

13. L'IMPIANTO GENERATORE DI NEUTRONI A 1000 KILOVOLT DELL'ISTITUTO DI SANITÀ PUBBLICA.

Le recenti scoperte nel campo della fisica atomica hanno reso possibile di preparare gli isotopi radioattivi di un grandissimo numero di elementi in quantità abbastanza rilevanti. Sono note le numerose esperienze relative a disintegrazioni nucleari che hanno dato modo di precisare le nostre cognizioni sulla struttura dei nuclei e un nuovo campo di ricerche si è aperto per la chimica e la biologia con l'uso delle sostanze radioattive artificiali come « indicatori ».

Tra le nuove possibilità di lavoro vanno messe in primo piano quelle appartenenti al vastissimo campo terapeutico nei riguardi dei tumori maligni.

Si è ritenuto perciò opportuno di costruire nell'Istituto di Sanità Pubblica dove coesistono laboratori di Fisica, Chimica e Biologia un impianto capace di produrre in quantità sufficientemente grandi queste sostanze radioattive artificiali.

Tra i due tipi di costruzione che potevano essere scelti, cioè quello del ciclotrone o quello del tubo acceleratore di ioni per la produzione di neutroni, si è scelto quest'ultimo; inquantochè esso presentava anche la possibilità di produrre (con lievi varianti) raggi X di elevato potere penetrante.

Le parti essenziali dell'impianto sono:

- 1) il generatore dell'alta tensione;
- 2) il dispositivo per la misura della tensione;
- 3) la sorgente di ioni;
- 4) il tubo acceleratore;
- 5) il complesso per la produzione e la misura del vuoto necessario nel tubo e nella sorgente.

La disposizione generale delle parti è mostrata nella fig. 1.

1. - Il generatore di alta tensione è stato costruito dalla Soc. An. Rangoni e Puricelli di Bologna, sullo schema di I. D. Cockchoft e E.T.S. Walton (fig. 2), a undici stadi, in modo che la tensione alternata fornita da un trasformatore da 100 Kilovolt può essere portata al valore costante di 1100 Kilovolt. I condensatori impiegati sono del tipo industriale in olio, costruiti dalla Ditta Passoni e Villa, e garantiscono un funzionamento continuativo sotto la tensione (per ogni elemento) di 200 KV. eff. Essi sono sovrapposti in modo da costituire due colonne, essendo intramezzati da anelli di fusione in alluminio, destinati a funzionare da anticorona, ad ogni piano di separazione; parallelamente all'asse delle due colonne di condensatori, sono disposti due alberi rotanti, mossi ciascuno da un motore posto in basso: su questi assi (che sono di materiale isolante) sono calettati ad ogni piano i rotori di altrettanti alternatori a magneti permanenti, i quali sono destinati all'alimentazione dei filamenti delle lampade, che uniscono i vari piani dell'apparecchio e che, come è ovvio, devono essere accesi con generatori che si trovano al potenziale del piano al quale è collegato il catodo della lampada.

Poichè è previsto che l'elettrodo anticorona che trovasi alla sommità dell'apparecchio debba essere ad un potenziale positivo rispetto alla terra, la prima lampada, che è collegata col primo anello di fusione, a cui fa capo la tensione data dal trasformatore, rivolge a questo l'anodo; quindi in questo piano non occorrerebbe un alternatore di alimentazione. Ciononostante, come si vede nelle fotografie (fig. 3, 4), anche in questo piano è stato posto un alternatore, in modo che, qualora occorresse invertire la tensione, per accelerare, ad es., elettroni per la produzione di raggi X, basterebbe invertire le valvole, e anche nella nuova disposizione tutte le valvole troverebbero ad ogni piano il generatore capace di provvedere alla loro regolare accensione.

La frequenza della corrente di alimentazione è stata scelta di 520 periodi, in modo che, con capacità non eccessivamente grandi, si sono potute realizzare condizioni per le quali, con una erogazione di 1 ma., si può prevedere una fluttuazione della tensione non superiore a 0,3 %, e una depressione della tensione fornita senza carico di 35 Kilovolt per ogni ma. di erogazione.

I vari elementi sono stati calcolati in base alle formule di Bouwers (¹) e le previsioni del calcolo si sono trovate soddisfacentemente realizzate:

la trattazione più completa fatta da E. Pugno Vanoni è venuta a nostra conoscenza quando l'impianto era già realizzato; tuttavia i valori delle capacità da noi scelti corrispondono ai criteri fissati da questo autore.

