

Laboratori Nazionali di Frascati

LNF - 53/15
31.5.1953.

I.F. Quercia e G. Salvini: RELAZIONE SUL VIAGGIO IN INGHILTERRA ED IN FRANCIA COMPIUTO ALLO SCOPO DI RACCOLGIERE INFORMAZIONI SUI SINCROTRONI PER ELETTRONI E SU ALCUNI PROBLEMI CONNESSI, E SUGLI ACCELERATORI LINEARI.-

9/2

31/Maggio/1953

-79

-I-

RELAZIONE SUL VIAGGIO IN INGHILTERRA ED IN FRANCIA DI I.F. QUERCIA E G.SALVINI, COMPIUTO ALLO SCOPO DI RACCOLGIERE INFORMAZIONI SUI SINCRONTONI PER ELETTRONI IN COSTRUZIONE O FUNZIONANTI E SU ALCUNI PROBLEMI CONNESSI, E SUGLI ACCELERATORI LINEARI.

Il viaggio ha avuto inizio il 10 Maggio '53 partendo da Milano. Si è arrivati a Londra la sera dello stesso giorno e ci si è incontrati con il Dott. Goward dei laboratori di Harwell il giorno appresso in Harwell.

Il Dott. Goward ha organizzato e diretto il nostro viaggio durante il quale si sono visitati i centri di studio per noi interessanti. Rinunciamo ad una cronistoria del viaggio e dividiamo invece le cose viste secondo un ordinamento più razionale. Diamo semplicemente qui nel seguito le successive tappe delle nostre visite:

- 1°) Domenica 10 Maggio 1953, ore 23 - Londra
- 2°) Dalle ore 11 di lunedì alle ore 9 di martedì 12 Maggio visita ad Harwell e pernottamento ad Abington.
- 3°) Dalle ore 12 del 12 Maggio alle ore 19 del 12 Maggio visita alla Ditta Mullard Philips che costruisce acceleratori lineari da 4 MeV
- 4°) Dalle ore 19 del 12 Maggio alle ore 8 del 13 Maggio viaggio sino a Glasgow.
- 5°) Dal mattino del 13 Maggio a tutto il 14 Maggio visita all'Università di Glasgow ove si trova in approntamento il sincrotrone da 375 MeV e trasferimento a Manchester.
- 6°) Dal mattino del 15 Maggio alla sera visita alla Metropolitan Vickers di Manchester per discutere i loro acceleratori lineari e alcuni particolari riguardanti la costruzione del magnete del sincrotrone di Glasgow da essi eseguita.
- 7°) Il 16 Maggio visita al sincrotrone di Oxford da 140 MeV.
- 8°) Il 17 Maggio, domenica, trasferimento da Londra a Parigi.
- 9°) Il 18 Maggio visita al Prof. Grivet dell'Università di Parigi per informazioni circa lo studio della forma e la misura del valore del campo magnetico.

10°) Martedì 19 Maggio partecipazione alla riunione del CERN dedicata alla misura del campo magnetico per sincrotroni a focalizzazione forte. Nel pomeriggio partenza per Milano, in aereo, di G.Salvini. Piccolo incidente alla partenza. Arrivo a Milano alle ore 2 del 20 Maggio.

11°) Il 20 Maggio ritorno a Pisa di G.Salvini. I.F.Quercia è rimasto a Parigi presso il CERN il 20 e 21 Maggio. E' ritornato a Pisa il 22 Maggio.

INFORMAZIONI SULL'ACCELERATORE LINEARE DA 4 MeV COSTRUITO PRESSO LA DITTA MULLARD RESEARCH LABORATORIES, SALFORDS, REDHILL, SURREY.-

Presso la Ditta Mullard si è discusso con il Dr. M.G.Kelliher sulle caratteristiche dell'acceleratore lineare da 4 MeV sul quale essi stanno al presente compiendo misure per determinare essenzialmente la stabilità, la forma spazio temporale del fascio e lo spettro di energia.

I tecnici della Ditta ci manderanno disegni di massima sul loro acceleratore lineare. A nostra richiesta hanno fornito i dati seguenti:

L'acceleratore lineare è alimentato con magnetroni inglesi (analoghi a quelli dei radar) del tipo fondamentale 5M735, ma scelti su questi, dando a quelli scelti una denominazione VX4081. Il costo di uno di questi magnetron scelti è una minima parte del costo totale: 80 lire sterline. L'a.l. è del tipo a recupero di potenza, il che è particolarmente conveniente per a.l. corti (la lunghezza del tubo acceleratore è di circa un metro) e dà un miglioramento di circa un fattore 2,5 sulla potenza necessaria.

La potenza del magnetron in funzione è di circa 5 mega watt. Le perdite nel rame sono circa il doppio delle perdite dovute al lavoro per accelerare gli elettroni. La potenza media da fornire è di circa 1,2 Kw per le perdite del rame (0,6 Kw per le perdite assorbite dagli elettroni).

L'a.l. può dare al massimo 500 impulsi al sec.; ciascuno impulso è di circa 2 microsec. L'effettiva durata dell'impulso nell'a.l. da 4 MeV del quale stiamo parlando non è stata ancora misurata. I dati che ci sono stati forniti sono estrapolati dalle misure con l'a.l. da 15 MeV che è stato approntato dalla stessa Ditta su disegno di Harwell. La forma temporale dell'impulso non sarà secondo loro notevolmente diversa dalla forma di impulso di questo acceleratore lineare da 15 MeV, la quale è disegnata in fig.1.

Il tempo di salita dell'impulso nell'acc. da 4 MeV sarà probabilmente di 0,1 microsec.

Quanto alla possibilità di aggiustare la forma dell'impulso secondo le nostre esigenze, questo sarà particolarmente possibile se si separerà l'alimentazione ad alta tensione (50 mila Volt) della sorgente iniettrice dall'alimentazione del magnetron: attualmente questa alimentazione è comune. In generale si

osserva che è possibile ottenere un impulso più corto, ma non un impulso più lungo.

L'a.l. da 4 MeV sul quale erano in corso misure è stato da noi visto. In particolare può dirsi che, snellito delle apparecchiature a noi non necessarie, ed essenziali per l'uso ospitaliero al quale esso è destinato, esso non presenta particolari problemi di ingombro presso il nostro sincrotrone. L'uscita del fascio elettronico avviene attraverso una piastra alla quale non sarà probabilmente troppo complicato fissare la estremità del deflettore od altro raccordo preliminare.

La vita media di un magnetron nelle nostre condizioni di utilizzazione (circa 25 impulsi al sec.) sarà probabilmente di circa 1000 ore.

Non vi saranno durante questo periodo particolari difficoltà dovute all'invecchiamento del magnetron. Il cambiamento del magnetron richiederà circa 2 ore. La cattiva qualità del magnetron può produrre slittamenti di frequenza e scintillazioni.

L'ampiezza dello spettro energetico relativo, misurata all'altezza di una intensità metà della intensità al massimo, grandezza che indicheremo con $\frac{\Delta E}{E}$, è del 3% per l'a.l. da 10 MeV. Non ancora è stata misurata per i 4 MeV. Molto probabilmente essa risulterà leggermente maggiore: per esempio del 4%. Essi non credono che a 4 MeV si possa avere comunque qualcosa di meglio del 3%. Naturalmente è da tener presente che lo spettro energetico non ha forma gaussiana. La sua forma è all'incirca la stessa che è stata riportata (Nature, 171, pag 279 (1953)) dalla pubblicazione della Metropolitan Vickers.

La corrente massima è di circa 150 Milliampere, mediata sul tempo di 2 microsecondi; energia massima degli elettroni 4 MeV come si è detto.

Il diametro del fascio elettronico all'uscita è di circa 4 mm (e cioè entro 4 mm sta la metà della corrente). Questo senza altro aggiustamento che le bobine di focalizzazione proprie dell'a.l. Quanto all'apertura angolare, sembra che alla distanza dall'uscita di circa 50 cm il diametro suddetto viene cir

ca raddoppiato. Questo significa un angolo di circa $0,3^\circ$. Essi non sanno ancora come varia l'energia degli elettroni a varie distanze dall'asse di questo fascio.

Se si sceglie un a.l. di 2 MeV anzichè 4 MeV allora la corrente può probabilmente portarsi a circa 300 mA. Un tale a.l., nell'attuale programma di questa ditta, verrà a costare probabilmente più del 4 MeV.

Quanto alla prontezza d'uscita degli elettroni, si stima che intercorre un tempo di circa 0,8 microsec. tra il momento del comando e l'uscita degli elettroni. La fluttuazione incontrollabile di questo tempo sarà di circa 0,1 microsec., o poco meno. Non c'è però da sperare troppo su un controllo del fascio con una precisione maggiore di un decimo di microsec.

Il filamento che emette gli elettroni non ha presentato particolari difficoltà. E' una spirale di tungsteno di disegno standard.

In fig. 2 e 3 sono dati all'incirca le dimensioni del tubo acceleratore all'uscita e lo spettro energetico dell'impulso.

L'impianto di vuoto non ha presentato difficoltà e si appoggia su una pompa a diffusione del diametro di 5 cm. Il vuoto ottenuto è di 6×10^{-6} mmHg; il limite di funzionamento è di 10^{-5} mmHg.

Per misurare il vuoto usano vacuometri a ionizzazione. I vacuometri a cattedo freddo della marca Philips non sono secondo loro dei buoni misuratori, e piuttosto sono usati come relais in caso di inatteso crollo del vuoto.

