

máxima depois de subir 7,35 m ao longo do plano. Calcular o coeficiente de atrito entre o corpo e o plano. R: O móvel percorre o espaço de 7,35 m ao longo do plano com a velocidade de 9,80 m/s e com a aceleração j_s dada pela expressão: $j_s = g \sin \alpha + fg \cos \alpha$, donde juntamente com $j_s = v^2/2c$, se tira o valor do coeficiente de atrito $f = v^2/(2g \cos \alpha) - \tan \alpha$, que por substituição dá para f o valor 0,19.

133 — O comprimento definido numa régua é 80% do seu comprimento em repouso. Considere o acontecimento $x=0$, $y=0$, $z=0$, $t=1$ segundo no referencial de Einstein onde repousa a régua e determine as coordenadas desse acontecimento no referencial onde tem aquele comprimento. R: Sejam x , y , z e t as

coordenadas do acontecimento no sistema S e x' , y' , z' e t' no sistema W. Estas coordenadas estão relacionadas pelas expressões:

$$(1) \quad x' = (x - vt):R; \quad y' = y; \quad z' = z; \quad t' = (t - vx/c^2):R.$$

O valor de R é dado por $R = \sqrt{1 - v^2/c^2}$ ($c = 3,0 \times 10^{10}$ cm/s — vel. de propagação da luz no vácuo). Tem-se ainda que $\beta = 1/\sqrt{1 - v^2/c^2}$. Pelos dados do problema sabe-se que $\beta = 0,81$; logo $0,8 = \sqrt{1 - v^2/c^2}$ donde se tira para v o valor de $v = 0,6c = 0,6 \times 3 \times 10^{10}$ cm/s.

Substituindo valores em (1) vem:

$$x' = -2,25 \times 10^{10} \text{ cm}; \quad y' = 0 \text{ cm}; \quad z' = 0 \text{ cm}; \quad t' = 1,25 \text{ seg.}$$

Resoluções de GLAPHYRA VIEIRA

6. PROBLEMAS DA INVESTIGAÇÃO EM FÍSICA

IMPIANTO AD ALTA TENSIONE PER RICERCHE SULL'ATOMO

L'imponente sviluppo subito dalla fisica nucleare negli ultimi 15 anni, è in gran parte legato allo sviluppo di macchine capaci di produrre fascetti di particelle di dimensioni subatomiche dotate di elevata energia.

Nella maggior parte dei casi sono queste particelle veloci che vengono impiegate come proiettili per provocare la trasmutazione di un nucleo in un altro il quale, a seconda dei casi, potrà poi essere stabile o radioattivo.

In altri casi, più che il processo di trasmutazione nucleare in se stesso, ciò che interessa sono le particelle o le radiazioni che vengono emesse durante il processo medesimo: esempi tipici sono la emissione di neutroni da parte di elementi leggeri bombardati con deutoni o nuclei di idrogeno pesante, e la emissione di raggi γ duri i da parte di elementi leggeri bombardati con protoni o nuclei di idrogeno leggero.

Per lo studio di quasi tutti i capitoli della fisica nucleare è dunque necessario potere disporre di acceleratori di particelle di dimensioni subatomiche, i quali potranno essere, a seconda dei casi, di tipo e costruzione assai diverse.

Tali macchine si possono dividere in due categorie, a seconda che esse debbono servire ad accelerare particelle leggere, ossia elettroni

o particelle pesanti, ossia protoni, deutoni, nuclei di elio, ecc. E'infatti essenziale tener presente che, a causa del diverso valore della massa di riposo, le correzioni relativistiche sono già assai rilevanti per elettroni dotati di una energia di mezzo milione di elettron volt, mentre un protone raggiunge una analoga situazione solo ad una energia di circa un miliardo di elettron-volt.

Per l'accelerazione di particelle leggere, possono venire impiegati l'acceleratore lineare, il betatrone e il sincrotrone; per le particelle pesanti l'acceleratore lineare il ciclotrone e il ciclotrone modulato in frequenza.

Al giorno d'oggi vengono costruiti, specialmente negli Stati Uniti, betatroni, sincrotroni e ciclotroni modulati in frequenza, capaci di fornire particelle dotate di energie di qualche centinaio di milioni di elettron-volt. La costruzione di tali macchine colossali presenta l'inconveniente di imporre un assai elevato costo e di richiedere il superamento di difficoltà tecniche piuttosto rilevanti.