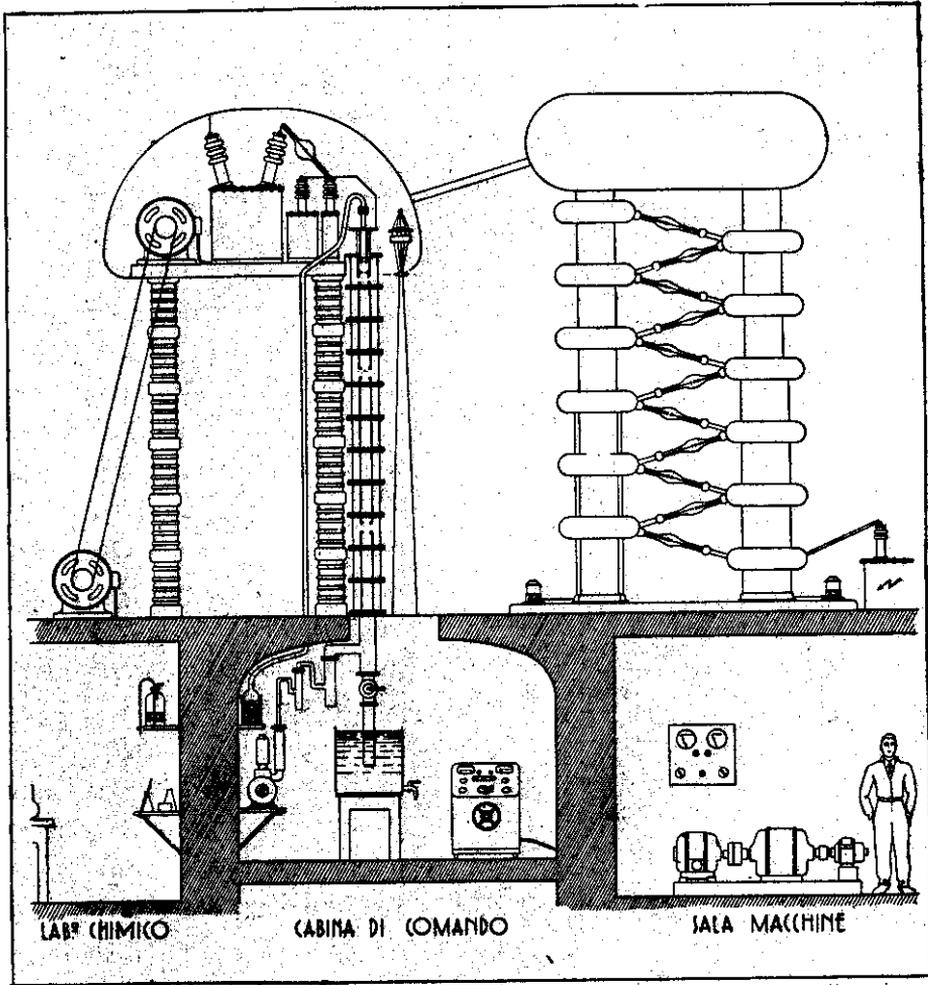


FIG. 1. - Schema generale dell'impianto.

Le valvole, costruite dalla radiotecnica di Torino, sono del tipo ordinariamente usato per gli impianti destinati alla alimentazione di ampolle per raggi X. Esse sono capaci di sopportare, in senso opposto a quello in cui conducono, una tensione superiore a 200 KV. Poichè la corrente che deve attraversarle è assai più bassa di quella destinata alle

ampolle per raggi X, il filamento è stato previsto per una potenza inferiore a quella ordinaria; ciò allo scopo di non dover impiegare alternatori di mole eccessiva.

Il trasformatore di alimentazione della Scotti e Brioschi di Novara è della potenza di 15 KVA. ed è collocato vicino al primo corpo anticorona; a questo è collegato uno dei suoi poli, mediante un tubo metallico, mentre l'altro polo è messo a terra.

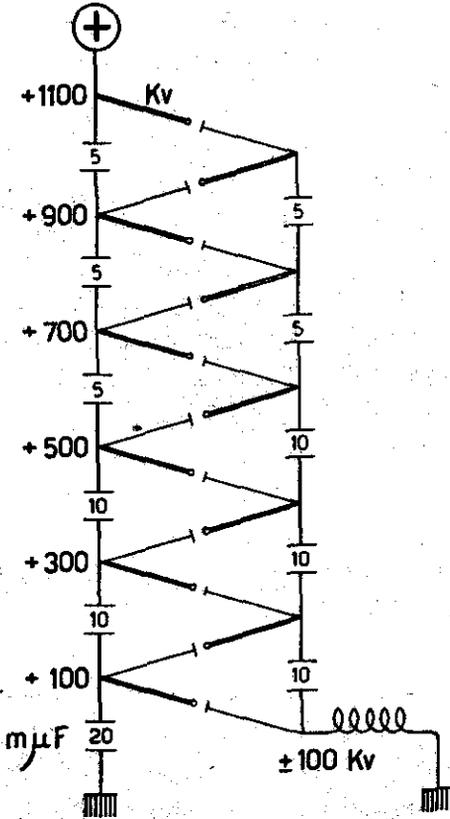


FIG. 2. - Schema del generatore di alta tensione.

La tensione applicata al primario viene generata da un gruppo convertitore di 15 KW., posto nel sottosuolo, nella sala macchine del laboratorio; essa viene regolata, mediante un apposito tavolo di manovra, dalla cabina di comando dell'impianto. Questa (figura 1) si trova nel piano inferiore, immediatamente sotto la base del tubo, come verrà in seguito descritto.

Le dimensioni scelte per gli anticorona di piano e per l'anticorona terminale superiore hanno perfettamente risposto alle previsioni, cosicchè alle prove di tensione, fatte senza carico, si è

potuto superare il limite di tensione previsto, senza che si verificassero scariche o effluvi eccessivi verso le pareti della stanza.