Per l'alimentazione si usano ignitrons, e thyratrons ad idrogeno. Essi hanno una durata di almeno 1000 ore e ciascuno di essi costa intorno alle 20 sterline.

La potenza completa richiesta per tutto l'impianto è di circa 12-14 KW; corrente trifase 50 periodi. Questo per 500 impulsi secondo. Per 25 impulsi al secondo la potenza sarà un po' minore, per esempio 10-12 KW.

La tenuta del vuoto è assicurata con guarnizioni di neoprene. Le misure sul fascio elettronico sono state fatte sino ad ora misurando la potenza e l'energia per elettroni con un calorimetro ed un magnete deflettente.

Richiesti sulla energia degli elettroni in funzione del tempo durante gli impulsi, i tecnici ci han detto che nell'a.l. da 15 MeV la prima metà dell'im-

pulso aveva una energia più bassa che l'energia media della seconda metà di circa 0,25 MeV, cioè a dire l'1,7% minore. L'andamento è circa indicato in fig.4.-

Essi non sanno ancora se queste curve dell'intensità in funzione dell'energia e del tempo sono controllabili. Probabilmente non è da aspettarsi che una piccola latitudine. Può essere interessante osservare che un impulso la cui energia media cresce nel tempo (da 0 a 2 microsec.) soddisfa alle nostre esigenze per l'iniezione meglio che il suo contrario.

Quanto alla precisione della ripetizione osservano che qualche instabilità può provenire dalla non stabilizzazione della corrente di filamento. Ovviamente essi la potranno stabilizzare per noi.

Quanto al costo ed al tempo di consegna il Sig. Kelliker si è dichiarato non autorizzato a precise trattative, e ci ha invitati a scrivere una lettera al Reparto Commerciale, il quale sarà lieto ecc. Comunque egli si aspetta un costo non inferiore a 30 mila sterline, con massimi sino a 35 mila sterline. Quanto al tempo, egli ritiene che se l'ordiniamo presto potremo averlo nella prima metà del 1954. Ho avuto l'impressione che in questo vi fosse un soverchio ottimismo.

Siamo rimasti d'accordo che scriveremo una lettera chiedendo un preventivo dopo aver precisato le nostre esigenze per il controllo lontano dell'a.l., il controllo sull'impulso ecc.

La lettera andrà indirizzata al Reparto Commerciale:

A.R. Jeans
X-Ray Department
Century House
Shaftesbury Avenue
LONDON

INFORMAZIONI SULL'ACCELERATORE LINEARE COSTRUITO PRESSO LA METROPOLITAN VICKERS COMPANY LIMITED - MANCHESTER 17.

Le nostre richieste sono state soddisfatte nei riguardi tecnici dal Dr. Millar, il quale ha realizzato un a.l. per elettroni da 8 MeV, ormai funzionante presso un ospedale, ed ha ormai quasi terminato l'approntamento di un a.l. da 4 MeV. La macchina da 8 MeV era stata progettata inizialmente per 10 MeV. Errori di calcolo successivamente corretti ne hanno limitato il funzionamento a 8 MeV.

Una descrizione dell'8 MeV si trova in Nature, 171, 297, (1953). L'a.l. di questa compagnia è in uno stadio leggermente meno avanzato per quanto riguarda lo studio sul fascio dell'analogo precedentemente descritto. La trasformazione da un prototipo di laboratorio ad una macchina da usarsi anche da incompetenti è invece più progredita. Questa compagnia ha ordinazioni per parecchi esemplari e ci ha dato l'impressione di essere ormai vicina all'utilizzazione commerciale di questo prodotto.

Il Dr. Millar, tecnico, ed il Dr. Brown, direttore commerciale, ci hanno subito precisato che non possono fornirci un acceleratore lineare di energia di due o quattro MeV entro un periodo di tempo inferiore ai 2 anni e mezzo. Non hanno attualmente in costruzione a.l. di 8 MeV: un a.l. di 8 MeV dilata il tempo di consegna ed il costo.

La grandezza $\frac{\Delta E}{E}$ dianzi definita è dell'ordine del 3% ad 8 MeV. Nell'a.l. da 4 MeV sarà forse possibile ottenere qualcosa di meglio, secondo il Sig. Millar.

Il diametro del fascio di elettroni in uscita (8 MeV) è di circa 3 mm. Non si è osservata nessuna dilatazione del fascio a distanza di un metro, il che permette ad esempio di dire che il cono è minore di $0,1^\circ$. L'energia non dipende apprezzabilmente dalla distanza dall'asse del fascio.

Tutti i dati più o meno precisi da noi ottenuti si riferiscono all'8 MeV. Essi ci potranno fornire i dati sperimentali sul 4 MeV non appena le misure saranno compiute. Sperano nel giro di alcune settimane.

Richiesti sulla variazione del valore dell'energia media tra un impulso e

l'altro hanno detto che l'alta tensione di alimentazione è stabilizzata entro l'1% con piccole fluttuazioni continue. Essi sanno che ad una variazione di alta tensione del 10% corrisponde una variazione dell'energia massima degli elettroni del 4% circa. Si aspettano che nel 4 MeV ad una variazione del 10% nell'alta tensione corrisponderà una variazione di energia del 7-8%.

L'impulso nell'8 MeV ha una durata di circa 2 microsec. Vi è un ^{tempo totale} periodo di salita e discesa di circa 1 microsec., ed un plateau di circa ancora 1 microsec. Per i 4 MeV l'impulso avrà una durata di circa 1,2 microsec. Per il 2 MeV di circa 2 microsec.

L'Andamento per il 4 MeV sarà all'incirca come in fig.5. Il tremolio del plateau sarà all'incirca del $\pm 1\%$ intorno al valor medio. Questo indipendentemente dalla stabilizzazione dell'alta tensione.

Quanto alla sincronizzazione col comando esterno essi si aspettano un tempo di ritardo tra comando ed uscita di 0,5-1 microsec. ed un tempo di fluttuazione (jitter time) dell'ordine di 0,2 microsec. o poco più. Questa incertezza è dovuta agli ignitrons; potrebbe forse essere ridotta sostituendo gli ignitrons con tubi a idrogeno.

Queste condizioni di lavoro non dovrebbero variare con l'invecchiamento. In particolare essi pensano che i magnetrons per se stessi non presenteranno problemi. In media non si perderà più di un impulso su 100.

Le così dette bobine di focalizzazione adibite alla produzione di un campo parallelo al fascio per tenere gli elettroni in una elica cilindrica sono entro la stessa camera a vuoto, ed i loro terminali escono con guarnizioni di neoprene e simili. In questo modo si vantano di aver ottenute un insieme nitido e compatto.

La sorgente di elettroni consta di 4 filamenti che si possono utilizzare successivamente, in modo che se uno si guasta l'altro può immediatamente rimpiazzarlo con una $\frac{77}{2}$.

L'a.l. da 4 MeV è lungo circa un metro; quello da 2 MeV che potrebbero eventualmente fornirci nello stesso tempo ed a circa lo stesso costo ha una lunghezza di un metro. Quello da 8 MeV ha una lunghezza di 3 metri.

L'uscita del fascio è schizzata in fig. 6. Il fascio come si vede esce da un foro di 2,5 cm praticato in un piatto di acciaio. La piastra nella quale il foro è fatto è già preparata per l'inserzione di una targhetta o di qualunque oggetto anche pesante che vi si può imbullonare. Probabilmente questa forma di uscita e l'ingombro di tutto l'apparecchio non presentano particolari difficoltà per una utilizzazione del nostro tipo.

Il vuoto richiesto non è critico.: l'a.l. già lavora a 5×10^{-5} mmHg. L'8 MeV normalmente lavora a 5×10^{-6} .

Il vuoto è misurato con vacuometri a ionizzazione e con vacuometri Penning-Philips a catodo freddo. Questo vacuometro sarà lo standard nel 4 MeV.

Il magnetron usato è il VX406I come quello della Mullard.

L'8 MeV richiede una potenza massima di 27 Kw a 500 impulsi al sec.; un po' meno a 20 impulsi al sec. Il raffreddamento richiede 25 litri di acqua al minuto.

Si può avere facilmente il controllo lontano, per il quale la macchina è già studiata.

Quanto alla forma dell'impulso da usarsi per comandare l'a.l. essi non sanno ancora precisare. E' certo possibile preparare il circuito adatto.

Mentre il 4 MeV riprende l'energia elettromagnetica all'uscita (positive feedback) quello da 8 MeV la disperde in acqua e vetro all'uscita (loaded guide wave).

Il Dr. Millar ci ha quindi chiesto di precisargli le nostre esigenze. Si è risposto che in seguito a questa nostra visita in Inghilterra avremo forse da modificare alcuni punti di vista e che gli scriveremo in proposito. Provvisoriamente gli abbiamo detto che a noi occorre una precisione nell'energia maggiore del 2%, una corrente maggiore di 50 mA. Meglio se l'energia cresce col tempo durante l'impulso di circa l'1 o il 2%.

Considerando il luogo ove il nostro ^{a.l.} ~~sincrotro~~ sarà posto può interessare osservare che le condizioni di funzionamento dell'a.l. possono essere alterate da un campo trasverso al fascio di 10 o 20 gauss in vicinanza della sorgente di elettroni, e da un campo maggiore di 50 gauss all'estremità vicina al sincrotro-ne. La camera acceleratrice è attualmente in acciaio. Potrebbe anche essere in acciaio inossidabile.