Nonostante però che le massime energie raggiunte al giorno d'oggi siano così elevate, anche le macchine capaci di fornire particelle dotate di soltanto qualche milione di elettron-volt possono essere di una grande utilità, nel senso che permettono di fare della buona ricerca.

Per esempio un acceleratore lineare elettrostatico che fornisca una tensione di 4 o 5 milioni di volt con una corrente dell'ordine

milioni di volt, gli acceleratori lineari elettrostatici possono venire convenientemente sostituiti da acceleratori a valvole raddrizzatrici

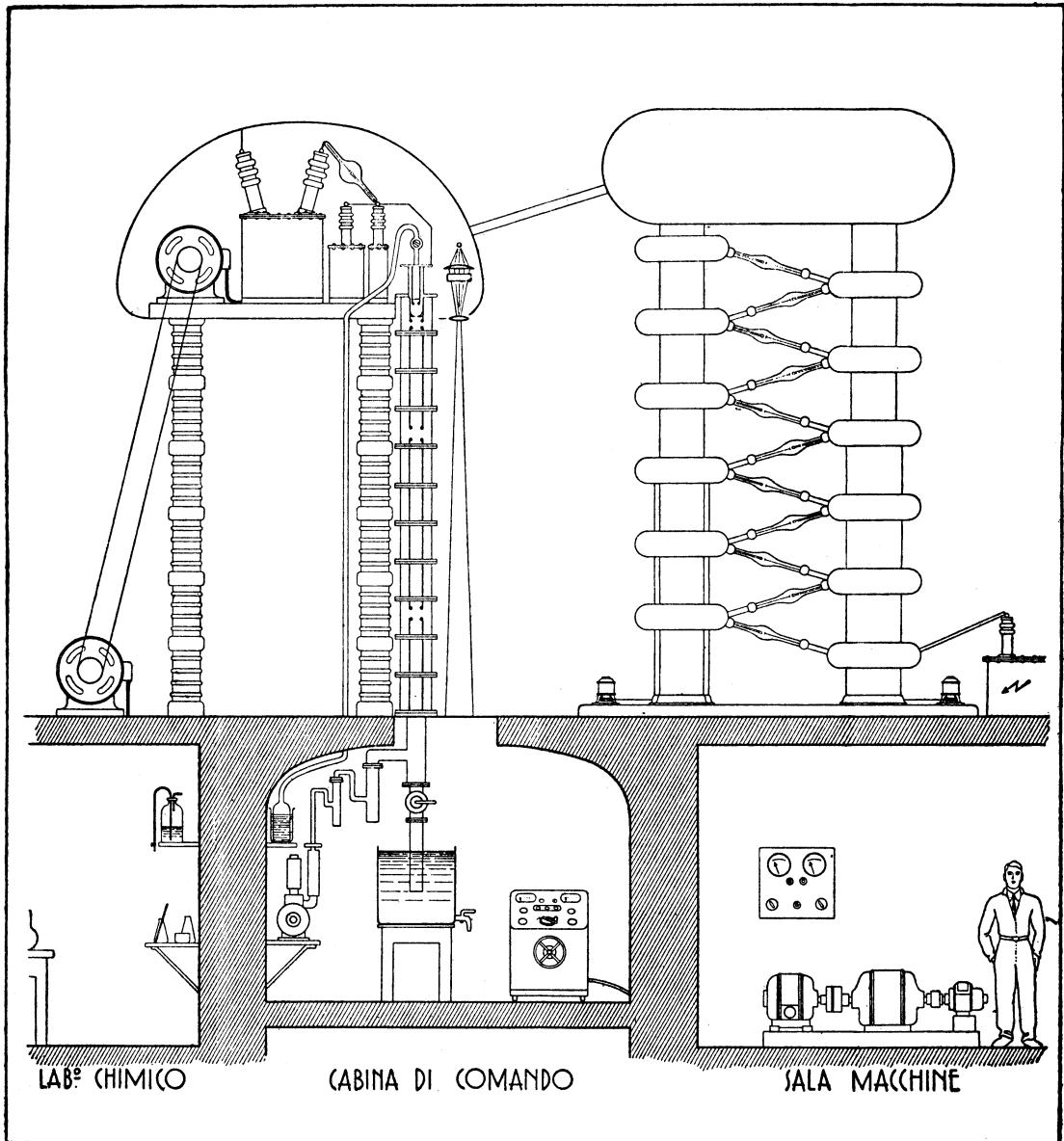


Fig. 1

di qualche microampere, è ancora oggi una macchina estremamente utile con la quale si possono fare, per esempio, misure di gran precisione delle curve di eccitazione di numerosi processi nucleari.

Per tensioni dell'ordine o inferiori a due

del tipo, per esempio, di quello di Cockcroft e Walton, i quali permettono, in generale, di utilizzare una intensità di corrente assai maggiore: essi presentano inoltre il vantaggio di un basso costo e di una grande facilità di costruzione.

L'acceleratore che passo a descrivere, e che fu costruito nel 1938 presso l'Istituto Superiore di Sanità di Roma^(*), è una macchina di questo tipo. Esso fornisce una tensione massima di 1,1 milione di volt e una corrente di oltre 1 milliampere.

Il valore massimo della corrente ottenuta in pratica fino ad ora (100 microampere) è limitato soltanto dalla sorgente di ioni e non dall'acceleratore. Anche con tale corrente, bombardando per esempio del litio con deutoni, si ottiene una emissione di circa 10^{10} neutroni al secondo, il cui spettro si estende notoriamente da energie di oltre 14 milioni di elettron-volt a circa 1 milione di elettron-volt.