2. - Per la misura della tensione si è provveduto nel modo seguente. Il conduttore anticorona *A* dell'apparecchio generatore è messo in comunicazione, mediante una resistenza in olio di circa 2 megaohm, con un altro corpo anticorona *B* di forma particolare, che può essere facilmente rilevata dalla fotografia (fig. 3). Questo corpo, destinato (come vedremo) a contenere tutti i servizi inerenti alla sorgente di ioni, è sostenuto da

cinque colonne di isolatori, alte circa 4 metri; una di queste (che trovasi dal lato opposto al generatore) è piena di olio da trasformatori in cui è immersa una catena di resistenze del valore complessivo di $3 \cdot 10^9$ Ohm,

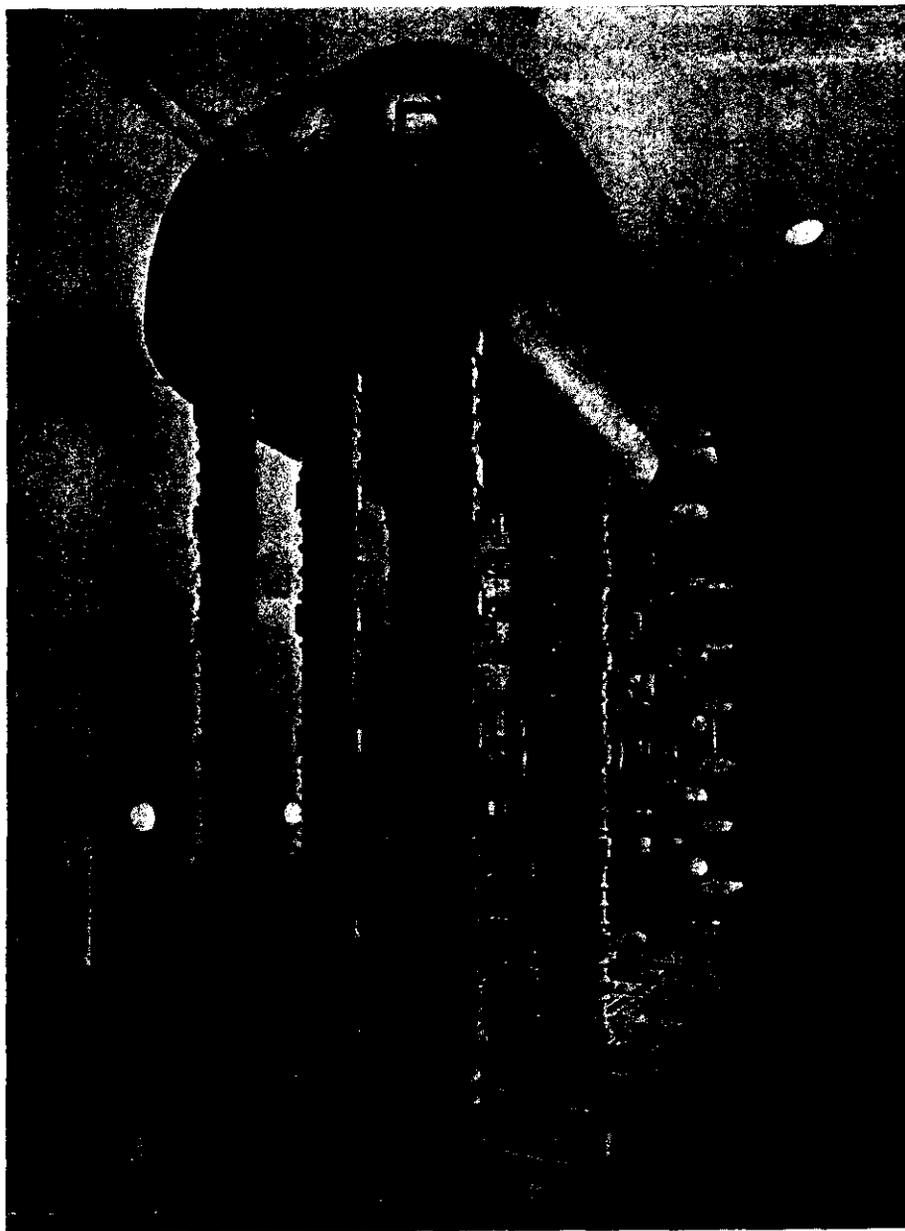


FIG. 3. - A) Generatore dell'alta tensione; B) Sorgente degli ioni e servizi relativi.

sostenuta da una incastellatura di bachelite e porcellana. Questa colonna voltometrica è collegata in basso a un filo isolato, che esce dalla base del-

