

LNF-70/25
16 Giugno 1970

P. E. Argan, P. Benvenuto, D. Fabbri, L. Fiore, G. Gialanella,
A. Gigli, E. Lodi-Rizzini, L. Maiani, G.C. Mantovani, C. Mar-
ciano, A. Piazza, G. Piragino, V. Rossi e G. Susinno : UNA
CAMERA A BOLLE A MISCELA PESANTE GAS-LIQUIDO DI
70 LITRI DI VOLUME CON BERSAGLIO INTERNO DI IDRO-
GENO. -

Nota Interna: n. 480
16 Giugno 1970

P. E. Argan^(x), P. Benvenuto⁽⁺⁾, D. Fabbri, L. Fiore⁽⁺⁾, G. Gialanella⁽⁺⁾,
A. Gigli^(o), E. Lodi-Rizzini^(o), L. Maiani, G. C. Mantovani^(o), C. Mar-
ciano^(o), A. Piazza, G. Piragino⁽⁻⁾, V. Rossi^(x) e G. Susinno:
UNA CAMERA A BOLLE A MISCELA PESANTE GAS-LIQUIDO DI 70
LITRI DI VOLUME CON BERSAGLIO INTERNO DI IDROGENO. -

INTRODUZIONE. -

Descriviamo nella presente nota una camera a bolle a misce-
la pesante gas-liquido attualmente impiegata sul fascio γ dell'Elet-
trosincrotrone di Frascati.

Questa camera a bolle, progettata e costruita presso l'Istituto
di Fisica di Genova nel 1960-61^(^) è stata recentemente modificata pres-
so i LNF per essere alloggiata in un magnete analizzatore. E' stata

(*) - Laboratori di Saclay, Francia.

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

(o) - Istituto di Fisica dell'Università e INFN, Gruppo di Pavia.

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

(x) - Istituto di Fisica dell'Università e INFN, Sezione di Roma.

(^) - In questa fase hanno collaborato: P. E. Argan, A. Gigli, C.
Marciano e G. Piragino.

2.

inoltre dotata di una targhetta interna di idrogeno gassoso ad alta pressione per essere esposta al fascio γ dell'Elettrosincrotrone.

La nota è divisa in sette capitoli che trattano rispettivamente:

- I) La camera a bolle - Caratteristiche meccaniche.
- II) Il dispositivo di espansione e ricomprensione.
- III) Il magnete analizzatore.
- IV) L'ottica di ripresa.
- V) L'elettronica di comando e di controllo.
- VI) Le caratteristiche di funzionamento della camera.
- VII) Il bersaglio interno di idrogeno.

I- LA CAMERA A BOLLE - CARATTERISTICHE MECCANICHE. -

La geometria della camera a bolle è cilindrica con un diametro utile di 500 mm ed un'altezza di 360 mm. In fig. 1 sono rappresentate le sezioni della camera secondo un piano passante per l'asse del cilindro e secondo un piano perpendicolare a tale asse. Le caratteristiche più interessanti dello strumento sono sostanzialmente le seguenti:

- a) un volume morto praticamente nullo;
- b) la parte mobile della parete, di forma anulare, per la espansione e ricomprensione.

Il corpo centrale della camera è un cilindro (1) di acciaio inossidabile (AISI 304; Cr 8%, Ni 18%, C 0,09%), chiuso alle basi da due vetri BK 7 temperati e lavorati otticamente (2). Due anelli forati (3), le cui caratteristiche geometriche risultano chiare dalla Fig. 1, costituiscono il supporto delle membrane anulari (4) per la espansione e la ricomprensione. Le membrane sono di Vulkollan ed hanno uno spessore di 3 mm.

I vetri frontali di chiusura sono mantenuti in posizione per mezzo di flange (5) e prigionieri di acciaio inossidabile. Le flange (5) sono sagomate in modo da essere accoppiate a due recipienti (6) e (7) contenenti azoto ad una pressione di $15 \div 20$ atm allo scopo di controbilanciare sui vetri la pressione interna della camera. Le condotte (8), in numero di quattro per ognuno dei due anelli forati (3), consentono il passaggio del fluido, che serve per la espansione e la ricomprensione della camera, nella cavità a sezione rettangolare (9) degli anelli (3). Nella parte di parete di questi ultimi, che è rivolta verso lo interno della camera e sulla quale va ad appoggiarsi la membrana in condizioni di espansione, sono stati praticati circa 800 fori di 4 mm di diametro.