C'è inoltre da notare che, a differenza di ciò che accade con i ciclotroni e le altre grosse macchine, la emissione di neutroni avviene, in questi acceleratori, soltanto da una targhetta molto limitata. (pochi millimetri quadrati) circostanza questa che rende possibile eseguire tutte quelle esperienze in cui è importante disporre di sorgenti di neutroni pressochè puntiformi.

Nella fig. 1 è riprodotto lo schema dell'impianto, le cui parti essenziali sono le seguenti:

- 1.a) il generatore di tensione (a destra);
- 2.a) il tubo acceleratore (al centro);
- 3.a) la sorgente di ioni con il suo alimentatore (situata all'estremità superiore del tubo);
- 4.a) il dispositivo per la misura della tensione (non visibile nella fig. 1);
- 5.a) il complesso per la produzione e la misura del vuoto dentro il tubo e la sorgente (situato al piano inferiore a quello ove si trova il generatore).

1). Il generatore di alta tensione è stato costruito sullo schema di I. D. Cockcroft e E. T. S. Walton (fig. 2); esso è a undici stadi; in modo che la tensione alternata fornita da un trasformatore da 100 kilovolt può essere portata al valore costante di 1.100 kilovolt.

I condensatori impiegati sono del tipo industriale ad olio e garantiscono un funziona-

mento continuativo sotto tensione di 200 kV eff. per ogni elemento. Essi sono sovrapposti in modo da costituire due colonne e sono 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

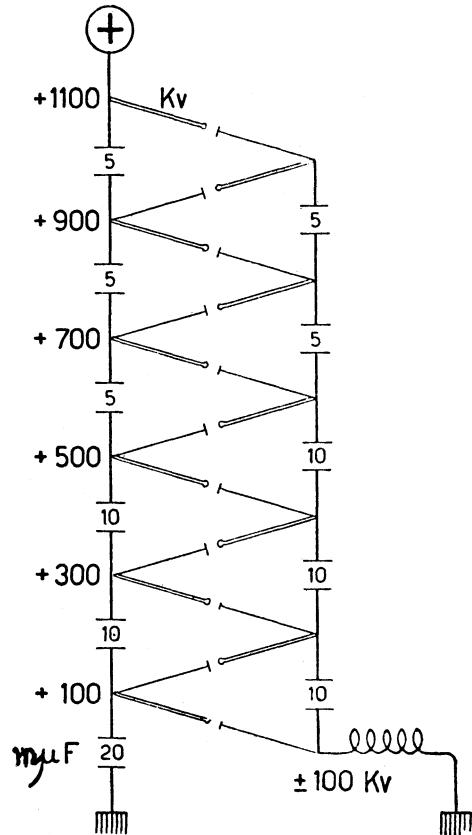


Fig. 2

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 raddrizzatrici che uniscono i vari piani dell'apparecchio; questi filamenti, come è ovvio, devono essere accesi con generatori che si trovano al potenziale del piano al quale è collegato il catodo della lampada.