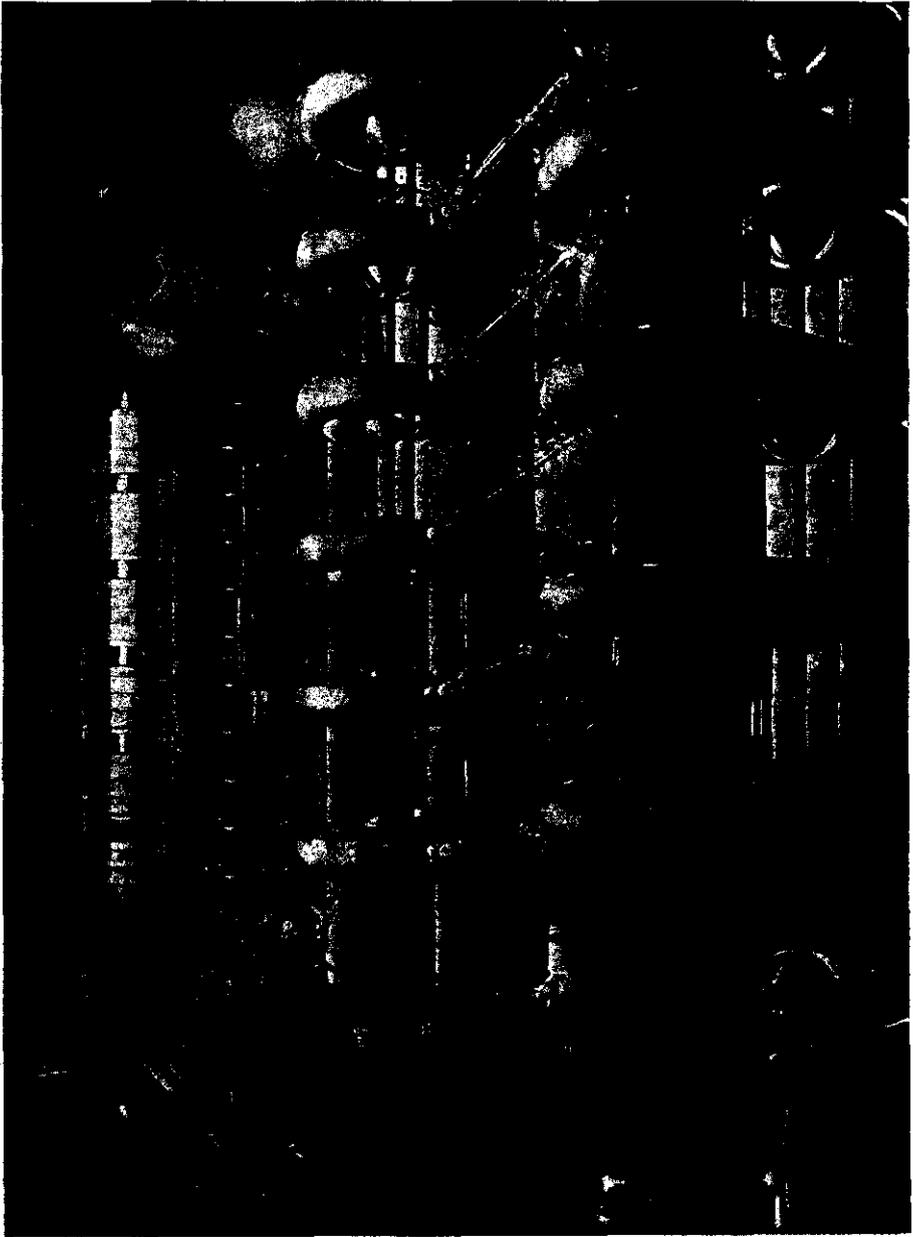


FIG. 4. - Veduta d'insieme del generatore di alta tensione e del tubo acceleratore.

l'isolatore inferiore e va a terra, passando per un microamperometro situato sul tavolo di manovra della cabina di comando. In questo modo la regolazione della tensione al primario del trasformatore viene fatta seguendo con continuità le indicazioni del voltmetro ohmico che dà la tensione degli anticorona superiori. La resistenza della colonna voltometrica viene giornalmente controllata per mezzo di una pila e di un galvanometro di conveniente sensibilità, e inoltre mediante un voltmetro elettrostatico di Schroeder, che permette di controllare direttamente le indicazioni nella prima parte della scala.

3. - La sorgente di ioni finora usata è del tipo a raggi canale (Oliphant) (fig. 5). Il foro del catodo è di mm. 3 di diametro e mm. 7 di lunghezza. Alla sua alimentazione, che deve essere fatta da un complesso generatore isolato da terra per 1000 KV., si provvede nel modo seguente. Un motore di conveniente potenza aziona un alternatore da 3 KVA., posto nell'interno dell'involucro *B* (che, come si è detto, è isolato da terra mediante colonne di isolatori di porcellana; alte circa 4 metri; il collegamento fra motore e alternatore è fatto mediante una cinghia di trasmissione, che è stata scelta di qualità particolarmente isolante (Clot bruna). L'alternatore dà una tensione di 220 Volt alla frequenza di 520 per/sec, che viene elevata (fig. 6) al valore occorrente per l'alimentazione della sorgente, mediante un trasformatore che può permettere di raggiungere i 50 KV. eff.; viene inoltre raddrizzata per mezzo di un diodo e livellata con un condensatore. La misura della tensione applicata alla sorgente viene fatta mediante un voltmetro, costituito da un microamperometro avente in serie una congrua resistenza, costruita analogamente alla grande colonna voltometrica dell'impianto. Lo strumento è direttamente tarato in KV. e la sua lettura viene fatta dalla cabina di comando, essendo proiettata, con opportuno dispositivo ottico, l'immagine della scala e dell'indice sopra un vetro smerigliato, che copre una finestra praticata nel pavimento. Questo sistema è stato adottato anche per

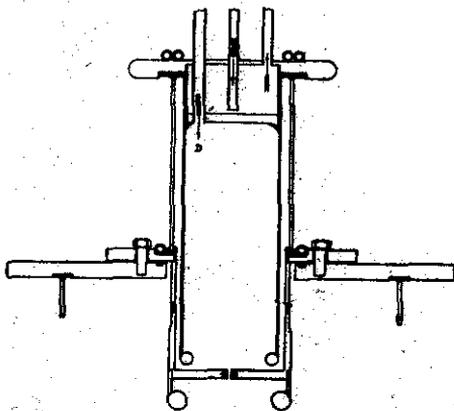


FIG. 5. - Sorgente di ioni.

osservare dalla cabina di comando le indicazioni del milliamperometro che misura la corrente nella sorgente e quelle di un vacuometro di Pirani inserito nella sorgente stessa. Alla introduzione del gas (deuterio) nella sorgente si provvede mediante una valvola a spillo, che viene comandata per mezzo di fili di seta, che fanno capo, con opportuni rinvii a carrucola, ad un congegno posto pure nella cabina di comando che permette