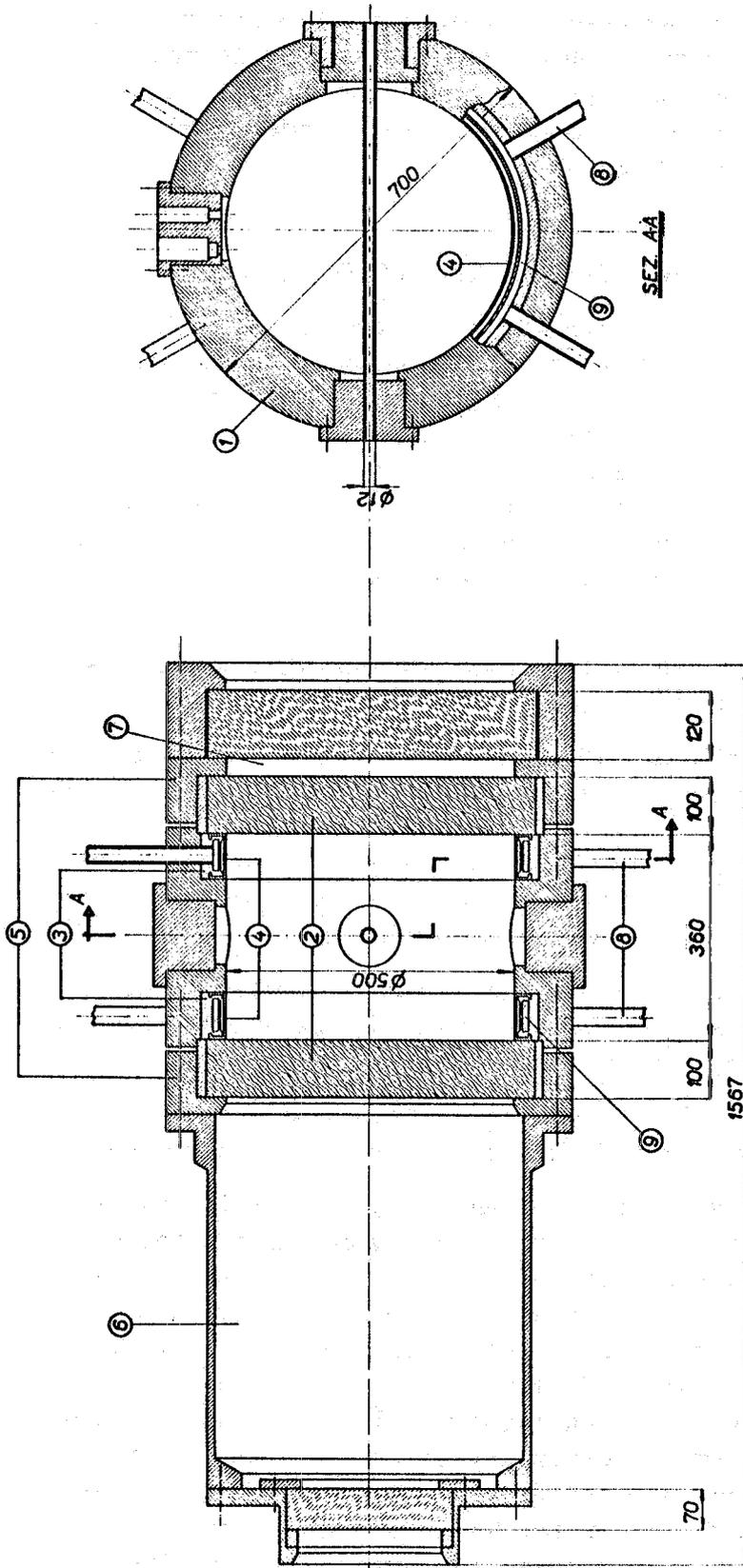


FIG. 1

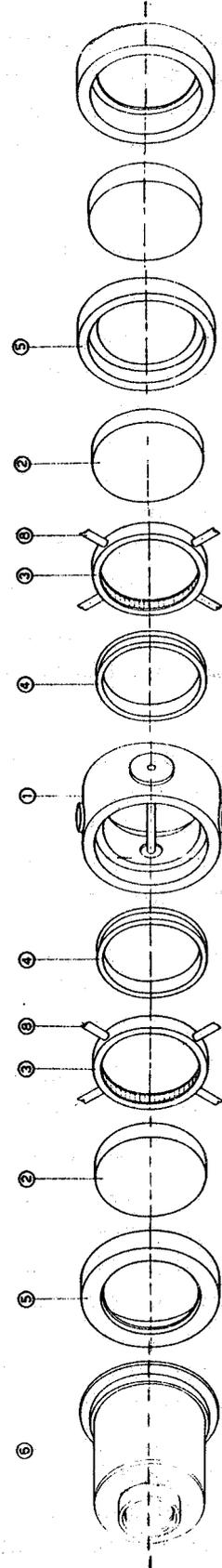


FIG. 2

4.

In Fig. 2 sono rappresentate in prospettiva le varie parti separate della camera. Sulla parete della camera, sono state praticate aperture di dimensioni opportune per l'ingresso del fascio, il riempimento e lo scarico della miscela, il misuratore di pressione, il termometro e lo scarico di emergenza.

II - IL DISPOSITIVO DI ESPANSIONE E RICOMPRESSIONE. -

Il fluido, con cui viene controllata la posizione delle due membrane anulari, è acqua. La pressione dell'acqua può essere portata alternativamente a valori prefissati maggiori e minori della pressione di equilibrio del mezzo sensibile racchiuso nella camera, per mezzo di otto valvole (quattro per ogni membrana) di speciale costruzione. L'adoperazione di acqua quale fluido per operare gli spostamenti delle membrane è resa possibile dal fatto che la camera è destinata a lavorare con miscele gas-liquido sensibili a temperature prossime a quella dell'ambiente ($15 \div 25^{\circ}\text{C}$).

Le caratteristiche generali di lavoro del sistema adottato si possono riassumere nei seguenti punti:

a) la termoregolazione della miscela sensibile è ottenuta mantenendo costante la temperatura dell'acqua; per la dispersione del calore trasmesso alla miscela sensibile nella fase di ricomprensione sono, infatti, sufficienti gli scambi termici che avvengono tra la miscela sensibile e l'acqua attraverso le membrane di espansione, che sono a diretto contatto con la zona utile della camera;

b) l'energia messa in gioco in ogni ricomprensione è unicamente pari al prodotto della pressione di ricomprensione per la variazione di volume necessaria per rendere sensibile la camera;

c) regolarità e rapidità nel controllo della pressione nell'interno della camera durante le fasi di espansione e ricomprensione;