La frequenza della corrente di alimentazione è stata scelta di 520 per/sec, in modo

^(*) E. Amaldi, D. Bocciairelli, F. Rasetti, G. C. Trabacchi, Ric. Scient.1939.

che, con capacità non eccessivamente grandi, si sono potute realizzare condizioni per le quali, con una erogazione di 1 milliampere, si può prevedere una fluttuazione della tensione non superiore a 0,3% e una depressione della tensione, rispetto a quella fornita senza carico, di 35 kilovolt per ogni miliampere di erogazione.

I vari elementi sono stati calcolati in base alle formule di Bouwers e Kuntke^(*) e le previsioni del calcolo si sono trovate soddisfacentemente realizzate.

Le valvole sono del tipo ordinariamente usato per gli impianti destinati alla alimentazione di ampolle per raggi X.

Il trasformatore di alimentazione 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.

La tensione applicata al primario viene generata da un gruppo convertitore di 15 kV e viene regolata, mediante un apposito tavolo di manovra, dalla cabina di comando dell'impianto, che si trova al piano inferiore, immediatamente sotto la base del tubo.

2) Il tubo acceleratore è costituito di undici elementi di vetro ed è stato costruito in modo da poter essere facilmente smontato, per mutare (ove occorra) la posizione e il numero degli elettrodi di acceleratori.

Gli elettrodi acceleratori sono costituiti 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 flange da tre gambi di lunghezza regolabile. In questo modo è possibile eseguire una perfetta centratura ed allineamento degli elettrodi.

L'elemento inferiore del tubo è posto su di una flangia fissata al pavimento alle quale è saldato, nella parte centrale, un tubo metallico di 150 mm di diametro. Alla base di questo

tubo, dove giungono gli ioni destinati al bombardamento della sostanza, è saldata una flangia alla quale vengono connesse le varie «code» contenenti le sostanze da bombardare. A un lato di questo tubo è saldato un altro grosso tubo comunicante con le pompe.

L'ultimo elemento superiore del tubo è chiuso da una flangia opportunamente forata nel centro; il catodo della sorgente, che passa in questo foro, penetra così nel primo cilindro.

3). La sorgente di ioni finora usata è del tipo a raggi canale (Oliphant) (fig. 3). Il

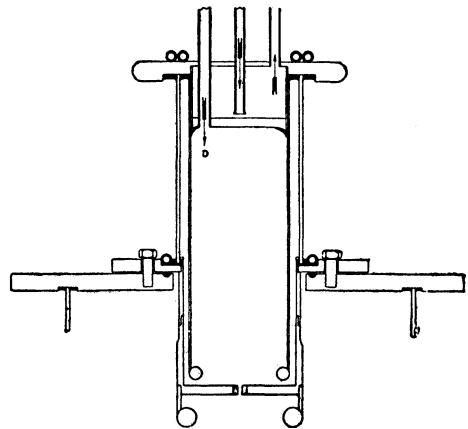


Fig. 3

foro del catodo è di 3 mm di diametro e di 7 mm di lunghezza. La sua alimentazione è fatta da un complesso generatore isolato da terra per 1.000 kV.

Una sorgente di questo genere permette di ottenere una corrente di ioni di 100 microampere; in essa viene dissipata una notevole quantità di energia (circa 500 watt) ed è pertanto necessario provvedere al suo raffreddamento.

3) La misura della tensione avviene per mezzo di una catena di resistenze di $3 \cdot 10^9$ Ohm immersa in olio da trasformatori, messa a terra attraverso un microamperometro situato sul tavolo di manovra della cabina di comando.