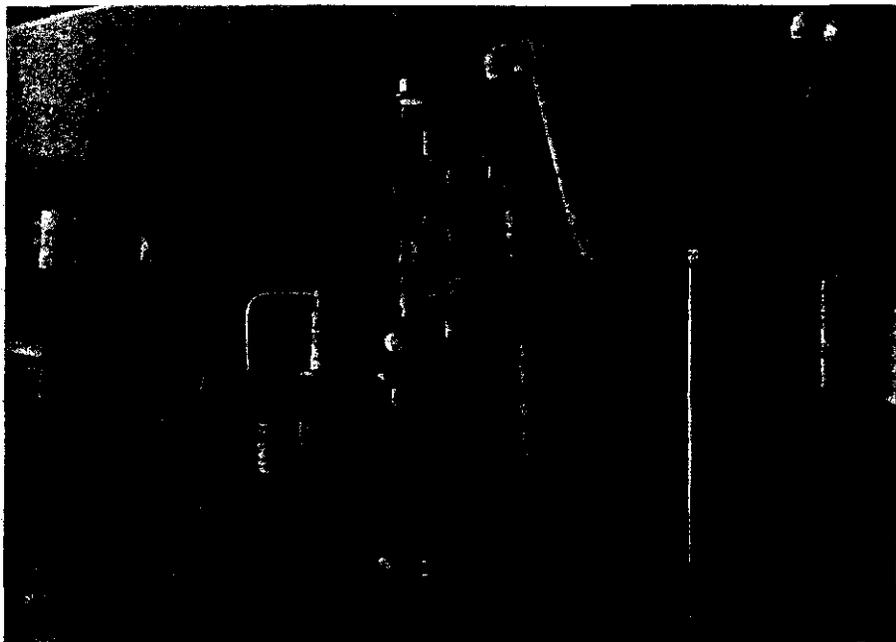


FIG. 6. - Interno dell'involucro B.

di regolare l'apertura della valvola stessa. Il congegno è provvisto di un sistema riduttore per la fine regolazione, in modo da poter dosare convenientemente l'immissione del gas.

La regolazione della tensione applicata alla sorgente viene fatta per mezzo di un autotrasformatore posto nel corpo *B* a fianco della sorgente e regolato anch'esso dalla cabina di comando mediante un'asta di bachelite, munita inferiormente di un volantino. Una sorgente di questo genere permette di ottenere una corrente di ioni non superiore a 50 microampère, ma cionostante in essa viene dissipata una notevole quantità di energia

(circa 600 Watt), ed è pertanto necessario provvedere al suo raffreddamento. A ciò serve una pompa, posta in un angolo del salone (fig. 7), la quale aspira il petrolio contenuto in apposito serbatoio e, attraverso tubi (che sono di rame nella porzione che passa sotto il pavimento e di bachelite in quella che sale al corpo *B* parallelamente agli isolatori di sostegno) raggiunge i serpentine destinati al raffreddamento degli elettrodi della sorgente.

Prima di tornare nel serbatoio da cui viene aspirato dalla pompa, il petrolio passa in un lungo serpentino di rame, immerso in acqua corrente. Allo scopo di evitare che possa essere alimentata la sorgente senza che sia provvisto alla circolazione del petrolio e dell'acqua, nel circuito del teleruttore che comanda il gruppo generatore della tensione che alimenta la sorgente sono

inseriti due contatti in serie, che vengono chiusi rispettivamente dalla pressione dell'acqua e da quella del petrolio. Se, per qualunque ragione, uno dei due flussi venisse a mancare, si arresterebbe automaticamente il generatore della tensione.

Il funzionamento di una sorgente di questo genere è abbastanza soddisfacente; ma, come si è detto, la corrente ionica che con essa si può produrre è piuttosto limitata; perciò è stata messa in costruzione una nuova sorgente, dalla quale si prevede di poter ottenere una corrente almeno decupla di quella attuale.

4. - Il tubo acceleratore è stato costruito in modo da poter essere facilmente smontato; per mutare (ove occorra) la posizione e il numero



FIG. 7. - Dispositivo di raffreddamento della sorgente.

delle lenti, allo scopo di ottenere la miglior focalizzazione del fascio di ioni. Ogni elemento del tubo è costituito da un cilindro di vetro, le cui sezioni terminali sono esattamente normali all'asse del cilindro stesso; ogni cilindro (fig. 8) è masticiato mediante piccina in un'apposita scanalatura praticata in una flangia di ferro cromato. Le due flangie terminali di ciascun cilindro non sono eguali: quella inferiore — a — è più piccola ed ha la sagoma riportata nella figura 8; la superiore — b — è più

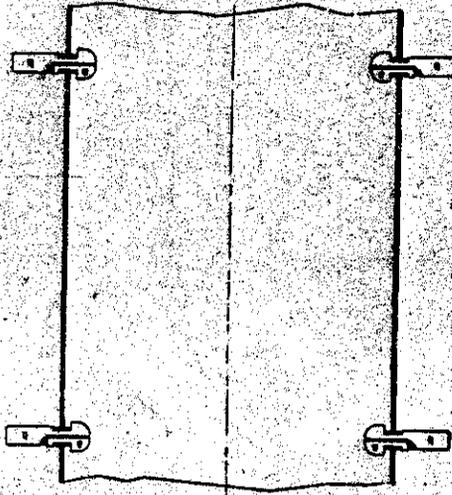


Fig. 8. - Particolare del collegamento fra le varie sezioni del tubo.

grande ed è sagomata in modo da poter alloggiare la flangia inferiore del cilindro successivo. Come si vede, due elementi possono essere posti l'uno sull'altro, essendo il diametro esterno della flangia piccola eguale a quello interno della flangia grande, con una tolleranza in meno di circa $2/10$ di mm.; le due facce a contatto sono rettificata in modo da combaciare perfettamente e intorno alla flangia minore rimane un canale a sezione press'a poco triangolare; esso viene riempito di cera apiezon Q, precedentemente

ridotta a forma cilindrica di conveniente sezione per mezzo di un'apposita siringa a pressione.