Ricordiamo che la Metropolitan Vickers già aveva preso contatti con il Prof. Amaldi in una visita ai primi di maggio.

I dati più particolareggiati che noi riportiamo si accordano con quelli raccolti dal Prof. Amaldi in quell'occasione. Solo la grandezza $\frac{DE}{E}$ a noi fornita vale 3% anziché 2% come fu detto al Prof. Amaldi dal Dr. Miller.

DISCUSSIONE SULLE ALCUNE QUESTIONI CON IL DOTTOR GOWARD.--

Il Dr. Goward ci ha fornito informazioni sulle condizioni di funzionamento del sincrotrone per protoni di Brookhaven. Questo sincrotrone ci interessa particolarmente poichè il Prof. Wilson dell'Università di Cornell ha progettato sulla base di risultati ottenuti a Brookhaven un elettrosincrotrone da circa 1 BeV. Come è noto noi siamo in stretto contatto con il Prof. Wilson e se il suo sincrotrone funzionerà noi cercheremo di seguirlo quanto è possibile.

I dati più recenti di Goward dicono che a Brookhaven circa l'1-2% dei protoni iniettati arrivano a fine energia. L'intensità del fascio ottenuta sino ad ora è di $4-5 \times 10^9$ protoni al sec.

La massima parte delle perdite avvengono prima dell'accensione della radiofrequenza o proprio all'accensione. La perdita dopo che la radiofrequenza è entrata in funzione e ha catturato i protoni è solo del 50%.

Appena il sincrotrone cominciò a funzionare si provò a stimare quale era l'ampiezza della ciambella-vuoto effettivamente usata dai protoni durante tutto il processo di accelerazione, ponendo opportuni schermi che limitassero le effettive dimensioni del a donut. I risultati sulle prime prove compiute or più di un anno ^{fa} non sono in accordo con le misure analoghe fatte a metà del 1952.

Indichiamo con 10^9 il numero dei protoni che arrivano a termine quando la apertura verticale è quella massima di 6". Le successive intensità al variare della dimensione verticale sono date nelle serie seguenti, nella seconda riga i dati più recenti e nella terza i dati precedenti.

Amp. vert.	6"	4"	3"	2,5"	2"
Ultimi	100	50	20	10	
Precedenti	100	100	33	10	21

Non sappiamo se il Prof. Wilson si è servito nel suo progetto dei dati meno recenti.

Vi sono molte cose strane col proto-sincrotrone di Brookhaven, che è arduo spiegare teoricamente. Ad esempio l'orbita dei protoni ha un raggio di curvatura all'inizio che dipende dall'azimut in modo piuttosto inatteso (fig. 7 molto

approssimativa).

Il valore dell'esponente di campo magnetico n non è costante e varia si l'incirca da 0,8 a 0,5 passando tra $r=350''$ ad $r=370''$. Il valore di n dipende dalla rapidità con la quale il campo magnetico è variato.

Considerazioni sulla cavità risonante. - Secondo Goward è meglio una accensione relativamente lenta della cavità risonante (per esempio una decina di periodi di rivoluzione). Cita il lavoro di Kaiser (Proceedings Physical Society B-195 pag. 502) che riguarda però l'accensione della R.F. per sincrotroni con fase di betatrone. È opinione di Goward che non sia conveniente accendere la R.F. in modo istantaneo anche per iniezione veloce. Questo non sembra in accordo con quanto noi sapevamo (e cioè che conviene nel nostro caso una accensione istantanea) ed è un punto che resta aperto alla discussione con il gruppo del risuonatore.

Relativamente al sincrotrone da 30 MeV di Glasgow si discute circa la criticità del valore dell'ampiezza della R.F. applicata alla gap. Si tratta in questo caso di un impulso di R.F. di ampiezza $V(t)$ costante. Goward riferisce che a partire da un valore di $V(t)$ circa doppio del valore minimo calcolato per controbilanciare l'incremento $\frac{dE}{dt}$, si ha una intensità in uscita pressochè costante, secondo un diagramma approssimativo come in fig. 8. Sempre secondo l'esperienza fatta con questo sincrotrone, sembra che convenga attaccare lentamente la R.F.; nel caso venivano impiegati circa 4 microsecondi per raggiungere l'ampiezza asintotica della R.F. Non è ben chiaro se il vantaggio di attaccare lentamente la R.F. sia collegato o no all'accelerazione a betatrone degli elettroni, e quindi va riesaminata la questione della rapidità con la quale deve essere raggiunta l'ampiezza asintotica della R.F. alla gap, nel caso di iniezione ad alta energia.

D'altra parte si richiama che una cavità risonante ad alto Q richiede almeno Q periodi per arrivare a regime, e quindi un tempo che può essere superiore a quello consentito dalla velocità di spiralizzazione verso la parete della ciambella.

La nostra cavità risonante dovrà quindi essere a regime in un tempo di $n-2n$ periodi, se n è il numero di giri di spiralizzazione consentito prima che gli elettroni iniettati dall'iniettore urtino contro la parete interna.

Non è escluso, almeno a quanto ci risulta, che si possa accendere la cavità risonante prima di cominciare l'iniezione, ed anche questa possibilità deve

essere discussa.

Bisognerà anche discutere il modo di eccitazione e di accensione della cavità risonante, la quale è qui probabilmente quella modulata in frequenza. Tutti questi argomenti sono da sottoporre al Prof. Carrara.

Per quanto riguarda l'armonica della frequenza fondamentale di rotazione sulla quale si stabilisce la R.F., Goward richiama un articolo di Brobeck (R.S.I. 1948, pag. 546) dal quale appare che le dimensioni delle oscillazioni di sincrotrone si riducono al crescere dell'ordine dell'armonica stessa.

Sembra che la zona in cui oscilla il fascetto nello spazio delle fasi si riduca di diametro come $\frac{1}{K^2}$ dove K è l'ordine dell'armonica. Vedi fig.9.-

Diffusione degli elettroni nel gas residuo.- Sino ad ora noi abbiamo soltanto fatto una prima stima del vuoto necessario nelle nostre condizioni di lavoro in base all'articolo di Blackman and Courant (Phys. Rev. 74, pag.140, 1948).

Goward e Carruthers ci hanno fatto presente che i risultati di questi autori sono in parte inesatti per loro stessa ammissione (nota in ciclostile ricevuta da Goward). Le effettive esigenze di vuoto sembrano essere un poco più severe. Risultati più attendibili sono invece quelli pubblicati più recentemente da Greenberg e Berlin (R.S.I. vol.22 - 1951; pag.301).

IL SINCROTRONE DI GLASGOW

Caratteristiche Generali.-

E' prevista una energia massima di 375 MeV, ma non subito, data la scarsa disponibilita di condensatori. Questa energia corrisponde ad una induzione massima di 10^4 gauss. Contano di avere 5 fiotti al secondo, con un circuito LC risonante su una frequenza di circa 42 Hz, controllato ed interrotto da ignitrons. Il raggio dell'orbita stabile e di 125 cm.

Il valore dell'esponente n e $n=0,7$

Il peso totale del ferro, comprensivo di magneti ed accessori e circa 120 Tonn.

Il peso totale del rame e circa 3 Tonn.

Il magnete e montato su una base anulare in acciaio che poggia su un sistema di balestre per disaccoppiare le vibrazioni del magnete da quelle dell'edificio.

Il magnete e di tipo circolare senza tratti rettilinei con ciambella interna: due "C" sono prolungati per l'estrazione dei gamma.

Eccitazione.-

Un alimentatore alimenta un rettificatore che puo fornire 25.000 V e 4,5 A per compensare le perdite nel rame e nel ferro e nei condensatori nel circuito riportato in fig.10. In essa appare come il magnete sia eccitato dalla corrente di scarica dei condensatori. Questa corrente e controllata da due ignitrons opposti sicche l'onda di tensione e quella di corrente sono indicate in fig. 10a e 10b.

Gli ignitrons sono stati costruiti in Inghilterra su modelli americani in quanto che l'Inghilterra non disponeva di ignitrons di grande potenza. Per realizzare questi ignitrons inglesi e occorso circa un anno.

La tensione massima ai capi del magnete e di 17 KV e la corrente massima e 3300 A per una energia massima degli elettroni di 300 MeV: e questa l'energia alla quale essi contano di lavorare nell'immediato futuro.

Le perdite sono percentualmente minori delle nostre data l'eccitazione di-

scontinua. Il lamierino usato è da 0,75 W/lb a Il Kgoms e 50 Hz. Inoltre si prevedono 4-5 Kw nel raso (come perdita media a 300 MeV). Le perdite nei condensatori sono circa 3-4 Kw; quelle negli ignitrons (raffreddati ad acqua) sono circa 7-8 Kw.

I maggiori fastidi al funzionamento del circuito di eccitazione dei magneti sono provenuti dai condensatori, in quanto le condizioni richieste non erano state soddisfatte dalla ditta fornitrice.

L'esperienza di Glasgow suggerisce che c'è rischio di pagare molto cari i tentativi di risparmiare sul costo dei condensatori. Inoltre ci è stato consigliato dal Dr. McFarlane di Glasgow di usare condensatori distribuiti in piccole unità.

La capacità totale è di 750 microfarad realizzata con due banchi in serie da 1500 microfarad ciascuno.

