

20. Giulio Cesare TRABACCHI – L'energia del nucleo atomico e la sua utilizzazione (*).

Quando intorno ad Enrico Fermi si formò quella scuola di Fisica nucleare, i cui clamorosi successi culminarono nel '38 con il conferimento del premio Nobel per la Fisica al nostro illustre scienziato, colui che si occupava di procurare i mezzi perchè il lavoro sperimentale potesse svolgersi senza troppe difficoltà era il compianto professore Orso Mario Corbino. Egli per primo aveva scoperto nel giovanissimo Fermi il lampo del genio, e, finchè visse, fu il suo consigliere e sostenitore.

Scomparso il Corbino io che avevo la fortuna di trovarmi in un Istituto, che per la illuminata direzione di Domenico Marotta, dispone di ricchi mezzi di studio, proposi di offrire la più ampia ospitalità nel laboratorio di fisica ai colleghi dell'Università. La mia proposta fu accolta, e si venne così a realizzare una perfetta collaborazione, che ha permesso di pubblicare, in questi ultimi anni, importanti lavori di Fisica nucleare di Mario Ageno, Edoardo Amaldi, Daria Bocciarelli, N. B. Cacciapuoti, Bruno Ferretti, Franco Rasetti e G. C. Trabacchi.

E' forse per questa ragione che la presidenza della Associazione Elettrotecnica Italiana ha pensato di rivolgersi a me perchè vi mettessi al corrente delle attuali cognizioni che permettono di rendersi conto di come si possano ottenere, dalla disintegrazione dei nuclei atomici, enormi quantità di energia.

Entrerò subito in argomento, cominciando dalle nozioni fondamentali, che cercherò di esporvi nella forma più facilmente accessibile a persone che, pur essendo colte, non hanno mai avuto occasione di occuparsi di questo genere di studi.

La infinita varietà sotto la quale ci si presenta la materia che ci circonda risulta costituita dall'associazione di un numero limitato di corpi semplici o elementi: in realtà, 92; in pratica, non più di 60 perchè molti sono assai rari.

Ogni elemento è costituito da atomi tutti eguali fra loro; esaminando la costituzione di questi atomi, si trova che le cose si sem-

(*) Conferenza tenuta il 9 ottobre 1945.

plificano ancora, con monotona uniformità. Dalla osservazione di tutti i fenomeni noti, si è stati infatti condotti ad ammettere che gli atomi di tutti i corpi hanno i medesimi componenti; le differenti proprietà fisiche e chimiche delle varie sostanze sono unicamente dovute a differenze quantitative nella composizione dei loro atomi. Qualsiasi atomo risulta costituito da un nucleo, avente una certa massa e una certa carica positiva, attorno al quale si muovono, come pianeti intorno al sole, tanti elettroni (cioè corpuscoli aventi carica elettrica elementare negativa), quante sono le unità che costituiscono la carica positiva del nucleo; cosicchè, neutralizzandosi le due cariche opposte ed eguali, l'atomo, nel suo complesso, risulta neutro.

L'atomo più semplice è quello dell'idrogeno, costituito da un nucleo avente una certa massa e una carica positiva eguale, in valore assoluto, alla carica di un elettrone; intorno al nucleo si muove un solo elettrone. Il nucleo dell'idrogeno si chiama *protone*: questo, insieme con corpuscoli aventi la sua stessa massa, ma privi di qualsiasi carica — i *neutroni* — costituisce i nuclei di tutti gli altri elementi.

Dopo l'idrogeno, l'atomo più semplice è quello di elio, il cui nucleo è costituito da due protoni e due neutroni: la sua carica sarà *due* e quindi due saranno gli elettroni che gli girano attorno.

Si chiama *numero atomico* il numero di protoni — e quindi di elettroni — che si trovano nell'atomo; perciò questo numero sarà *uno* per l'idrogeno, *due* per l'elio, e così di seguito.

L'atomo più complesso è quello dell'uranio, che ha numero atomico 92, e quindi 92 protoni nel nucleo, e 92 elettroni che costituiscono il suo complicato sistema planetario.