4) Il complesso per la produzione e la misura del vuoto nel tubo è collocato nella cabina di comando (fig. 4). Esso consta di due gruppi di pompe ad olio apiezon del tipo di Sloan capaci di tirare 100 litri/sec alla pres-

(*) A. Bowers, A. Kuntke, Zeit. f. Techn. Phys. 1937

sione di 10^{-5} mm di Hg. Nelle condizioni di regime per il funzionamento della sorgente, il vuoto raggiunto è di $8 \cdot 10^{-5}$ mm di Hg.

Nella stessa cabina di comando, infine, è

comunicazione il gazometro con la sorgente attraverso una valvola a spillo.

Un impianto di questo tipo può venire usato indifferentemente per accelerare particelle cari-

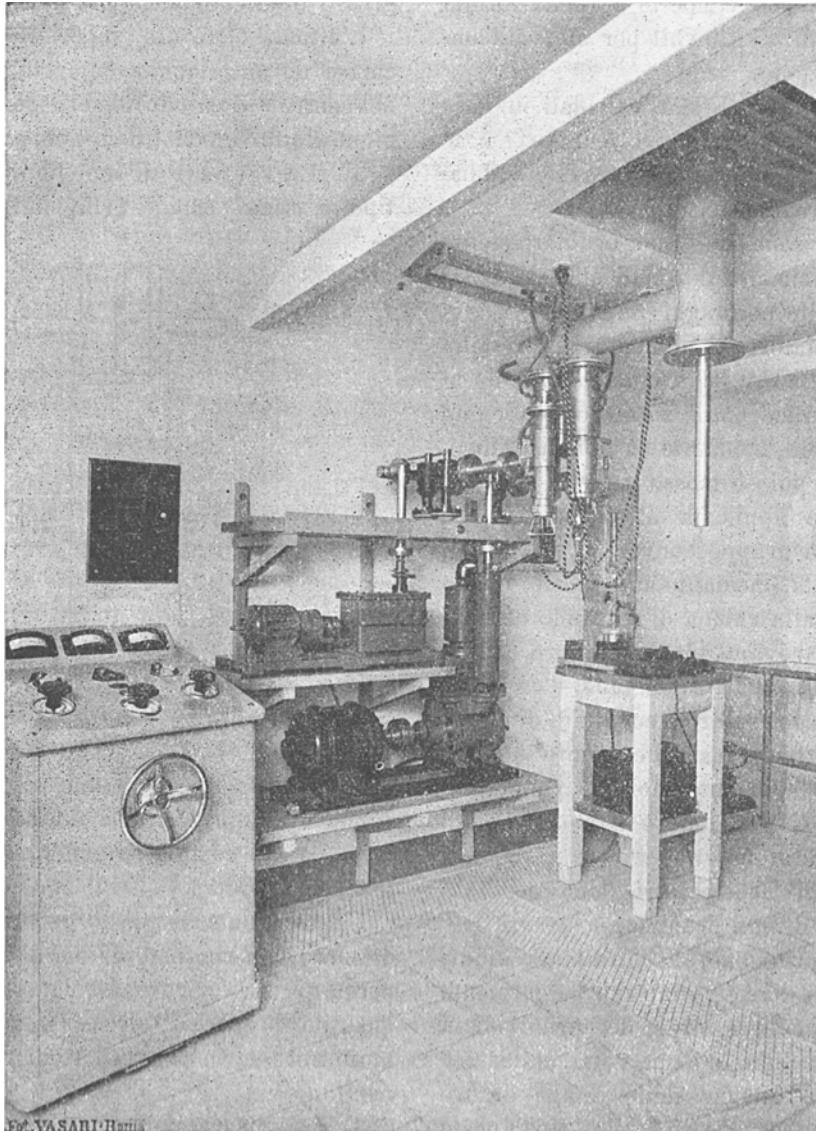


Fig. 4

posto un gazometro a mercurio, nel quale è conservato il deuterio, ottenuto per elettrolisi dell'acqua pesante. Il deuterio, dopo essere stato purificato per mezzo di palladio arrotolato, viene immesso nella sorgente attraverso ad un lungo tubo di vetro che mette in

che positivamente come i protoni o i deutoni, oppure particelle cariche negativamente, ossia elettroni.

Per passare dalla disposizione impiegata per le particelle positive a quella per le particelle negative, basta invertire tutte le undici

valvole raddrizzatrici in modo che l'estremità superiore del tubo si venga a trovare ad un potenziale negativo rispetto alla terra. È inoltre necessario sostituire la sorgente di ioni con un opportuno cannoncino di elettroni, il quale, per altro, è estremamente semplice.