d) facilità nella realizzazione delle tenute e quindi nella costruzione di valvole di espansione e ricomprensione molto semplici e, di conseguenza, rapide e precise nella risposta. Va notato che nel sistema adottato le masse del fluido da spostare, per rendere sensibile la camera, non sono trascurabili (dell'ordine di 3 litri), mentre la velocità di afflusso attraverso le luci delle valvole può essere anche molto elevata (si possono raggiungere velocità calcolate dello ordine di $10 \div 30$ m/sec). Da ciò deriva la necessità di cedere rapidamente alle masse d'acqua interessate energie cinetiche molto elevate con la duplice conseguenza di produrre sensibili colpi d'ariete al momento dell'inversione di posizione delle valvole ed un effetto di ritardo tra il comando delle valvole e la loro effettiva entrata in fun-

zione. Da qui la necessità di fare uso di valvole di espansione e di condotte di adduzione dell'acqua, proveniente dagli accumulatori di acqua pressurizzata, dotate di grandi luci.

Nella realizzazione dell'impianto si è riusciti a raggiungere una buona efficienza complessiva facendo in modo che solo il fluido che transita effettivamente attraverso le valvole venga fortemente accelerato, e non tutta la colonna di liquido compresa tra le valvole e gli accumulatori.

Poichè i regimi transitori che insorgono nelle nostre condizioni di lavoro sono scarsamente noti e poco frequenti nella ordinaria ingegneria idraulica, si è ricorso direttamente all'esperienza per determinare le dimensioni delle luci ed, in relazione a queste, il numero di valvole utile agli effetti del buon funzionamento della camera.

Le valvole di espansione sono otto, quattro per membrana, connesse in parallelo come è mostrato chiaramente in Fig. 1 e 2, ed ognuna di esse è capace di liberare una luce di 0.9 cm^2 .