Per ovviare alle sovratensioni si usano spinterometri a sfere affacciate. Per i loro condensatori essi hanno richiesto una tensione di cresta di 30 KV. I condensatori sono alloggiati in una grande stanza e la loro temperatura se non vi è controllo aumenta circa di 1°C/h. Ritengono che i condensatori rifasatori calcolati per un funzionamento continuo in corrente alternata, senza cercare di risparmiare sul costo sfruttando l'eventuale intermittenza dell'eccitazione, soddisferanno certamente alle nostre esigenze.

M A G N E T E

Bobine: Due avvolgimenti interni al "C" (nessun avvolgimenti esterno). Ciascun avvolgimento consta di 20 spire di trefolo di rame. Ogni trefolo è costituito di fili di rame smaltato di circa 1 mm². L'isolante impiegato tra spira e spira è ARMOVRED INSULATION che garantisce 10 KV. Il raffreddamento è ad aria. Gli avvolgimenti sono fissati al magnete con bulloni. Uno schizzo di massima della struttura del magnete è dato in fig. 11.

I blocchi che si vedono in fig. ^{II} sono semplicemente connessi con l'intermediario di un sottile strato isolante di circa 1 mm. Il lamierino usato è di 0,014" per il magnete; di 0,007" per le barre di flusso.

Importante è notare che la ditta costruttrice (Metropolitan Vickers) si è molto preoccupata di legare i lamierini di ciascun blocco con un legante molto solido, sicchè ciascun blocco è bullonato, ma è già solido per merito del legante. Su questo legante vi è una sorta di segreto (pare che si tratti di una opportuna miscela di sostanza termoplastiche e termoindurenti).

Il magnete consta di 20 "C" dei quali due a gamba prolungata per permettere l'estrazione dei gamma. Lo schizzo di massima è dato in fig. 12. I lamierini di ogni "C" hanno diversa larghezza per permettere una minima distanza (circa $\frac{1}{2}$ ") tra poli e poli in corrispondenza della donut. Naturalmente una struttura di questo tipo è più complessa se si vuole la ciambella esterna.

Le dimensioni della "gap": 4" (altezza) x 8" (larghezza) tra i poli; 2" $\frac{3}{4}$ x 5" è la dimensione interna della ciambella.

La ciambella è di frequentite. La ciambella è costituita di 20 settori di arco tra loro congiunti di testa per contatto contro una guarnizione di politetrafluorietilene (teflon) ed ogni contatto è coperto con un manicotto di neoprene.

Poco può dirsi sulle misure finali del campo magnetico poichè non ancora si sono disposti i correcting coils, tranne per alcuni avvolgimenti sussidiari sulle gambe di alcuni "C".

La metallizzazione della donut è continua con resistività ^{superficiale} di circa 15 ~~ohm~~ ^{ohm/cm} eseguita in platino. Ciascuna sezione della donut è messa elettricamente a terra attraverso 1000 Ω . Si misura la corrente trasportata da ciascuna sezione.

Non ci sono stati forniti disegni precisi, e questo evidentemente non per caso. Sono state date alcune fotografie che si allegano alla relazione che resta in sede. In particolare è da ricordare la struttura del magnete per blocchi nel modo già descritto. Le forze che tendono ad avvicinare il "C" sono contrastate da blocchi di permaly wood (materiale a base di legno impregnato in modo particolare, con un carico di rottura a trazione di circa 2000 Kg/cm^2). Opportuni perni fissati in modo regolabile ai blocchi di permaly wood tengono in sito la ciambella.

Il permaly viene fatto a Gloucester (England) dalla ditta PERMALI.

Tutta la solidità della struttura è affidata ad una base unica in acciaio e ad anelli continui di acciaio di sezione a C superiori, sicchè il magnete risulta un tutto solido che può persino riposare su molle a balestra. (Vedi fotografie)

Non sembra che l'abbondante uso di acciaio per l'incastellatura disturbi il funzionamento del magnete, nè crei problemi di temperatura.

Coefficiente di costipamento del 90% nel magnete (fra i lamierini)

Controllo. - Il controllo della macchina è eseguito da un desco unico ripetuto nella sala della macchina ed in una sala remota. I cavi di comando e controllo passano in cunicoli sotto il pavimento, accessibili dall'alto.

Studio del campo magnetico. Per la definizione del campo magnetico si è cominciato con la vasca elettrolitica. Quindi modelli in Fe. Modelli del magnete in scala $1/4$ in Fe massiccio ed eccitati in c.c. hanno dato risultati prossimi al vero per quanto riguarda il rapporto tra il flusso utile ed il flusso disperso. A queste sono seguite misure con tre "C" in lamierino a grandezza naturale, in c.a. e c.c..

Per la tecnica delle misure di campo vedi: E.A.FINLAY - "Journal of Scientific Instruments" 27, n.10 Oct (1950) p.270 Field measurements on betatron and Synchrotron Magnet. - W.BOSLEY - "Inst. of Electrical Engineers" 95, part.1 (1948) 20 MeV Betatron field measurements. (Si trovano in sede)

Le misure di campo zero sono state fatte con il fascetto elettronico tipo Kerst. I tubi a raggi catodici usati e costruiti dalla Metro Vick hanno approssimativamente le seguenti caratteristiche: Diametro circa 3.5 cm - lunghezza circa 13 cm - distanza tra le tre fenditure circa 1/2 pollice - tensione applicata tra catodo ed anodi 300 V - tensione negativa applicata alla gabbia di Faraday -12V rispetto all'anodo - Elettrodi di molibdeno - Degasaggio a getter - Metallizzazione interna in platino come quella della donut.

Per misure fino a 100 Gauss sono state usate anche peacking-strips; pare però con risultati poco soddisfacenti. Le Peacking-strips usate erano ricavate direttamente da strisce di permalloy tagliandole senza ricocerle. Pare che si possano avere migliori risultati usando una lega molibdeno-permalloy. Il principale inconveniente è che perturbano localmente il campo di misura.

La persona che si occupa di queste misure alla Metro Vicks è il Dr. Phyllips che ci invierà un estratto di un suo prossimo lavoro su questi argomenti.

Profilo dei poli. Non ci sono stati dati disegni completi, comunque sappiamo che il polo è del tipo rastremato ed è presso a poco del tipo di figura 13.-

Sistema di vuoto.- Pompa rotativa Kinney unica disposta nel basamento della macchina e collegata con tubi da circa 3 pollici con l'impianto di vuoto.

4 Pompe a diffusione da circa 5 pollici montate al centro del magnete in una gabbia che può essere sollevata insieme alla donut ed ai servizi relativi (vedi fotografie)

Rubinetto azionato ad aria compressa fornita da un piccolo compressore tipo verniciera.

Ricerca delle perdite nel sistema di vuoto mediante manometro Pirani differenziale. Questo è costituito da 2 manometri Pirani collegati con l'impianto di vuoto. Uno di essi è preceduto da una trappola contenente Ca(OH)_2 : quando della CO_2 viene spruzzata su un foro accidentalmente presente nell'impianto, essa dà luogo ad una indicazione nel manometro Pirani direttamente collegato, ma ad una indicazione minore nel Pirani preceduto dalla trappola nella quale la CO_2 viene arrestata. Durante la ricerca dei buchi, si pompa attraverso uno stretto tubo con una pompa da 0,2 pollici. (Vedi Fig. 14).-

Un manometro a ionizzazione a filamento viene usato per le misure del vuoto. Per gli automatismi vengono usati dei Piranà.

Le giunture tra le varie sezioni della donut sono fatte tra superfici piane guarnite di Teflon (Politetrafluoretilene), e sono tenute a posto da manicotti di neoprene. Ci verrà inviato uno schema dell'impianto di vuoto e relativi controlli.

Radio frequenza acceleratrice. - La cavità risonante è costituita da una sezione della ciambella, in modo analogo a quanto già sappiamo per il sincrotrone di Cornell e del M I T da 330 MeV. Questa cavità è in materiale a basse perdite dielettriche del quale non ricordiamo il nome e si è dimostrata stabile e quindi aggiustabile una volta per tutte ed ha un valore Q uguale a 500 prossimo a quello teorico. Si preferisce non rigare la superficie metallizzata della cavità per evitare le scintillazioni ai bordi delle righe.

IL SINCROTRONE DELL'UNIVERSITA' DI OXFORD DA 140 MeV

Caratteristiche generali.- Questo sincrotrone è previsto per 140 MeV e sino ad ora ha già funzionato a 120 MeV. Il magnete è stato costruito dalla English Electrical Co. (Stranfords).

La struttura è circolare, senza sezioni diritte. La ciambella è interna; vi sono 8 "C". Lamierino di ferro da .013" per i "C" e da 0,005" per le barre di flusso. Il lamierino dei poli è del tipo orientato, accorgimento non strettamente necessario secondo i fisici costruttori.

La struttura è sostenuta da una sola base di acciaio e da una piastra di acciaio ad anello superiore.

Il "C" è essenzialmente costituito da due parti come si vede in fig.15 sicchè la parte superiore può essere sollevata a mezzo di una gru quando si debba intervenire sulla ciambella o porla in loco.

Il funzionamento è a 50 Hz con circuito oscillante LC. Valore medio di $n=0,7$. La capacità totale 175 microfarad con 700 piccoli condensatori da 1 microfarad che non hanno fino ad ora dato fastidi.