Facendo le masticiature dei cilindri alle flangie mediante appositi forni a riscaldamento elettrico (regolati in modo da non portar mai la piccina a temperature troppo elevate), gli elementi costituiti dai vetri muniti di flange, riescono dei pezzi di grande solidità e di sicura tenuta per il vuoto; la giuntura di due elementi e relativa chiusura con cera apiezon è rapidissima e altrettanto sicura.

Dato che gli elementi del nostro tubo sono undici (fig. 9), vi sono circa 22 metri lineari di masticiatura con piccina e circa 11 metri lineari di chiusura con cera apiezon: la tenuta per il vuoto è stata sempre perfetta e non si è mai riscontrato alcun difetto.

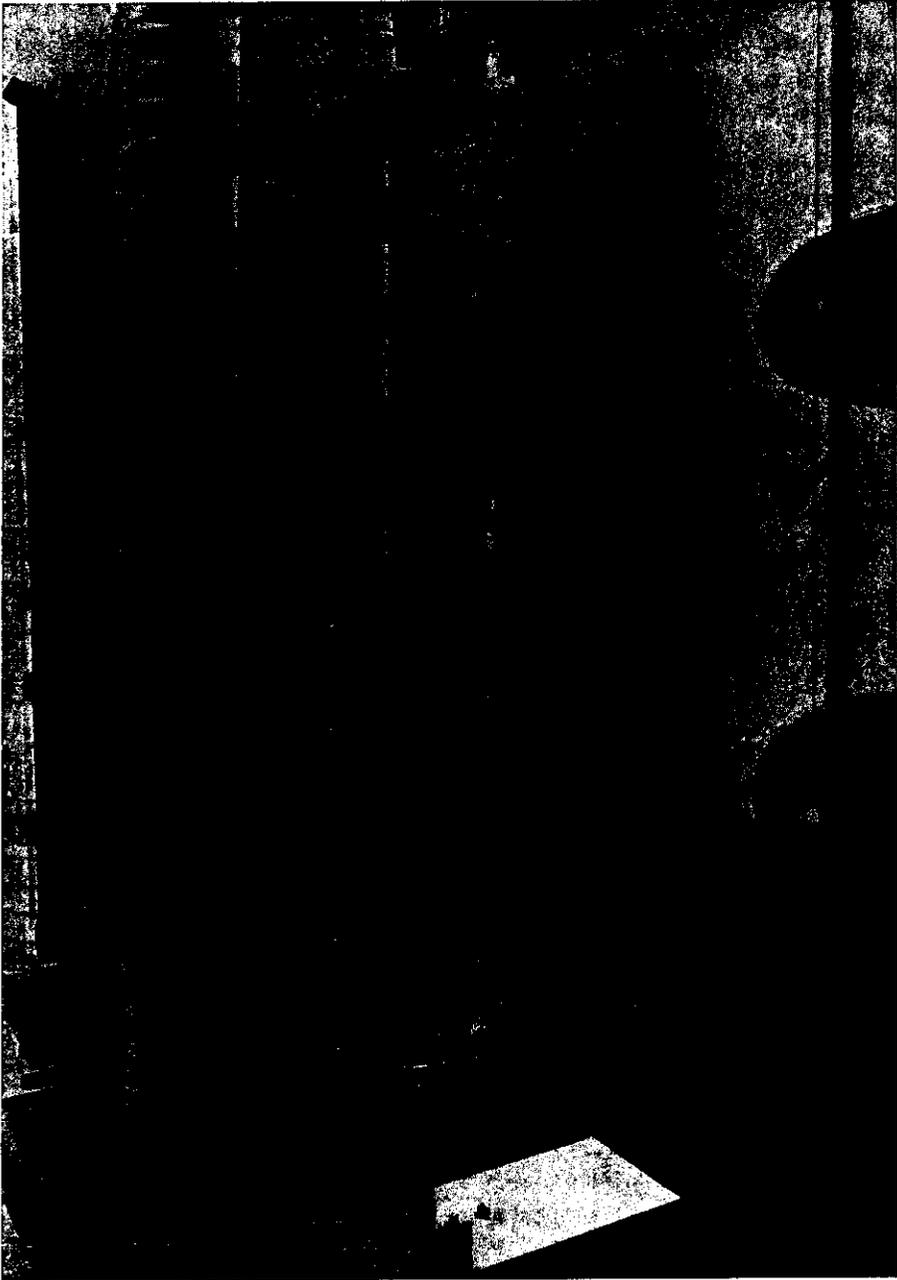


FIG. 9. - Tubo acceleratore.

Le parti costituenti le lenti sono collegate da cilindri di ottone cromato, sostenuti, mediante viti di pressione, da altrettanti cilindri di alluminio di diametro interno leggermente superiore a quello esterno dei primi. Ogni cilindro di alluminio è, a sua volta, assicurato alle sporgenze interne delle flangie da tre gambi di lunghezza regolabile. La regolazione di tale lunghezza e lo spostamento dell'asse di un cilindro rispetto a quello dell'altro, che si fa mediante viti (le quali tengono il cilindro interno rispetto all'esterno come le viti di un mandrino sostengono il pezzo da lavorare sul tornio), permettono la perfetta centratura delle lenti.