La struttura ed il funzionamento delle valvole sono molto semplici trattandosi, in sostanza, di valvole a tre vie. La parte mobile di ogni elemento è costituita da un pistone che in posizione normale di riposo (fase di ricompressione) consente la connessione diretta tra un accumulatore di acqua sotto pressione e la zona retrostante la membrana ((9) di Fig. 1); in fase di espansione la posizione del pistone consente invece la connessione diretta tra la zona retrostante la membrana ed un recipiente di raccolta dell'acqua a pressione atmosferica. Le due posizioni estreme del pistone di ciascuna delle valvole (fase di ricompressione e fase di espansione) sono determinate da un sistema idraulico sussidiario costituito da tre valvole dello stesso tipo (sostanzialmente uguali alle otto impiegate per la espansione e la ricompressione) e da una valvola del tipo Barkdale $\phi 9/32''$; che è impiegata per le sue caratteristiche di rapidità e regolarità.

Lo schema idraulico generale è riportato in Fig. 3.

I recipienti accumulatori sono riempiti per $2/3$ di acqua ed $1/3$ di aria alla pressione di lavoro. In tal modo è possibile ripristinare rapidamente, dopo l'espansione, le condizioni di pressione iniziali.

III. - IL MAGNETE. -

La camera a bolle è alloggiata all'interno di un magnete le cui caratteristiche sono le seguenti

$$I_{\max} = 2000 \text{ A}; \quad W_{\max} = 1000 \text{ KW}; \quad B_{\max} = 15000 \text{ Gauss}$$