Le ricerche che si possono fare con impianti di questo tipo, si possono schematicamente dividere in 5 gruppi:

1) produzione di raggi X di 1,1 M eV. Con il montaggio ora descritto per l'accelerazione degli elettroni e ponendo nella estremità inferiore del tubo un anticatodo costituito da un qualsiasi elemento pesante (per esempio oro) si può ottenere una assai intensa radiazione X di oltre 1 milione di volt, la quale può venire utilmente impiegata sia per ricerche fisiche che per ricerche biologiche.

2) produzione di raggi γ dell'ordine di 10 MeV. Con il montaggio destinato alla accelerazione di particelle positive, si può bombardare con protoni una targhetta di litio o fluoro le quali, danno luogo alla emissione di una radiazione γ molto penetrante. In queste condizioni infatti, il fluoro emette una riga γ di 6 MeV e il litio una riga γ di 17 MeV.

Tale emissione è relativamente debole tanto che, disponendo di una corrente di 100 microampere di protoni, si può avere una emissione di quanti γ da parte del litio pari a quella di 0,2 millicurie di radio. Per quanto non molto intensa, tale radiazione γ può essere usata assai utilmente per ricerche sull'effetto fotoelettrico nucleare.

3) produzione di neutroni. Come già si è detto al principio, bombardando con deutoni accelerati a mezzo di un simile impianto gli elementi *D, Li, Be, B, C*, è possibile produrre una intensa emissione neutronica. Lo spettro dei neutroni emessi è diverso a seconda dell'elemento bombardato: per esempio nel caso del deuterio i neutroni emessi sono monoenergetici di circa 3 MeV, mentre nel caso del litio il loro spettro ha una struttura a gruppi che si estende fino a 14,5 MeV.

Tali neutroni veloci possono venire impiegati sia per lo studio di numerosi processi

nucleari che per lo studio delle alterazioni biologiche che essi possono produrre nell'attraversare i tessuti di organismi viventi.

4) produzione di neutroni lenti. Circondando l'estremità inferiore del tubo con sostanze idrogenate, come per esempio acqua o paraffina, è possibile rallentare i neutroni emessi dagli elementi leggeri bombardati con deutoni; lo studio del comportamento dei neutroni lenti e della loro interazione con diversi nuclei, costituisce un capitolo estremamente interessante della fisica nucleare.

5) produzione di sostanze radioattive artificiali. Queste possono venire prodotte esponendo opportuni elementi all'azione sia dei neutroni veloci che dei neutroni lenti. Lo studio della radioattività artificiale, e in particolare degli spettri β, γ e X emessi dai corpi radioattivi, nonché lo studio delle transizioni isomeriche nucleari, costituisce un altro fondamentale capitolo della fisica nucleare.

Inoltre le sostanze radioattive artificiali possono venire impiegate: a) come indicatori nello studio dei processi biologici; b) come sorgenti di radiazioni utili per applicazioni terapeutiche. Dato che per queste applicazioni di natura biologica è necessario poter disporre di quantità relativamente elevate di corpi radioattivi, conviene ricorrere a quei processi che hanno il rendimento più elevato.

Pertanto non conviene, in generale, ricorrere all'azione dei neutroni veloci, dei quali, anche nelle migliori condizioni, viene utilizzata sempre una porzione piccolissima. Con i neutroni lenti, sciogliendo, con una opportuna concentrazione, le sostanze da attivare entro l'acqua impiegata per il rallentamento ed impiegando un volume di tale soluzione sufficientemente grande, si può riuscire ad utilizzare circa il 20 per cento dei neutroni emessi dal tubo; in tali condizioni, disponendo di una emissione di $10^9 - 10^{10}$ neutroni al secondo, ed irraggiando il corpo da attivare per un tempo abbastanza lungo, si può riuscire a produrre da 1 a 10 millicurie di sostanza radioattiva artificiale, ossia una quantità largamente sufficiente per gli scopi biologici predetti.