Il peso di un atomo è praticamente tutto nel suo nucleo, perchè gli elettroni sono assai leggeri (circa 1/2000 del protone); quindi, se un atomo di uranio pesa 235, vuol dire che, oltre ai 92 protoni, si trovano nel suo nucleo 143 neutroni (il numero dei neutroni contenuti in un atomo è quindi sempre la differenza fra il peso atomico ed il numero atomico).

Vi mostro qui una tabella (fig. 1) dove gli elementi sono ordinati in modo che quelli di una stessa colonna hanno tutte le stesse proprietà chimiche: come potete constatare ogni elemento ha un numero progressivo: ebbene quel numero non è soltanto un numero d'ordine,

esso è il *numero atomico* del quale vi ho detto poco fa il significato. Questo numero noi lo determiniamo con mezzi fisici e qui lo troviamo strettamente legato alle proprietà chimiche dell'elemento.

La presenza di qualche neutrone in più o in meno in un nucleo non cambia le proprietà chimiche dell'elemento a cui il nucleo appartiene; quindi, per ciascun valore del numero atomico, vi pos-

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
	1H 1.00017 2.0007 3.0070							
2He 4.0004	3Li 6.00117 7.0042	4Be 8.0030	5B 10.0042 11.0029	6C 12.0038 13.0075 14.0075 15.0046	7N 16. 17.0043 18.0043	8O 16. 17.0043 18.0043	9F 19.0043	
10Ne 20.9987 20.9984 21.9987	11Na 22.9976	12Mg 24.9944 24.9939 25.9913	13Al 26.9917	14Si 27.9844 28.9863 29.9854	15P 30.9840	16S 31.9827 32.9800	17Cl 34.9809 36.9805	
18A 35.997 35.9966 35.9955	19K 39.4041	20Ca 40.42, 43	21Sc 45	22Ti 46.47, 48. 49.50	23V 51 32.98 33.98 78.934	24Cr 50.51648. 53.54 74.96, 77. 77.937, 78.941, 82	25Mn 55 35.98 37.98 80.926	26Fe 56.985 57.98 58.982 59.982
36Kr 77.996 79.996 81.927 82.927 83.928. 83.929	37Rb 85.87	38Sr 84.9802 84.9827, 86 87, 105	39Y 89	40Zr 90.9192. 94.96	41Nb 93 51.98 51.98 97.97, 945. 121.123	42Mo 92.949596 97.97, 945. 99.945 120.121.23.124 125.125.937, 127.938.130	43 44.9899 101 100.101. 103 127	45Ru 102.104 46Pd 102.104 108.10
54Xe 124.124, 126. 126.126, 128. 128.128, 131.132 131.132, 136	55Cs 133	56Ba 130.132, 134.135, 136.137, 137.916	Terre rare					
				72Hf 177.178. 179.180	73Ta 181. 203.205	74W 182.183. 184.185. 204.205. 207.208	75Re 183. 186.187. 188.189. 189.190. 195	76Os 186.187. 188.189. 189.190. 191 77Ir 191 78Pt 192.194. 193 195.196. 198
86Rn	87	88Ra	89Ac	90Tb 232.070	91Ux	92U 235.064, 236.068		
Terre rare								
57La 139	58Ce 140.142	59Pr 141	60Nd 142.143.144.145. 146.148.150	61	62Sm 144.147.148.149. 151.152. 150.152.154.	63Eu 155.156.157. 158.160	65Tb 159	66Dy 161.162. 163.164.
								67Ho 165
								68Er 166.167. 168.169. 170.170
								69Tm 169
								70Yb 171.172.173. 174.176
								71Lu 175

Fig. I.

sono essere vari elementi che differiscono di peso atomico. Così, ad es., quando si dice *piombo*, si intende una famiglia di elementi, aventi tutti lo stesso numero 82 ma con differente numero di neutroni nel nucleo, per cui pesano 204, 206, 207, 208, ma hanno tutte le stesse proprietà chimiche.

I componenti di queste famiglie che il fisico sa separare in vari modi, come ad es., con un apparecchio che si chiama spettrografo di massa, si chiamano *isotopi*. Essi sono elementi diversi per il fisico, che studia le proprietà dei nuclei, ma sono indistinguibili nel campo dei comuni fenomeni chimici.

Risulta da quanto abbiamo detto finora che tutta la materia è costituita da aggregazioni diverse di *protoni*, *neutroni* ed *elettroni*.