Iniezione a 40 KV con accelerazione di betatrone.

Magnete.- I poli sono continui con lamierini a struttura radiale, sicchè le variazioni azimutali del campo sono molto limitate.

Il profilo del polo è dato approssimativamente in fig.16. Gli ampi scali laterali sostengono le barre di flusso e l'isolante di sostegno. L'andamento di $n=n(r)$ (raggio dell'orbita stabile 47 cm) è dato in fig. 17. Come si vede n non è affatto costante e può solo considerarsi costante il suo valor medio in funzione dell'azimut.

Questa latitudine nelle oscillazioni di n è da tenersi presente nel nostro progetto, anche per evitare inutili esigenze. La questione sulle esigenze di n in vista delle possibili risonanze e delle sezioni diritte dovrà essere ancora studiata dai nostri teorici.

Eccitazione.- Lo schema di eccitazione è dato in fig.18. La frequenza è stabilizzata a 50 Hz. controllando la corrente continua di entrata del motore.

La stabilizzazione di frequenza deve essere molto accurata: una variazione di frequenza del 2 ‰, causa una variazione dell'1% della corrente di eccitazione del magnete.

Funzionamento.- Il momento dell'iniezione è controllato con una peaking-strip. Successivi momenti del campo magnetico sono controllati da peaking transformers. La precisione nel tempo è migliore di 0,1 microsec. Essi iniettano con un fiotto di elettroni da 40 KV (15 Gauss). Attualmente stanno passando a 80 KV con durata di 4 microsec., ma soltanto 1/2 microsec. è realmente utilizzato.

Data la presenza delle barre di flusso la salita del campo magnetico è piuttosto lenta: 1,2 gauss/microsec.

La cavità risonante è analoga a quella di Glasgow. Attualmente hanno fastidi per l'accumularsi di cariche nella Gap della cavità. L'intensità massima ottenuta è di 20R/min a 1 m di distanza. Tutto l'insieme è piazzato sotto terra, nello stesso palazzo dell'Istituto di Fisica.

Bobine di correzione.- Si riconferma che il campo all'iniezione è fortemente alterato dalle rimanenze e dalle correnti parassite e quindi il ruolo delle bobine di correzione è essenziale. Le bobine di correzione usate sono sostanzialmente di tre tipi.

1) avvolgimenti sulle gambe di ciascun "C". Questo permette di uguagliare il valor medio del campo magnetico in ciascun "C", ed in particolare di "muovere" il centro dell'orbita stabile e di variarne l'eccentricità con deformazioni ellittiche. Per esempio una deformazione di 1a armonica è data aumentando il campo in una coppia di magneti, diminuendolo della stessa quantità nelle coppie di magneti opposti, e lasciandolo invariato nei rimanenti quattro magneti. Con analoghi avvolgimenti opportunamente alimentati si ottengono deformazioni di 2a armonica.

Queste correzioni richiedono circa 10 Aspire e correggono sino ad 1-2 gauss.

Queste bobine sono alimentate a corrente continua, sicchè poco oltre l'iniezione il loro contributo è pressochè nullo.

2) Correzioni per le variazioni radiali di fase. Sono essenzialmente cinque spire per polo che corrono parallelamente al piano medio della ciambella e concentriche con essa.

Esse sono spaziate su tutta la larghezza della ciambella. Queste spire sono alimentate in corrente alternata da un secondario che è accoppiato alle barre di flusso. Esse pertanto sono percorse da una corrente circa costante fino alla saturazione delle barre di flusso; dopo sono inattive. Tra spira e spira si può variare l'intensità di corrente e la fase. Le fasi e le intensità debbono essere ritoccate durante il funzionamento della macchina.

3) Mediante avvolgimenti sotto ciascun polo sono fatte delle correzioni azimuthali del campo per correggere le irregolarità. Tali avvolgimenti sono alimentati in corrente continua, variabile in passi di 0.5 A.

VISITA ALL'ISTITUTO DI ELETTRONICA DELL'UNIVERSITA' DI PARIGI

Parigi - Ecole Normale Supérieure - Prof. P.Grivet - Dr. Regenstreif.-

Hanno iniziato le misure del campo in una sezione modello di magnete a ferro pieno per lo "strong focusing" con $n=3^{\circ}400$. Il modello è alimentato in corrente continua e raffreddato con circolazione forzata di aria.

Per le misure del campo usano per ora bobinette rotanti, e cominciano a considerare l'impiego di cristalli di Germanio per la misura dell'effetto Hall (vedi più avanti).

La determinazione della forma dei poli è stata fatta mediante l'impiego della vasca elettrolitica. Per la determinazione del flusso prodotto dagli avvolgimenti il Prof. Grivet sconsiglia l'uso della vasca, e pensa che si possa eseguire direttamente il calcolo a partire dalla geometria dei conduttori; questa opinione non è condivisa dal Dr. Simonds di Birmingham ed in genere da nessuno degli altri partecipanti alla riunione del CERN dei giorni successivi. È un punto da considerare attentamente (vedi appresso).

Per conto della Compagnie Générale de telegraphie sans fils (23 Rue du Maroc - Paris XIX) è stato costruito presso l'Istituto un acceleratore lineare che attualmente la Compagnia ha in produzione commerciale e che presenta le seguenti caratteristiche fornite dal Direttore commerciale della Compagnia, Mr. Reul Jacquin:

Lunghezza del tubo cm 35
 Magnetron di costruzione francese CSF MC 1011
 Durata impulsi 2 microsec.
 Frequenza di ripetizione 300 c/s
 Energia del fascetto 0,7 MeV
 Consumo 2-3 KW. Acqua 1 lit/minuto.

Maggiori informazioni ci potranno venire fornite a nostra richiesta formale alla Compagnia.-

Attualmente per conto della stessa Compagnia c'è in costruzione ed in stadio avanzato di prova un acceleratore lineare che fornisce 3,5 MeV di energia con una intensità di circa 50 nA per impulso, lunghezza del tubo circa 2,5 m, sistema senza recupero di energia all'uscita.

19-20 Maggio 1953 - Ecole Normale Supérieure - Riunione del CERN.-
Mr. Dhal; Dr. Goward; Dr. Simmonds; Dr. Grivet; Dr. Reghenstreif.

Sui metodi di misura del campo magnetico il Dr. Simmonds, che ha eseguito le mis^ure per il magnete del sincrotrone di Birmingham, mi ha fornito le seguenti indicazioni: Flussometro tipo Grassot della ditta Cambridge: 15.000 Maxwell spira/divisione (1 divisione circa 1 mm); fondo scala 120 div. ; con l'uso di specchio e cammino luminoso di due metri si può raggiungere la sensibilità di circa 40 Max sp/cm.

Ci invierà informazioni più precise su questo apparecchio. Misura di effetto Hall in cristalli di Germanio: chiedere alla ditta specializzata:

British Thomson Houston Co. Ltd. - Rugby (England)
Research Department. - Attention of Mr. J. Kinman facendo il nome del Dr. Simmonds.

Sull'effetto Hall nel Germanio si hanno i seguenti particolari:

La ddp che si manifesta tra due facce del cristallo è legata alla corrente i ed al campo magnetico H dalla relazione:

$$V = R_H \frac{i}{d} \cdot H$$

dove d è lo spessore del cristallo nella direzione del campo H .

La costante R_H è data dalla relazione:

$$R_H \sim \frac{1}{n e c}$$

dove n sono le cariche libere, costituite dai centri di impurezza ionizzati; e la carica dell'elettrone. Perché n si mantenga costante in un ampio regime di temperature occorre che i centri di impurezza siano relativamente pochi in modo da poter essere tutti ionizzati. Con 10^{14} centri di impurezza (antimonio)/cm³ si può arrivare con la zona indipendente dalla temperatura sino a 60°C. Rimane aperto il problema di calcolare l'effetto dovuto al gradiente del campo H sulla superficie del cristallo nella direzione di i .

Il Dr. Dhal fornisce alcuni dati da lui raccolti circa il costo di costruzione di alcune macchine elettriche nei vari paesi, espressi in franchi svizzeri per Kg di peso:

In Norvegia: Trasformatore da 60.000 KVA 12,5 - Betatrone 17,0
U.S.A.: Macchina di Brookhaven 2,7(?)
Inghilterra: Macchina di Birmingham 10-15,0 - Sincro-ciclotrone 1,7
Svizzera: Macchina della Brown-Boveri 5,9

- 26 -

In relazione ad una discussione sul modello di sezione di magnete a strong focusing in laminati, per misure in C.A., ed in specie per quanto riguarda l'influenza dell'avvolgimento di ritorno sul valore del flusso disperso, il Dr. Simonds riferisce i seguenti dati sulla macchina di Birmingham:

Protosincrotrone. Energia raggiunta 950 MeV.

810 ton di Fe, 60 ton di Cu.

$R_p = 450$ cm; $n = 0,68$; $B_{max} = 12.500$ Gauss

$I_{max} = 12.500$ A; $V_{max} = 1.100$ V; $dB/dt = 15.000$ Gauss sec.

Lo schizzo di fig. 19 dà un'idea del valore del flusso in vari punti del magnete.