Il primo elemento del tubo è alloggiato in una flangia che, invece di essere fissata alla sommità di un altro cilindro di vetro, è fermata con bulloni su una lastra di fusione fissata al pavimento, ed è saldata nella parte centrale a un tubo di 150 mm. di diametro, che penetra nella cabina di comando e di utilizzazione. Alla estremità inferiore di questo tubo trova posto, come vedremo, la sostanza che deve essere bombardata; da un lato vi è saldato un altro grosso tubo comunicamente con le pompe. L'ultimo elemento superiore del tubo è chiuso da una flangia, recante nel centro un opportuno foro, in cui passa il catodo della sorgente, che penetra così nel primo cilindro: su questa flangia è fissata la flangia inferiore della sorgente.

5. - Il complesso per la produzione e la misura del vuoto nel tubo è collocato nella cabina di comando (fig. 10) e di utilizzazione, che come si è detto si trova al di sotto del tubo acceleratore. Esso consta di due gruppi di pompe ad olio apiezon del tipo di Sloan, costruite nella officina dell'Istituto, capaci di tirare 100 litri/sec., alla pressione di 10^{-5} mm. di Hg. Un opportuno dispositivo di rubinetterie, con fori di mm. 30, permette di collegare l'uno o l'altro o ambedue i gruppi di pompe con l'una o l'altra delle due pompe destinate al vuoto preparatorio. Una di esse ha la portata di 15 litri/sec., l'altra di 3 litri/sec.; la prima viene impiegata per vuotare rapidamente il tubo, quando, per qualche manovra, è stato necessario far entrare in esso l'aria a pressione atmosferica; l'altra è permanentemente tenuta in funzione durante l'uso delle pompe ad olio. Le connessioni dei rubinetti e delle varie pompe sono tutte fatte mediante guarnizioni anulari di gomma e flange serrate con bulloni. Il complesso delle pompe ad olio è fornito di fornelli a riscaldamento elettrico, alimentati attraverso un interruttore, che è tenuto chiuso dalla pres-

sione dell'acqua che serve al raffreddamento delle pompe stesse. Venendo a mancare, per qualunque ragione, il flusso dell'acqua, si interrompe au-

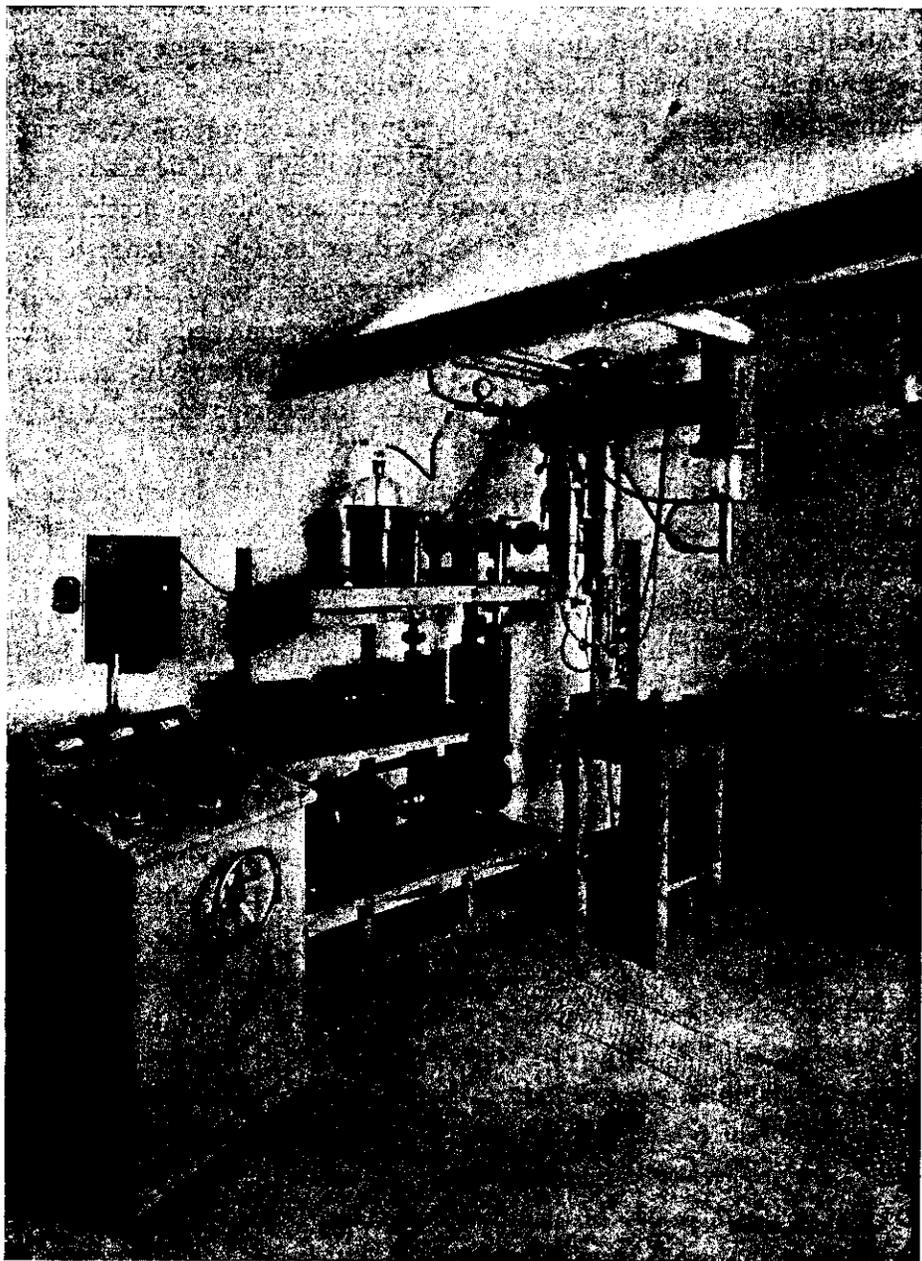


FIG. 10. - Cabina di comando.