A questo punto viene in mente a tutti di ripensare al sogno degli alchimisti e qualcuno potrebbe ritenere che quei primitivi studiosi avessero potuto veder chiaro in questi argomenti. Ora, io credo che il pensiero degli alchimisti, in confronto con le teorie moderne sulla costituzione della materia, debba essere valutato alla stessa stregua del pensiero degli antichi romani sulle cause delle malattie in confronto a quello che si sa ora sulla esistenza dei batteri. Per es. Terenzio Varrone Atacino scrive: « Sunt animalia quaedam minuscula quae per aere intus in corpus per os ac nares perveniunt, atque efficiunt difficiles morbos ». Nessun biologo moderno potrà asserire che in queste parole vi sia la divinazione della concezione moderna del mondo microbiologico!

Tornando ai nostri atomi, la prima domanda che ci viene naturale è quanto sia grande un atomo. Se io vi dico che il diametro di un atomo è di 10^{-8} cm., e anche se scrivo 0,0000001, è assai difficile che vi rendiate conto di questa grandezza. Vediamo perciò di esprimerci in modo più chiaro. Supponendo di poter mettere in fila, l'uno vicino all'altro, un milione di atomi, essi costituirebbero una catena lunga quanto lo spessore di un cappello.

« E i nuclei — chiederà qualcuno — come sono grossi? ».

Corbino soleva ripetere questo esempio: se prendete un piccolo pallino da caccia e lo supponete ingrandito come il globo terrestre, gli atomi di piombo che lo costituiscono diventeranno grossi come palle da biliardo e... i nuclei come piccoli granelli di sabbia, appena visibili. Come vedete, l'atomo è piccolo, ma la sua parte pesante è assai più piccola, cosicchè i nuclei stanno assai lontani fra loro, essendo il loro diametro la decimillesima parte del diametro degli atomi. Per farvi un'idea più chiara di ciò, pensate che, mentre un centimetro cubo di atomi d'oro, cioè press'a poco la quantità che occorre per fare un grosso anello, pesa 19 grammi, se tutto lo spazio dove si muovono gli elettroni fosse occupato da nuclei d'oro, il peso di quel centimetro cubo (cioè di quell'anello) sarebbe di 19 milioni di tonnellate.

Vediamo ora di farci un'idea di quanto può pesare un atomo di idrogeno. Al solito, i numeri tanto piccoli parlano poco chiaro alla nostra mente, e quindi ha poco senso che vi dica che un atomo di idrogeno pesa gr. $1,6 \times 10^{-24}$, ovvero gr. zero virgola 23 zeri 16; ci vuole un esempio: supponiamo che io potessi prendere atomi di

idrogeno a un miliardo per volta, e che ne mettessi ad ogni secondo un gruppetto sulla bilancia. Continuando giorno e notte l'operazione, per mettercene un grammo, dovrei lavorare continuamente 30 milioni di anni.

Detto così alla buona della grandezza e del peso degli atomi e dei loro componenti, giacchè quello che ho detto per l'atomo di idrogeno si può ugualmente ripetere per il protone, la cui massa è praticamente uguale, vediamo come si svolge la vita degli atomi.

Gli atomi di peso inferiore a 209 e di numero atomico inferiore a 88 — cioè i corpi che hanno meno di 83 protoni nel nucleo e 83 elettroni periferici — sono, salvo rare eccezioni, in condizioni di completa stabilità; mentre quelli corrispondenti ai dieci numeri superiori, da 83 fino a 92, presentano quasi tutti una irrequietezza nei loro nuclei, dando origine a quei fenomeni che noi chiamiamo di radioattività naturale. Questi si manifestano con trasmutazioni dovute ad una alterazione della compagine nucleare, con conseguente emissione di una o più delle particelle che la compongono; si forma così un elemento diverso.