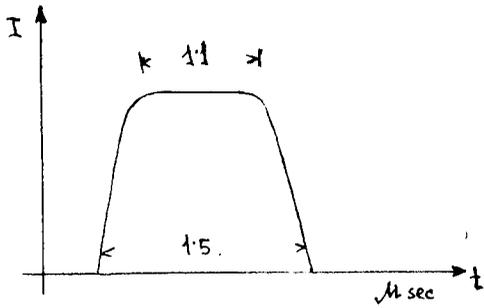


FIG. 1

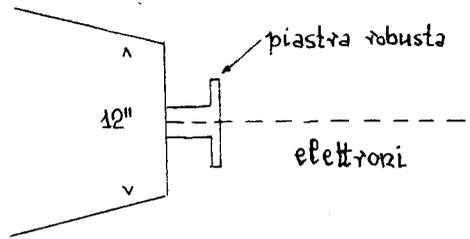


FIG. 2

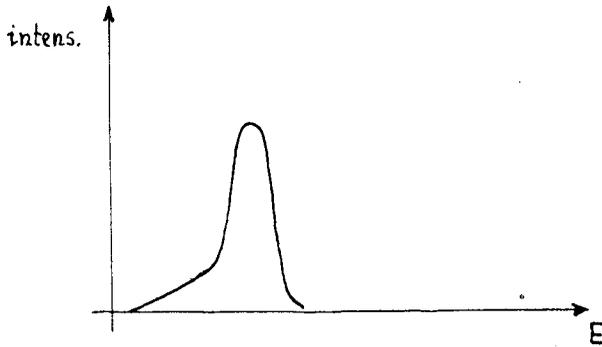


FIG. 3

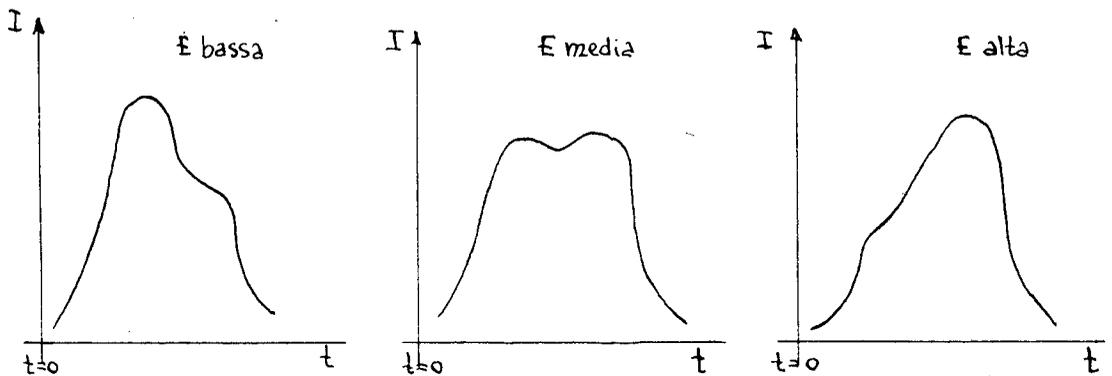


FIG. 4 - Curve di intensità in funzione del tempo per elettroni di diverse energie. Si nota come l'energia più alta contribuisce maggiormente alla seconda metà dell'impulso.