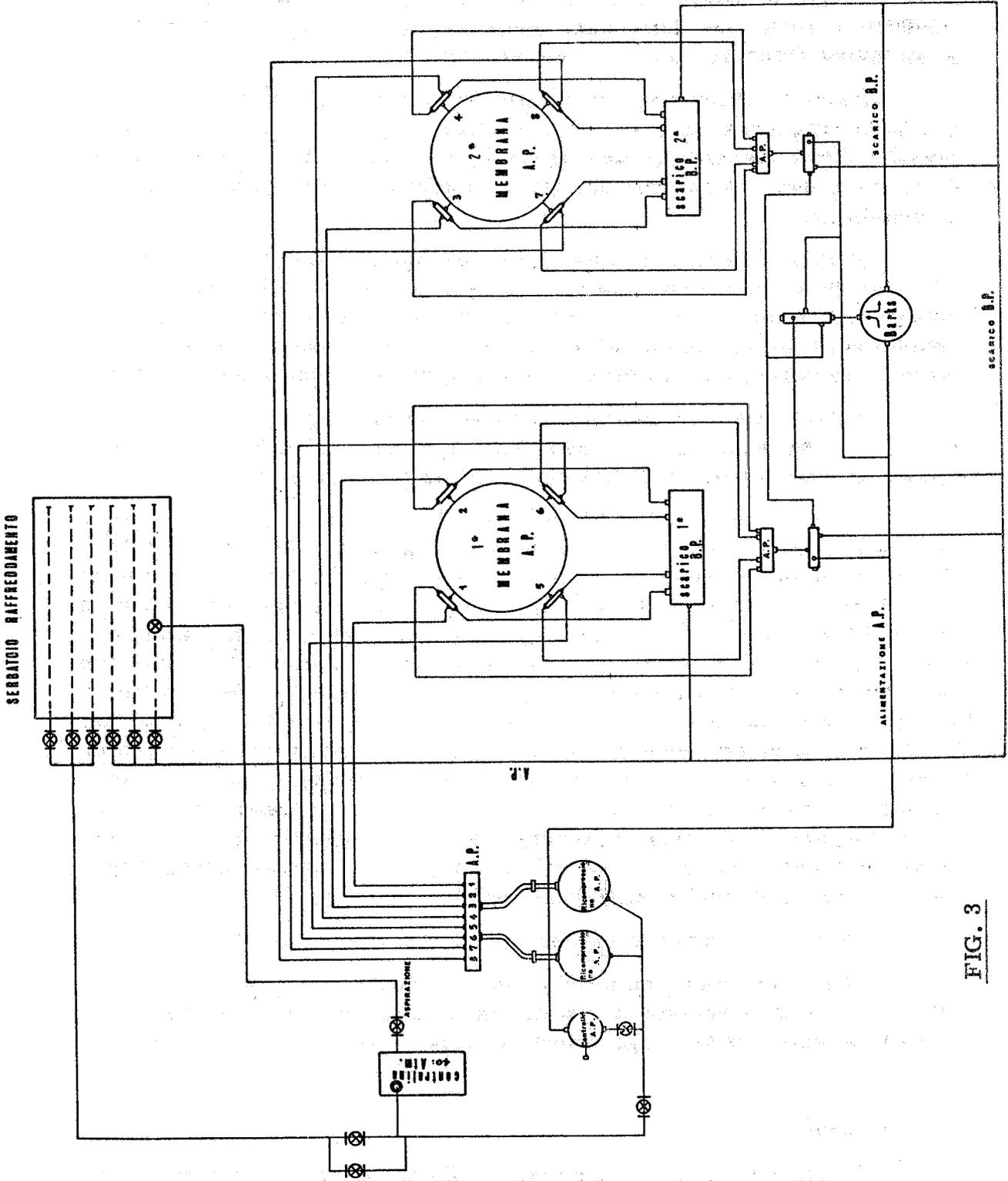


FIG. 3

Disuniformità di campo massima: radiale = 1%
: longitudinale = 2%

Il raffreddamento è effettuato con acqua demineralizzata in un unico circuito che comprende la pompa, il magnete e lo scambiatore di calore a torre.

L'alimentatore da 1 MW è costituito da un trasformatore con annesso raddrizzatore a ponte di Graetz.

IV. - L'OTTICA DI RIPRESA. -

L'ottica è di tipo convenzionale. La luce proveniente da un flash ad arco ($V_{\max} = 5 \text{ KV}$, $L_{\max} = 150 \text{ J}$) viene focalizzata da un condensatore ($f = 52 \text{ cm}$) in modo tale da non investire direttamente gli obiettivi delle macchine fotografiche.

I tre obiettivi sono disposti ai vertici di un triangolo equilatero con un lato orizzontale e gli assi ottici sono ortogonali ai vetri della camera a bolle. Sui vetri sono incisi otto "fiducial marks" (quattro per ogni vetro). Le macchine fotografiche consentono di impiegare caricatori da 120 m di film non perforato da 35 mm.

V. - ELETTRONICA DI COMANDO E CONTROLLO. -

a) - Elettronica di comando. -

In Fig. 4 è rappresentato lo schema a blocchi dell'elettronica di

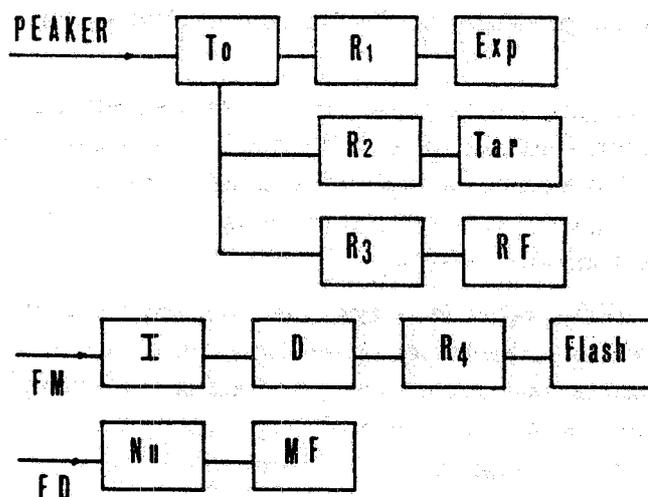


FIG. 4

comando della camera a bolle. Il circuito T_0 (tempo zero) seleziona a frequenza prefissata un segnale in sincronismo con l'iniezione dell'elettrosincrotrone. L'uscita, formata, di T_0 viene utilizzata per comandare tramite tre ritardi regolabili R_1 , R_2 ed R_3 , i circuiti:

1) Exp, che comanda la valvola Barksdale, facendo scaricare nella bobina di questa, mediante un diodo controllato un banco di condensatori avente una capacità totale di 560 F, ad una tensione massima di

600 Volt. La bobina originale della valvola Barksdale è stata sostituita con un'altra di minore induttanza in modo da avere una rapida risposta della valvola all'impulso di corrente inviato nella bobina. La durata dell'espansione può essere regolata variando il tempo tra l'innescò e il disinnesco del diodo controllato.