Per non complicare le idee, prendiamo un esempio: l'elemento 88 è il radio. Se noi ne consideriamo un frammento e, con mezzi adeguati, osserviamo quel che accade degli atomi che lo compongono, vediamo che ogni tanto uno di essi lancia dall'interno del suo nucleo una particella, costituita da due protoni e due neutroni; e la lancia con tale energia che, malgrado la sua massa, essa, come un proiettile, può percorrere in seno all'aria qualche centimetro. Noi sappiamo costruire apparecchi che permettono di contare questi proiettili, misurarne la gittata e valutarne la forza viva. Essa corrisponde, nel caso da noi citato, a oltre quattro milioni di voltelettroni, essendo il voltelettrone la quantità di energia che possiede un elettrone accelerato dalla differenza di potenziale di un volt.

Questa rilevante quantità di energia trae origine dalla scomparsa di una piccola quantità di materia. La materia può trasformarsi in energia nel rapporto di un grammo a 25 milioni di kwh. Quindi si capisce come, dato l'elevato tasso di cambio tra materia ed energia, basti la scomparsa di una piccola quantità di materia per giustificare l'emissione, da parte dell'atomo, di particelle dotate di energia enorme.

Torniamo al caso del radio. Che cosa accade a quell'atomo di radio dopo che ha perduto quel corpuscolo, che noi chiamiamo « particella α »? Esso non pesa più 226, perchè ha perduto un peso 4, nè ha più il numero atomico 88, perchè ha perduto due cariche: esso è perciò diventato un altro elemento, con proprietà fisiche e chimiche diverse (peso atomico 222 e numero atomico 86). E infatti l'insieme degli atomi che hanno subito questa sorte costituisce un gas, che noi possiamo separare dal radio e che viene chiamato *emanazione*. Con analogo processo, l'emanazione dà luogo al radio A, e così di seguito, con successive trasmutazioni, si arriva fino all'atomo di piombo, che è stabile. Durante la trasformazione di un atomo di radio in un atomo di piombo, vengono emesse sei particelle alfa con una energia complessiva che ammonta a circa 35 milioni di voltelettroni. Cosicchè, se si fa il calcolo per tanti atomi da formare un grammo, si ha un'energia che, espressa in unità a voi più familiari, risulta di 3500 kwh. Questi calcoli si possono controllare sperimentalmente, in modo abbastanza semplice.

Se si mette un grammo di radio in un calorimetro, si trova che esso sviluppa 140 piccole calorie per ogni ora; moltiplicando 140 per 24, per 365, per 2300 (vita media dell'atomo del radio), si può calcolare il calore svolto nella trasformazione di un grammo di radio in piombo. Si trovano così 3 milioni di grandi calorie, che corrispondono ai 3500 kwh. ottenuti calcolando l'energia delle particelle α . In questo calcolo non si considera l'energia che compete alle altre radiazioni emesse e cioè ai raggi β e γ , perchè trascurabile rispetto a quella dei raggi α .

Come si è visto, l'energia messa in gioco è assai grande, poichè, per ottenere 3500 kwh, si deve pensare che un gruppo termico consuma tre tonnellate e mezzo di carbone, ammesso che bruciando 1 kg. di carbone si ottenga un kwh. Ciò, però, nel caso del radio, avviene in un periodo di tempo di quasi due mila anni. Se volessimo avere la stessa energia in più breve tempo, sarebbe necessario che il radio — o un'altra sostanza radioattiva — accelerasse i processi di disintegrazione.

Per ora non si conosce alcun metodo per alterare comunque l'andamento dei fenomeni radioattivi; perciò l'aumento di *potenza* di questa macchina a combustibile nucleare non si può ottenere che servendosi di una gran massa di sostanza radioattiva. Si calcola che

una sfera di radio, avente un metro di raggio, irradia permanentemente 3500 kw. Con l'impiego di questa enorme massa di radio si otterrebbe in un'ora l'energia di cui prima si parlava e che è emessa da un grammo di radio nel trasformarsi in piombo. Non è difficile rendersi conto della inattuabilità di un tale progetto.

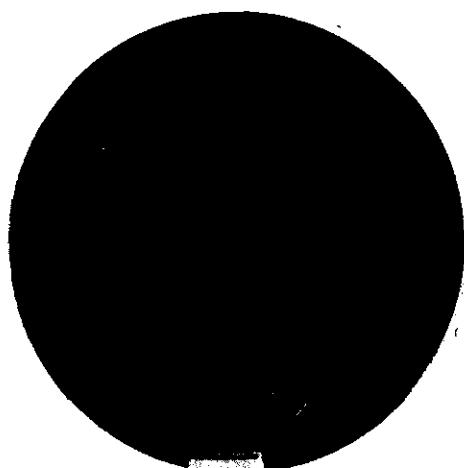


Fig. 2.