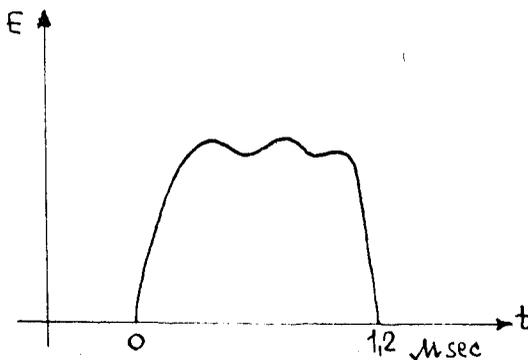


FIG. 5

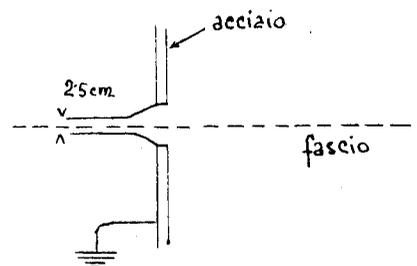


FIG. 6

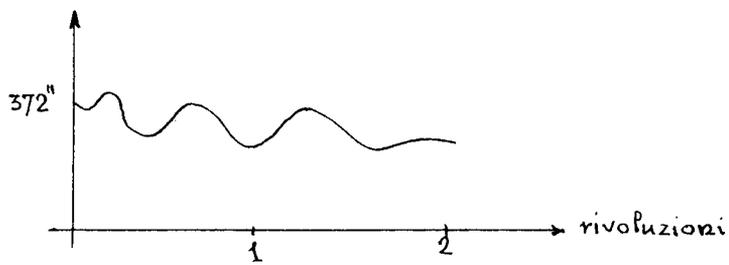


FIG. 7

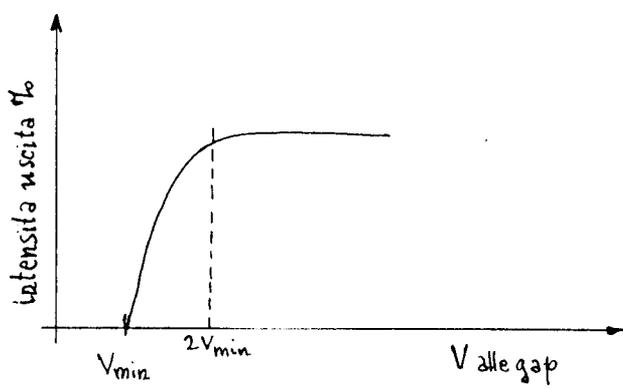


FIG. 8

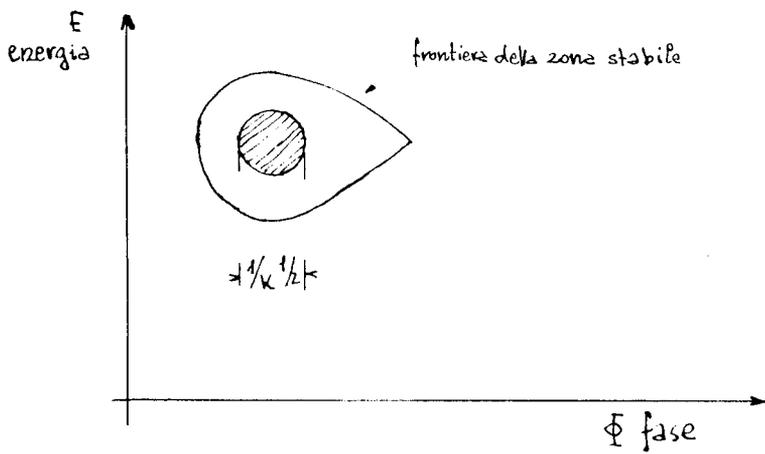


FIG. 9

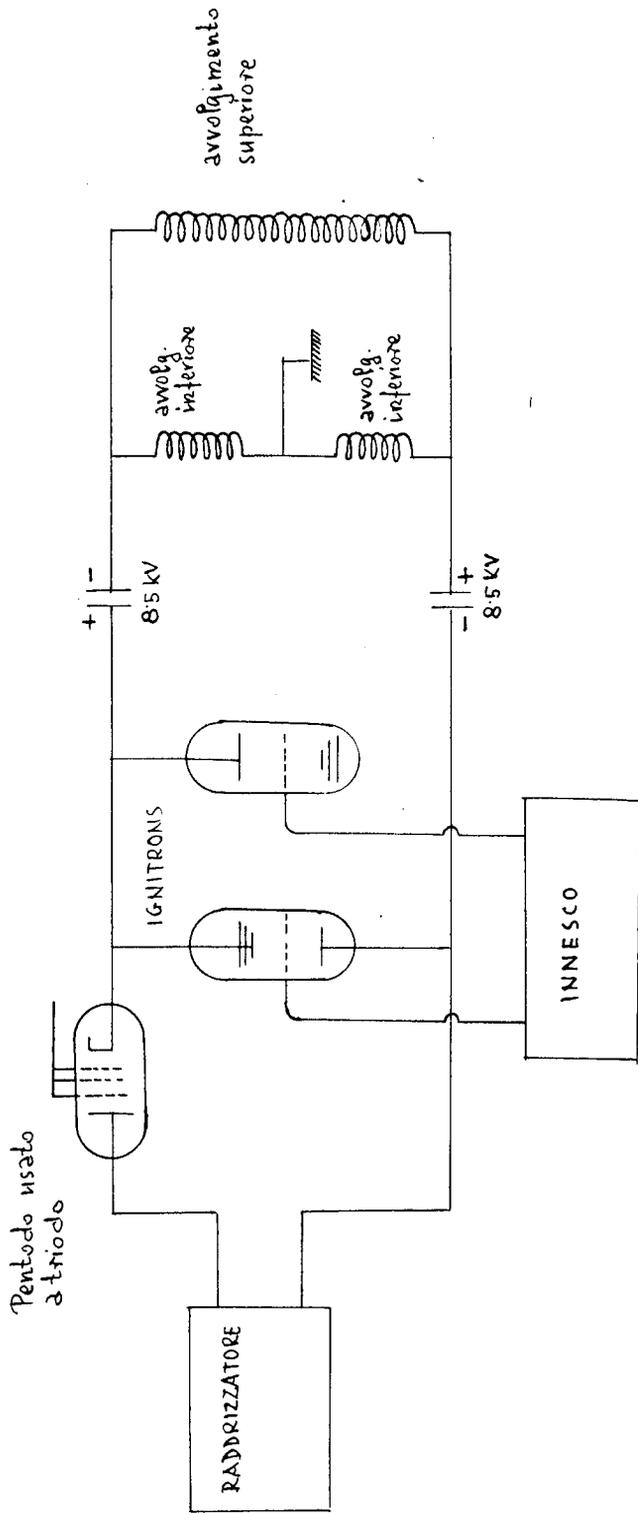


FIG. 10

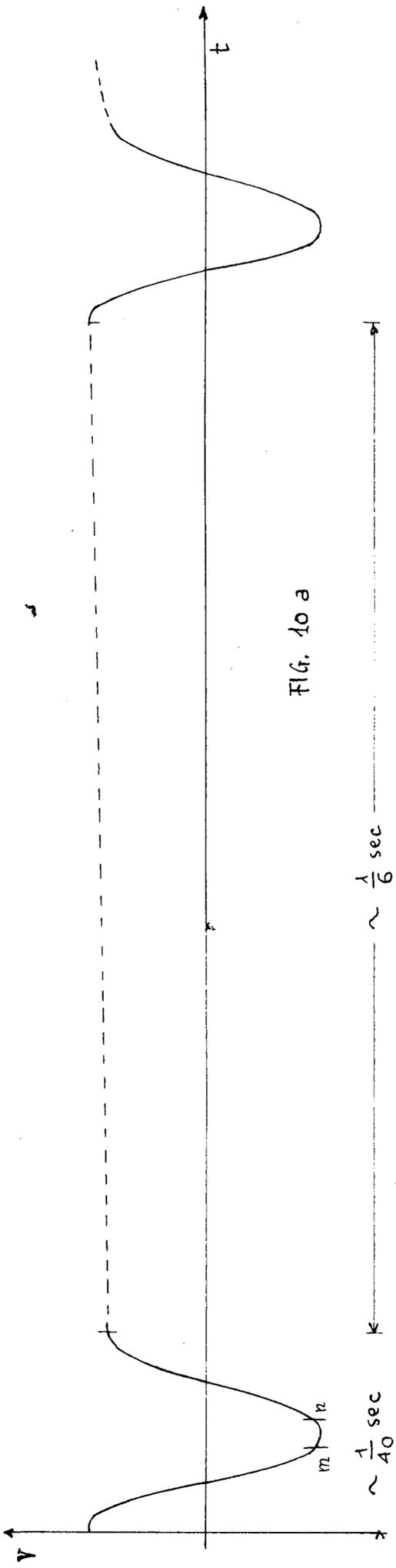


FIG. 10 a

$\sim \frac{1}{6} \text{ sec}$

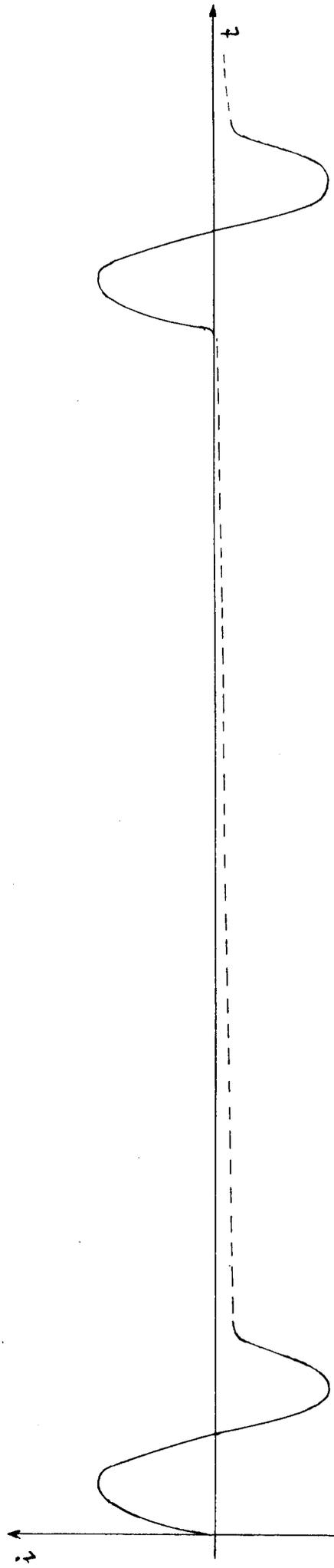


FIG. 10 b

