). Per energie inferiori a circa 100 MeV il controllo dell'energia è dato dalla misura di volo; per energie superiori, si usa un contatore Cerenkov ad assorbimento totale.

Il dispositivo sperimentale viene approntato presso il Laboratorio dei problemi nucleari del JINR, in collaborazione con la sezione dell'INFN dell'Istituto di Fisica dell'Università di Torino e la partecipazione del Laboratorio LEALE dei LNF. La messa a punto del metodo di ripresa olografica e del metodo di elaborazione degli ologrammi, avviene in collaborazione con il MIFI ed il LIYaF.

Un possibile piano della costruzione del dispositivo sperimentale, è mostrato in Tab. II.

TABELLA II

	1975	1976	1977	1978
I <sup>o</sup> - Ricerche sulla possibilità costruttiva delle camere. Verifica sperimentale.	+			
II <sup>o</sup> - Progetto costruttivo del nuovo elettromagnete.		+		
III <sup>o</sup> - Progetto costruttivo delle camere		+		
IV <sup>o</sup> - Progetto dei sistemi di comando		+	+	+
V <sup>o</sup> - Preparazione dei programmi per i calcolatori elettronici		+	+	+
VI <sup>o</sup> - Montaggio e avviamento				+

## BIBLIOGRAFIA. -

- (1) - I. V. Falomkin et al., *Nuovo Cimento* 3, 461 (1972).
- (2) - F. Balestra et al., *Nucl. Instr. and Meth.* 125, 157 (1975).
- (3) - CERN Courier, 14, 425 (1974).
- (4) - I. V. Falomkin et al., *Nucl. Instr. and Meth.* 53, 266 (1967);  
L. Busso et al., *Atti Accad. Sci. Torino*, 104, 423 (1970).
- (5) - I. V. Falomkin et al., *Lett. Nuovo Cimento* 13, 427 (1975).
- (6) - M. M. Kulyukin et al., Preprint L. I. Ya. F. -36, Leningrado (1973).
- (7) - Yu. V. Gorodkov et al., *PTE*, 6, 46 (1974), (in russian).
- (8) - Yu. A. Batusov et al. *Sov. Phys. JETP* 19 557 (1964).
- (9) - F. Beker and Yu. A. Batusov, *Riv. Nuovo Cimento* 1, 309 (1971).
- (10) - Yu. A. Batusov et al., *Sov. J. of Nucl. Phys.* 9, 91 (1969).
- (11) - Yu. A. Batusov et al., *Sov. J. of Nucl. Phys.* 5, 249 (1967).
- (12) - H. V. Bertini, *Phys. Rev.* 1C, 423 (1970).
- (13) - F. Becker and C. Schmit, *Nucl. Phys.* 13B, 607 (1970).
- (14) - O. D. Dalnarov and I. S. Shapiro, *Phys. Letters* 26B, 706 (1968).
- (15) - G. E. Leksin, preprint ITEP, n. 854 (1971).
- (16) - T. E. O. Ericson, Proc. CERN Conf. on High Energy Physics and Nuclear Structure, (1963), p. 68.
- (17) - Yu. A. Batusov et al., *Sov. J. of Nucl. Phys.* 9C, 221 (1969).
- (18) - Y. P. Massuc, Thesis, Strassburg (1970).
- (19) - L. Ctilly et al., *Phys. Letters* 19, 335 (1965).
- (20) - L. Kaufman et al., *Phys. Rev.* 175, 1358 (1968).
- (21) - N. Carayannopoulos et al., *Phys. Rev. Letters* 20, 1215 (1968).
- (22) - I. V. Falomkin et al., *Nuovo Cimento* 22A, 333 (1974).
- (23) - M. S. Kozodaev et al., *Sov. Phys. JETP*, 12, 644 (1961); F. Balestra et al., (in press).
- (24) - O. A. Zaimidoroga et al., *Sov. Phys. JETP* 24, 1111 (1967).
- (25) - P. P. Divakaran, *Phys. Rev.*, 139B, 187 (1965).
- (26) - M. M. Kulyukin et al., *PTE*, 4, 48 (1967) (in russian)
- (27) - C. Wilkin et al., *Nuclear Phys.* B62, 61 (1973).
- (28) - G. Fäldt and M. Pilkun, *Phys. Letters*, 40B, 613 (1972).
- (29) - I. V. Falomkin et al., Preprint JINR, E1-6534 Dubna (1972);  
*Lett. Nuovo Cimento* 5, 1125 (1972).
- (30) - G. Ramachandran and K. Ananthanarayanan, *Nuclear Phys.*, 64, 652 (1965).
- (31) - M. Kozodaev et al., *Sov. Phys. JETP*, 11, 300 (1960); F. Balestra et al., Proc. VI Conf. on High Energy Phys. and Nuclear Structure (1975).
- (32) - F. Balestra et al., *Nucl. Instr. and Meth.* 119, 347 (1974);  
125, 157 (1975).