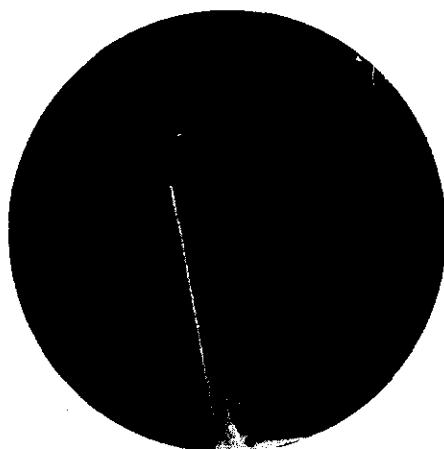


Fig. 3.

Io vi ho detto prima che con i nostri apparecchi noi possiamo misurare tutto quello che ci interessa nei riguardi del mondo atomico: possiamo inoltre determinare, in un ambiente detto camera a nebbia, ideato dal fisico inglese Wilson, particolari condizioni per cui il passaggio delle particelle che io vi ho finora nominato può essere rivelato da un filo di nebbia che si forma sul loro cammino. Queste tracce sono visibili, e quindi fotografabili.

Ecco, ad esempio, la fotografia di tracce di particelle alfa, emesse da un preparato di polonio (fig. 2).

Queste (fig. 3) sono particelle alfa del torio, che essendo dotate di maggiore energia, hanno un percorso maggiore; qui (fig. 4)



Fig. 4.

potete vedere tracce di elettroni dette raggi beta, che sono tortuose perchè gli elettroni, che sono leggerissimi, cambiano continuamente direzione, urtando gli atomi del gas in cui si muovono. Queste (fig. 5) sono tracce di protoni, cioè nuclei di idrogeno.

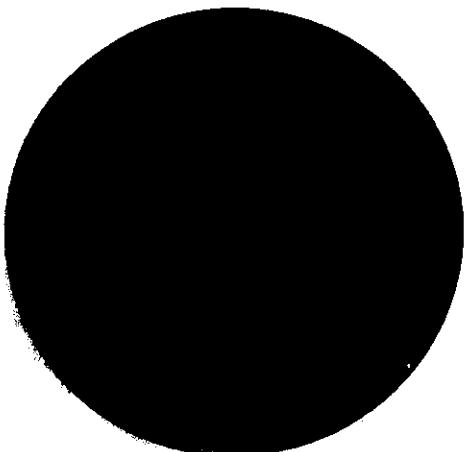


Fig. 5.

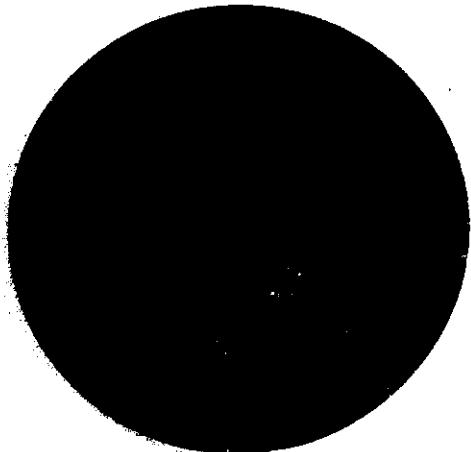


Fig. 6.

Queste, infine (fig. 6), sono tracce di raggi beta, che sotto l'azione di un campo magnetico risultano incurvate.

Dalla curvatura noi determiniamo la loro energia, perchè tanto più essa è grande e tanto minore è l'azione del campo magnetico su di esse.

Dopo tanti anni dedicati allo studio dei complessi fenomeni della radioattività naturale gli scienziati hanno cercato di provare fenomeni dello stesso genere in quella pacifica categoria di atomi di basso peso atomico che, per conto loro, rimanevano stabili.