2) Tar, che inserisce una targhetta di tantalio sulla traiettoria del fascio di elettroni circolante nel sincrotrone in modo da inviare il fascio \mathcal{J} in direzione della camera a bolle;

3) RF, che opera sulla radiofrequenza del sincrotrone, in modo da ottenere uno "spill-out" dell'ordine di 100 μ sec. Questo consente di ottimizzare la qualità delle tracce nella camera a bolle.

L'accensione del flash è comandata dal segnale proveniente da un fotomoltiplicatore che vede uno scintillatore plastico posto sul fascio. Il segnale del fotomoltiplicatore (FM) viene integrato (I) e discriminato da un discriminatore a due soglie (D) in modo da ottimizzare l'intensità del fascio inviato nella camera a bolle.

L'uscita del discriminatore, tramite il ritardo regolabile R_4 , comanda la scarica del flash.

L'avanzamento delle macchine fotografiche (M.F.) e del numeratore dei fotogrammi (NU) è comandata da un fotodiodo (F.D.) che "vede" la luce del flash.

b) - Elettronica di controllo. -

Sono stati realizzati i seguenti dispositivi di controllo delle operazioni della camera a bolle:

1) Controllo dinamico della pressione. Esso è realizzato con un dispositivo piezoelettrico.

2) Controllo della temperatura della miscela. Viene effettuato rivelando le variazioni del β di un transistor il cui corpo è posto a contatto con il liquido contenuto nella camera a bolle mediante una placca di rame. La risposta è quasi lineare con la temperatura e viene letta su un milliamperometro opportunamente tarato.

3) Controllo della corsa delle valvole a tre vie che operano la espansione della camera a bolle. E' realizzato mediante un circuito che analizza gli impulsi indotti da un nucleo di ferro applicato ai corpi mobili delle valvole, su una bobina posta intorno ad essi ed opportunamente alimentata. Il circuito serve a segnalare l'eventuale malfunzionamento o bloccaggio di qualche valvola.

4) Controllo e regolazione della temperatura dell'acqua. E' realizzato con un sistema termostatico che mantiene la temperatura dell'acqua

entro valori prefissati. Dal momento che l'acqua tende ad aumentare la sua temperatura a causa del lavoro meccanico che viene su di essa compiuto, la termostazione è realizzata azionando in maniera opportuna quattro grossi ventilatori che raffreddano l'acqua nello scambiatore a torre inserito nel circuito idraulico.

5) Controllo delle pressioni e dei livelli. Sono controllati elettricamente mediante contatti sui manometri la pressione dell'acqua negli accumulatori e la pressione dell'azoto nei tubi compensatori ((6) e (7) di Fig. 1). E' inoltre controllato il livello nei serbatoi accumulatori. Segnali anomali provenienti da questi controlli possono provocare: arresto del ciclo d'espansione, decompressione rapida della camera, scarico rapido della camera.

VI. - CARATTERISTICHE DI FUNZIONAMENTO DELLA CAMERA. -

Il funzionamento della camera a bolle in oggetto è basato sul principio che sfrutta lo stato metastabile di una soluzione gas-liquido sovrassatura⁽²⁾. La soluzione da noi usata è costituita da Freon 13 B1 (CF_3Br) e Freon 13 (CF_3Cl) le cui pressioni di equilibrio alla temperatura di 20°C sono rispettivamente 15 Atm e 32 Atm.

Le condizioni di miglior funzionamento sono state ottenute mescolando le due sostanze in proporzioni tali da avere una soluzione la cui pressione di equilibrio a 20°C sia pari a circa $19 \div 20$ Atm.

Con questa soluzione è necessaria una pressione di ricomprensione di circa $30 \div 32$ Atm ed un rapporto di espansione $\Delta V/V \approx 0,02$.

La densità della soluzione sarà in seguito accuratamente misurata; una stima approssimata dà per essa il valore $\delta \approx 1,4 \text{ g/cm}^3$. La lunghezza di radiazione, misurata sperimentalmente in precedenza⁽³⁾, è $X_0 = 11 \text{ cm}$.

In Fig. 5 è riportata una tipica curva di espansione registrata sull'oscilloscopio. La zona di sensibilità è rappresentata dal fondo della curva che corrisponde al tempo in cui la camera è espansa.