automaticamente la corrente di riscaldamento delle pompe. Al controllo del grado di vuoto raggiunto servono un vacuometro di Pirani, collegato col grosso tubo a cui sono connesse le pompe e un vacuometro di MacLeod. Quando la valvola del deuterio è chiusa, il vuoto raggiunge valori non più misurabili coi mezzi indicati; ma, quando la valvola è aperta, nelle condizioni di regime per il funzionamento della sorgente, il vuoto raggiunto è di $5 \cdot 10^{-5}$ mm. di Hg, e quindi controllabile con sicurezza.

Alla base del tubo di ferro centrale sottostante al tubo acceleratore, dove arrivano gli ioni destinati al bombardamento della sostanza, è saldata una flangia, alla quale vengono connesse col solito sistema delle guarnizioni anulari di gomma, le varie «code» contenenti le sostanze da bombardare. È ora in costruzione un grosso rubinetto che, connesso con questa flangia, permetterà di chiudere momentaneamente, sotto il tiraggio delle pompe, il tubo, in modo da poter cambiare la «coda» senza far rientrare l'aria in tutto il tubo. Dopo fatto il cambiamento, basta, con una pompa ausiliaria, vuotare la parte inferiore del rubinetto e la «coda», dopo di che viene riaperto il rubinetto. In questo modo non si deve far rientrare l'aria a pressione atmosferica nel tubo ogni volta che, nel corso delle ricerche, si ha necessità di cambiare la sostanza bombardata dagli ioni.

Nella stessa cabina di comando, a fianco della batteria dei rubinetti, è piazzato un gazometro a mercurio, nel quale è conservato il deuterio, ottenuto per elettrolisi dell'acqua pesante. Da questo gazometro il deuterio passa in un recipiente metallico, nel quale è introdotto un tubetto di palladio arroventato da un fornello elettrico. Il deuterio, che così si purifica filtrando attraverso il palladio, raggiunge la valvola che lo immette nella sorgente, lungo una tubatura di vetro, che, attraversando il pavimento del salone, sale al corpo *B*, parallelamente ai tubi di bachelite del raffreddamento della sorgente. Volendo ricuperare il deuterio che viene ripompato dal tubo, basta ricondurre quello che viene espulso dalla pompa preparatrice (che è stata precedentemente vuotata di tutta l'aria contenuta nella parte posteriore e quindi riempita di deuterio) nella campana del gazometro. In tal modo la quantità di deuterio impiegata nel funzionamento è praticamente costante e viene continuamente purificata; occorre rifornire deuterio solo se, per qualche particolare circostanza, si deve far

entrare aria in qualche tratto del circuito; il che implica una successiva vuotatura e conseguente riempimento con deuterio. Occorre, ad es., far ciò di tempo in tempo nel tratto che dal gazometro conduce al purificatore di palladio, per allontanare le impurità che in questo tratto vanno man mano accumulandosi.

Nelle prove preliminari dell'impianto, bombardando un disco, ottenuto comprimendo a forte pressione della polvere di berillio, si è ottenuta una emissione di neutroni pari a quella che si otterrebbe con una sorgente costituita da berillio mescolato con 60 grammi di radio elemento.

Con alcuni miglioramenti, in primo luogo con una migliore focalizzazione del fascio dovuta a un più perfetto allineamento delle lenti del tubo, abbiamo raggiunto, a circa 1 milione di volt, un'intensità del fascio di neutroni emesso dalla lastrina di berillio pari a quella che si otterrebbe mescolando con Be circa 200 gr. di radio elemento.

È ora in costruzione una sorgente di ioni di tutt'altro tipo di quella usata fino ad ora (²), che funziona a basso potenziale, e che produce un fascio di ioni molto intenso, richiedendo inoltre una relativamente piccola velocità di efflusso del gas: questa permette di mantenere nel tubo un vuoto assai spinto, condizione essenziale per il suo regolare funzionamento.

RIASSUNTO

Viene descritto il primo impianto costruito in Italia, nell'Istituto di Sanità Pubblica, per la produzione di sostanze radioattive artificiali destinate a ricerche nel campo fisico, chimico e biologico e ad applicazioni terapeutiche.

SUMMARIUM

Nunc primum in Italia, apud Institutum Publicae Sanitatis officina condita est in qua materiae radio-activae arte conficiantur ad physicas, chymicas, biologicas pervestigationes optime accomodatae, quae ad aegro-

torum quoque curationes adhiberi possint. Cuius officinae hic legitur descriptio.

Roma. — Istituto di Sanità Pubblica - Laboratorio di Fisica.

BIBLIOGRAFIA

- (¹) A. BOUWERS e A. KUNTKE, *Zeitschr. für Techn. Phys.*, 18, 209-219 (1937).
(²) W. ZINN, *Phys. Rev.*, 52, 655 (1937).