Il primo che ebbe successo fu Lord Rutherford, fisico neozealandese, che a Cambridge ottenne la disintegrazione di nuclei stabili bombardandoli con particelle alfa, cioè con corpuscoli che, come già si è detto, hanno una massa 4 e una carica + 2, e che perciò sono identici ai nuclei di elio. Queste particelle, che vengono spontaneamente emesse dalle sostanze radioattive naturali, sono di facile uso, ma di scarso rendimento; perchè, avendo una carica positiva, quando si dirigono verso un nucleo, specialmente

se questo è di peso elevato — e quindi ha una carica forte — ne vengono respinte, e solo in casi eccezionali possono investirlo, dando così luogo ad un cataclisma, dal quale il nucleo può venir trasformato in un nucleo diverso.

Per rendere più probabile il verificarsi del fenomeno si pensò di aumentare il numero dei proiettili usando nuclei di idrogeno o di deuterio, i quali, avendo anch'essi una carica positiva, possono essere accelerati con un campo elettrico ed acquistare così una energia anche superiore a quella delle particelle naturali; sebbene la loro carica, pur essendo metà di quella delle particelle alfa, rappresenti sempre un ostacolo, aumentando il numero e l'energia dei proiettili (il volume di fuoco, direbbe un artigliere) cresce il numero di bersagli colpiti. Infatti, con questo metodo, Cockcroft e Walton nel 1932 ottennero importanti reazioni nucleari, confermando con vari esempi la possibilità che un nucleo colpito si spezzi e lanci i suoi frammenti con una energia che può essere anche enormemente superiore a quella arrecata dal proiettile.

Fu a questo punto nella storia della fisica nucleare che nacque la speranza di poter utilizzare l'energia proveniente dalla disintegrazione dei nuclei atomici.

Intanto a Parigi i coniugi Joliot-Curie avevano scoperto che qualche volta alcuni nuclei colpiti da particelle alfa non scoppiano subito, ma fanno come le sostanze radioattive naturali, e cioè esplosi dono spontaneamente di tempo in tempo.

Al fenomeno fu dato il nome di radioattività artificiale.

Enrico Fermi ebbe per primo l'idea di usare come proiettile per bombardare i nuclei stabili il neutrone, che, come ricordato, ha la massa uguale a quella del protone, ma non ha carica elettrica. Per questa ragione, quando esso è diretto verso un nucleo, non è soggetto a nessuna forza elettrica che gli possa impedire di avvicinarsi al nucleo stesso.

Fermi e i suoi collaboratori scoprirono poco dopo che, se i neutroni si fanno muovere in un corpo ricco di idrogeno, come l'acqua o la paraffina, o comunque in un corpo leggero, si ottiene un rallentamento nel loro moto, cosicchè cresce enormemente la probabilità che un neutrone incontri un nucleo con cui possa reagire.

Le due scoperte hanno permesso di trasformare quasi tutti i corpi conosciuti in altri, che per un tempo più o meno lungo sono radioattivi e si disintegrano, erogando energie di origine nucleare assai maggiori di quelle spese per attivarli.