Le condizioni migliori per le tracce si ottengono facendo passare il fascio quando la soluzione sensibile raggiunge il minimo di pressione e ritardando il flash di circa 10 msec rispetto al fascio.

Nella figura sono visibili i due impulsi sincroni rispettivamente al fascio e al flash.

La frequenza massima di ripetizione è $1 \text{ exp}/2 \text{ sec}$.

Le condizioni di funzionamento da noi trovate non sono molto cri

tiche riguardo alla temperatura della soluzione e alla pressione di ricompressione. Un parametro molto critico è invece risultato essere la durata dell'espansione e ciò è collegato al tempo di crescita delle bolle che nel caso delle soluzioni sovrasature è più lungo che non nei liquidi surriscaldati. In Fig. 6 sono riportati alcuni tipici fotogrammi.

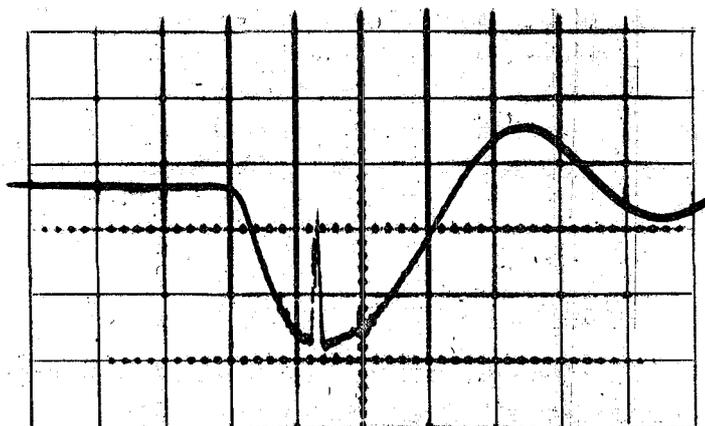


FIG. 5

VII. - IL BERSAGLIO INTERNO DI IDROGENO. -

Poichè il primo esperimento che sarà realizzato con questa camera concerne lo studio del processo di fotoproduzione doppia neutra su protone usando un fascio γ di bremsstrahlung, nel progettare la targhetta interna di idrogeno si doveva tener conto delle seguenti richieste:

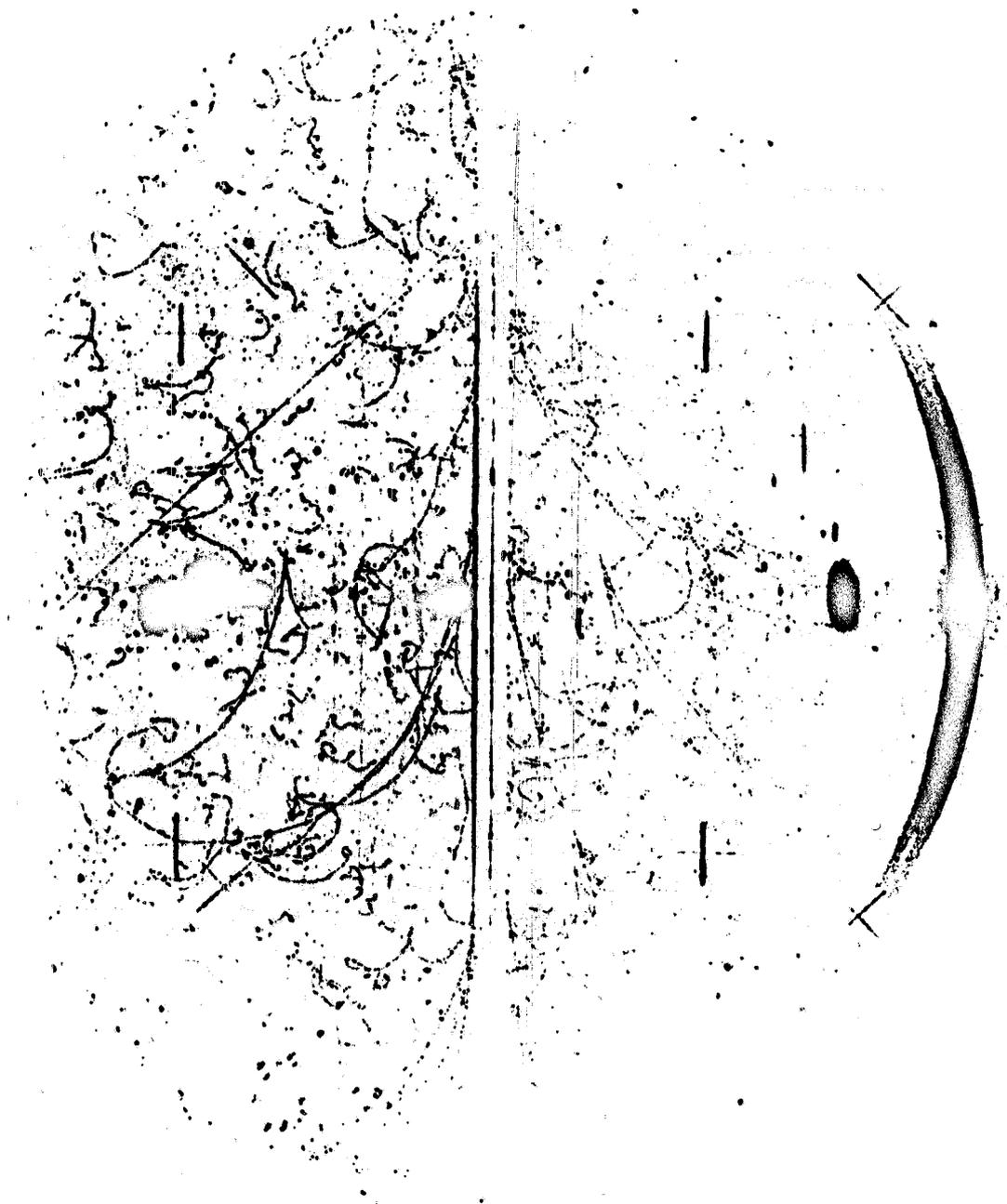
a) il fascio di fotoni deve attraversare la camera in un tubo a vuoto, per evitare di produrre uno sciame elettromagnetico nel freon. Poichè questo fatto determina una perdita di eventi in avanti, il tubo deve essere il più piccolo possibile.

b) Il piccolo rapporto fra la sezione d'urto per gli eventi studiati e quella elettromagnetica in idrogeno ($\approx 1/200$) suggerisce di adottare un bersaglio il più lungo possibile nella direzione del fascio. Infatti, così facendo, le coppie e^+e^- prodotte in idrogeno e deflesse dal campo magnetico sono distribuite su tutta la zona visibile della camera e danno una bassa densità di tracce di fondo.

c) La posizione della targhetta deve essere scelta in modo da ottimizzare l'efficienza di rivelazione dei prodotti della reazione.

In base a queste richieste è stata scelta una targhetta ad idrogeno

FIG. 6



gassoso, ad una pressione di circa 150 Atm, contenuta in un tubo avente un diametro di 12 mm. La targhetta si estende per 15 cm nella direzione del fascio ed il suo centro si trova a 5 cm dal centro della camera dalla parte dell'ingresso del fascio.

I dettagli tecnici del bersaglio e i risultati del calcolo Montecarlo, da cui è stata derivata la disposizione suddetta, sono esposti in ref. (1).

RINGRAZIAMENTI. -

Ci è gradito ringraziare i tecnici delle officine dell'Istituto di Fisica di Genova dei LNF e dei LGI ed i Sigg. G. Magnani, L. Magrini ed A. Marciano per l'indispensabile collaborazione.

I nostri ringraziamenti vanno anche al Sig. Messina che ha collaborato attivamente nella fase di collaudo meccanico della camera a bolle.

BIBLIOGRAFIA. -

- (1) - S. De Schryver, L. Fiore, E. Lodi Rizzini, G.C. Mantovani, I. Modena, A. Piazza, F. Scaramuzzi and G. Susinno, LNF 68/70 (1968).
- (2) - P.E. Argan and A. Gigli, Nuovo Cimento 3, 1171 (1956); 4, 953 (1956); P.E. Argan, A. Gigli, E. Picasso and G. Tomasini, Nuovo Cimento 10, 177 (1958); P.E. Argan, M. Conte, A. Gigli, E. Picasso and L. Gonella, Nuovo Cimento 10, 1 (1958).
- (3) - P.E. Argan, A. Piazza and G. Susinno, INFN/AE-65/1 (1965).