In conclusione, per quanto al giorno d'oggi si possano ormai costruire macchine acceleratrici capaci di fornire particelle di oltre 100 MeV, un impianto ad 1 milione di volt del tipo di quello sopra descritto è assai utile, in quanto

permette di svolgere della buona ricerca in campi assai svariati, senza per altro richiedere una eccessiva spesa di impianto o di esercizio.

EDOARDO AMALDI
ISTITUTO DI FISICA DELLA UNIVERSITÀ. ROMA.

7. PROBLEMAS PROPOSTOS

Do Ex.^{mo} Sr. *Lélé*, estimado assinante da Gazeta de Física, recebemos a seguinte carta que gostosamente publicamos:

Lisboa, 28 de Maio de 1947

Ex.^{mo} Sr.

Quando tive conhecimento de que na «Gazeta de Física» figurava uma secção de «Problemas propostos» senti um grande entusiasmo e disse de mim para mim: Sim senhor! Vamos ter uma revista ás direitas! E decidi logo assinar a revista, pensando nas deliciosas noites ocupadas a resolver interessantes problemas, cujo fim seria «manter e desenvolver o gosto pelos assuntos de Física».

Afinal... como é variável o conceito da Física em Portugal! Para V., um ascensor que parte do repouso, esferas abandonadas (coitadas!!!) ou ainda alimentação de fornos eléctricos constituem, pelos vistos, problemas cuja resolução, pode constituir um prazer espiritual. Para mim, para a *Zéquinhas*, e, provávelmente para a maioria dos leitores da «Gazeta de Física» não é, infelizmente, assim. (Plenamente de acôrdo com este *infelizmente...*)

Quanto ao problema 3M, muito gostaria de saber o que é que afligiu V.?

Em suma, na minha modesta opinião e sem de modo nenhum duvidar das boas intenções de V., parece-me que apenas o problema 1S corresponde às promessas feitas nas «Palavras prévias». Em todo o caso, seria interessante publicar esta carta na Gazeta de Física, pois talvez me engane e só seja acompanhado pela simpática(?) *Zéquinhas*. E por isso me subscrevo, etc.,
a) *Lélé*.

Como os nossos estimados leitores e colaboradores podem verificar *Lélé* só gostou do

problema 1S, por nós proposto, o único por nós proposto, o que sumamente nos regosija e envaidece. Mas creia o bom amigo *Lélé* que esta secção é aquilo que os leitores queiram que seja e espero receber mais notícias suas, desta vez construtivas, com soluções *certas ou erradas* como as da *simpática Zéquinhas* e com problemas que encham de gozo todos os leitores da secção incluindo, claro, a *Zéquinhas*.

3M — «Açor», que se nos dirige da ilha de S. Miguel, responde a este problema assim: O pedaço de madeira pesa tanto como 15 cm³ de água acrescido do peso do ar deslocado pela parte do exterior à água. Falta conhecer o volume dessa parte e os pesos específicos dos dois fluidos.

3S — A potência debitada num circuito de resistência X por um gerador de f. e. m. constante E e de resistência interior R é $P = E^2 X / (R + X)^2$.

Derivando P em ordem a X e anulando essa derivada obtém-se $P' = E^2 (R - X) / (R + X)^3 = 0$ donde $R = X$ valor para o qual a segunda derivada P'' é negativa. Então R é o valor pedido.

Solução de SILVA UVA

4M — Com o título «Problemas saídos em exames oficiais» encontrámos o seguinte, (que já não nos aflige ...) com a solução respectiva, num livro destinado a alunos do segundo ciclo

«Que força muscular se deve exercer sobre um peso de 2 quilogramas que se levanta verticalmente de baixo para cima com a aceleração de 0,4 m/s²?, R : 10⁵ dines.

4S — Uma bola de sabão contém a massa m de ar e está situada na atmosfera onde a pressão é H e a temperatura absoluta é 0° . Sendo T a tensão superficial do soluto de sabão àquela temperatura qual é o raio da referida bola de sabão?

Este problema é de «Larica»; com a devida vênica dedicamo-lo a *Lélé* que se penaliza com o abandono de esferas em planos inclinados, preferindo-as electrizadas, como em 1S. Pois quero crer que as aprecie ensaboadas: «Está bem ou não está?»

AMARO MONTEIRO