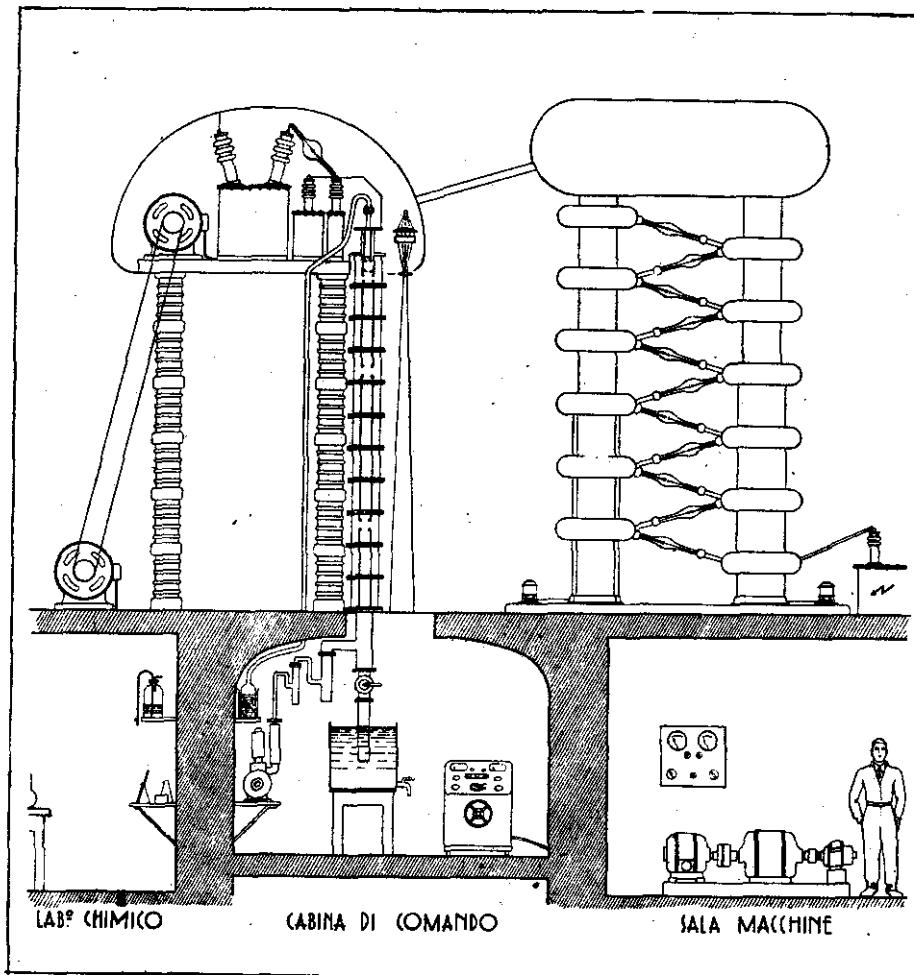


Fig. 7.

Le sorgenti di neutroni usate da Fermi erano preparate da me sotto forma di piccole ampolle piene di polvere di berillio, nelle quali introducevo l'emanazione, estratta settimanalmente da una soluzione contenente oltre un grammo di radio-elemento. Solo dopo la partenza di Fermi abbiamo potuto costruire un tubo a neutroni alimentato con una tensione di oltre un milione di volt (fig. 7). Per