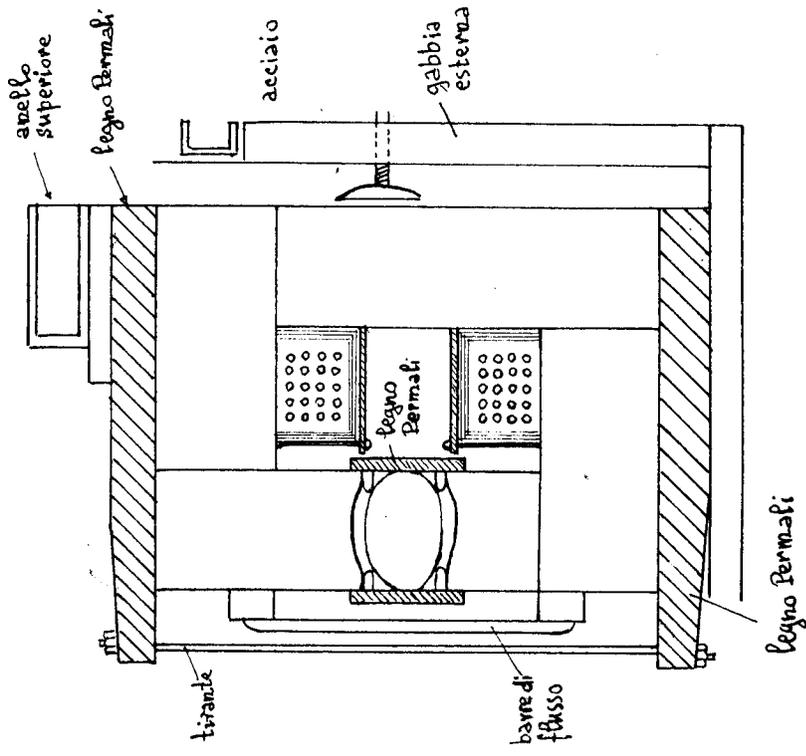


FIG. 11

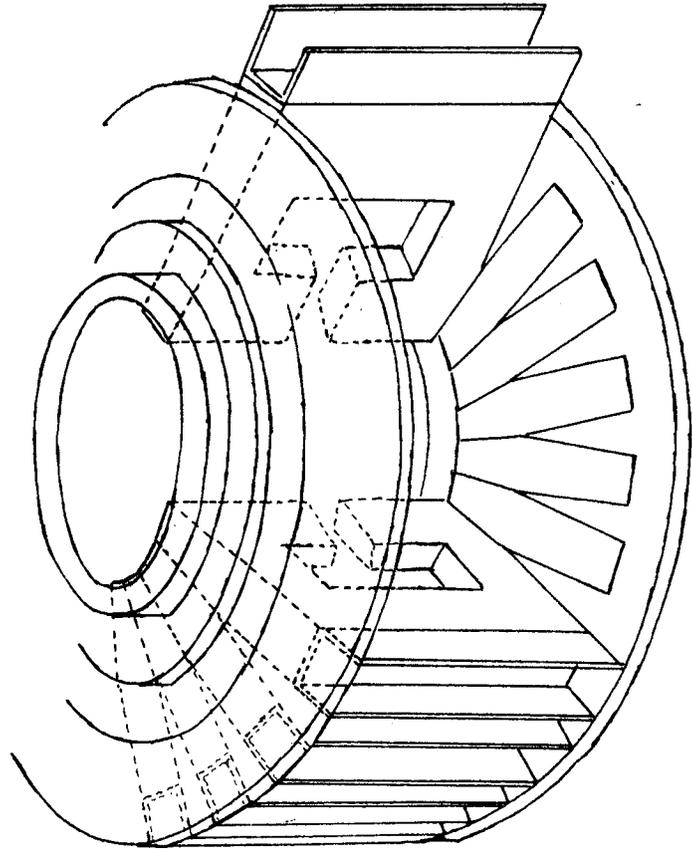


FIG. 12

asse del
magnete

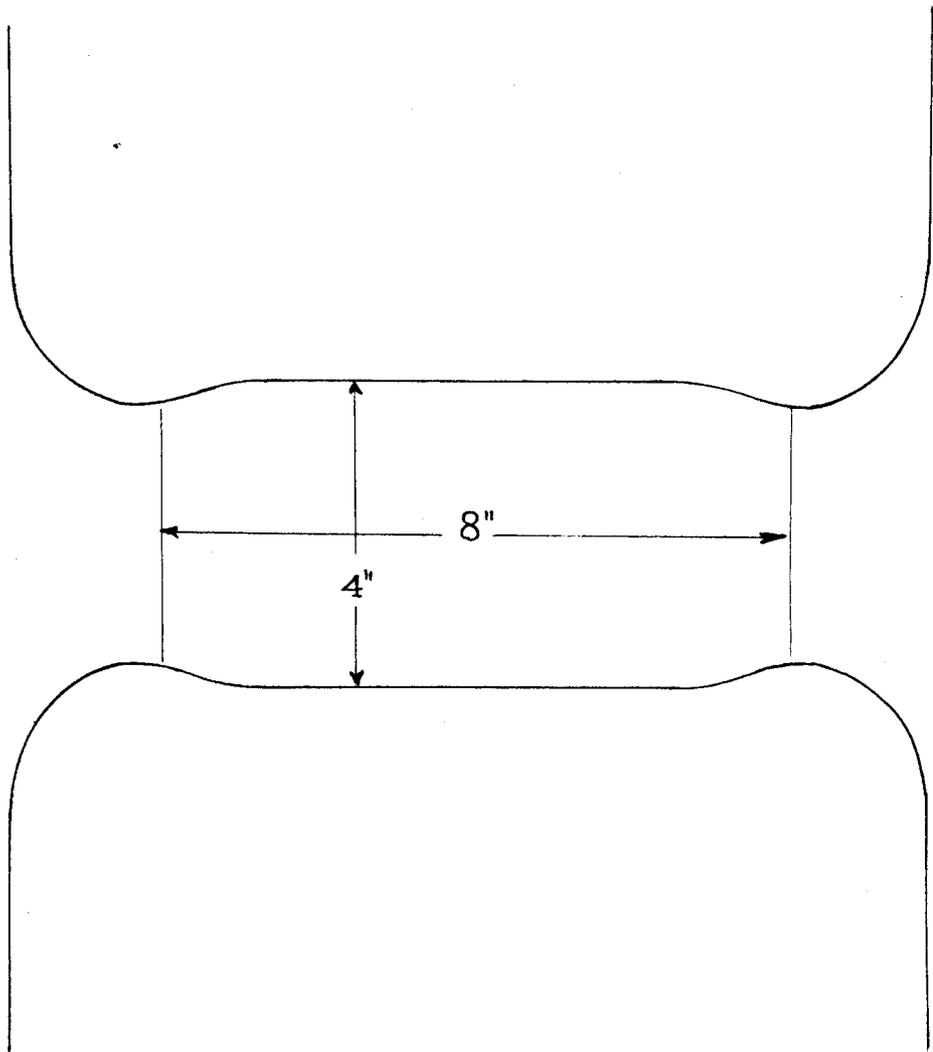


FIG. 13

Pirani

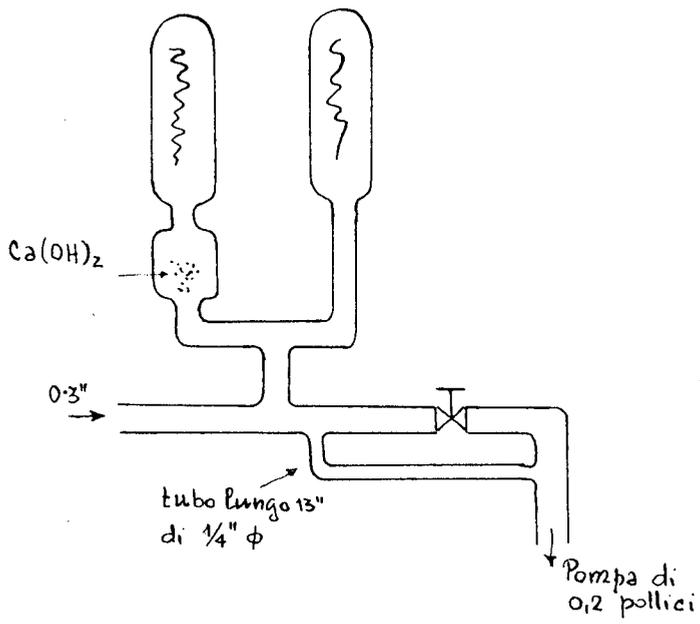


FIG. 14

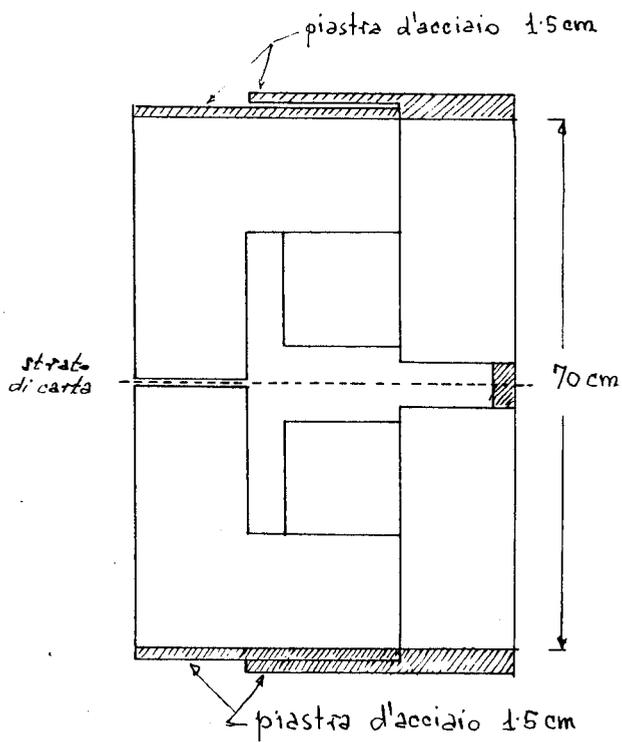


FIG. 15



FIG. 16

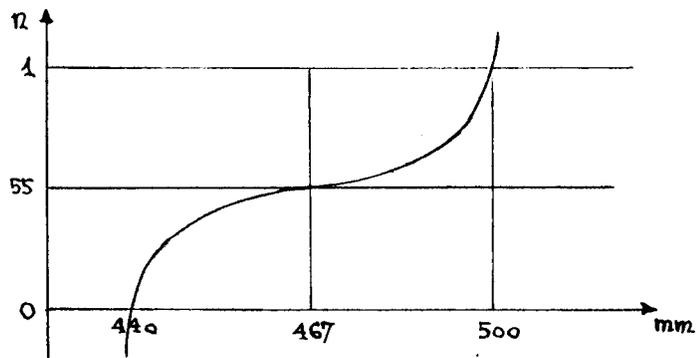


FIG. 17

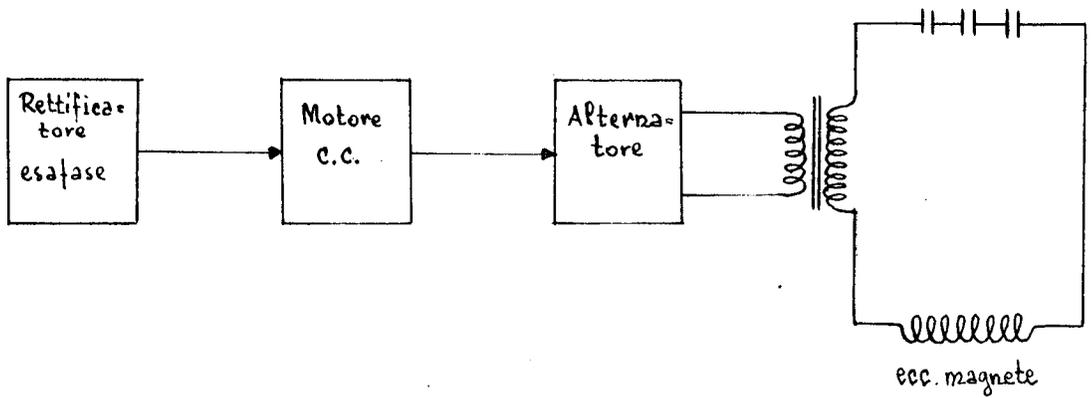


FIG. 18

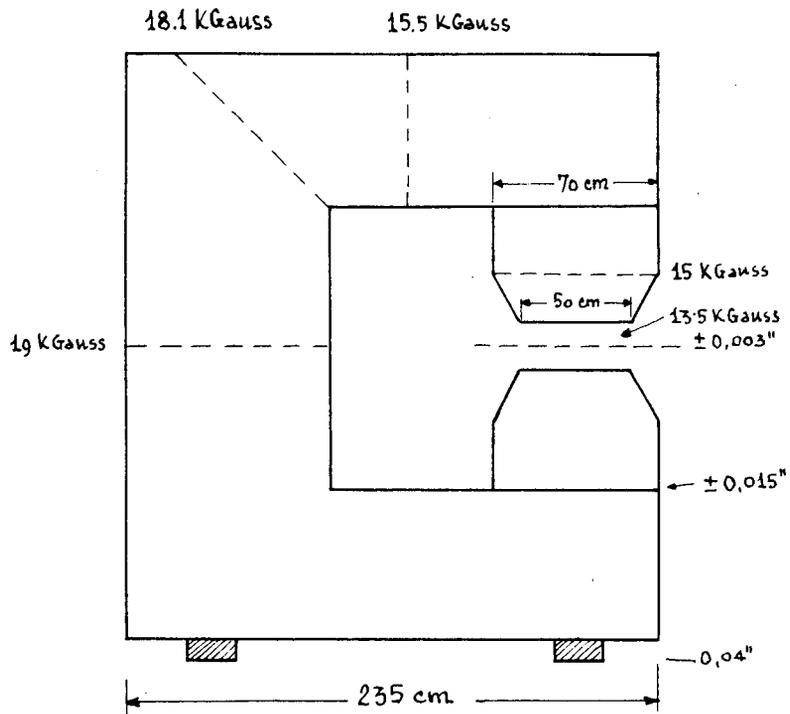


FIG. 19