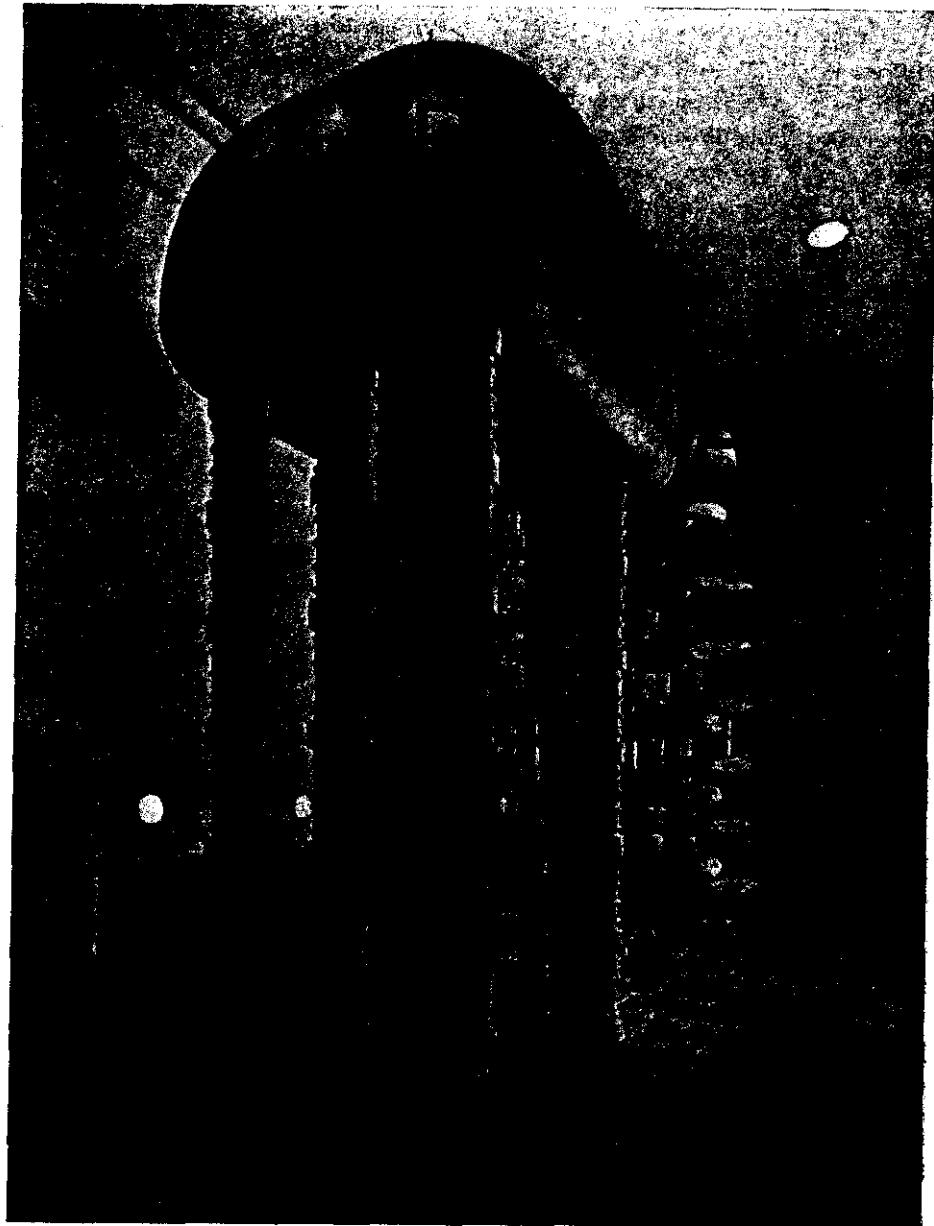


Fig. 8.

darvi un'idea di uno di questi impianti, vi proietto alcune fotografie di quello da noi costruito e che ha sede nell'Istituto Superiore di Sanità.

Qui (fig. 8) potete vedere il salone che contiene il generatore che dà tensione al tubo acceleratore. Nella parte superiore di questo si trova — B — la sorgente di ioni ottenuti mediante una corrente generata localmente e che passa attraverso a deuterio rarefatto. Accelerati dal campo elettrico, i deutoni percorrono tutto il tubo, focalizzati da opportune lenti elettriche, in modo da arrivare in un sottile fascio al piano sottostante, dove, in una cabina di comando, si trova la estremità inferiore del tubo (fig. 9). Qui è collocata la targhetta che riceve il bombardamento dei deutoni; la targhetta è di un elemento leggero, per es. litio o berillio. Dal bombardamento vengono strappati dai nuclei dove sono annidati, dei neutroni, che vengono espulsi con energie spesso assai superiori a quelle possedute dai deutoni incidenti.

Ad es., bombardando il litio con deutoni di 1 milione di voltelettroni, si ottengono neutroni con energia fino a 15 milioni di voltelettroni.

Data la grande energia di questi neutroni ed il gran numero che se ne ottiene (nel nostro tubo se ne ottengono tanti quanti se ne avrebbero mescolando con berillio circa 1/4 di kg. di radio elemento), si capisce che gli effetti ottenuti sono assai più cospicui di quelli che si ottenevano con le primitive sorgenti.

Purtroppo, però, se questi risultati permettevano di fare ricerche assai interessanti, ci lasciavano ancora nelle condizioni in cui eravamo quando Corbino, parlando ai Lincei nel '34 della probabile utilizzazione dell'energia nucleare, diceva :

« I limiti in cui il fenomeno è circoscritto sono troppo modesti perchè si possa vedere prossimo il sorgere di ciò che poteva ben qualificarsi come una nuova Era per l'Umanità ».

« Ma forse non invano la Provvidenza ha imposto tali limitazioni. L'uomo non appare ancora degno di avere in suo dominio sorgenti così formidabili di potenza e di distruzione: il progresso scientifico gliene ha fornito già troppe, forse al di là di quanto era compatibile col progresso morale raggiunto ».

Fin d'allora, però, era maturo per essere scoperto quel fenomeno che ha condotto in questi tempi alla bomba nucleare.

Fermi aveva osservato nel '34 che, bombardando l'uranio con neutroni lenti, si ottenevano, come prodotti della reazione, degli elementi dei quali gli riuscì allora assai difficile l'identificazione.

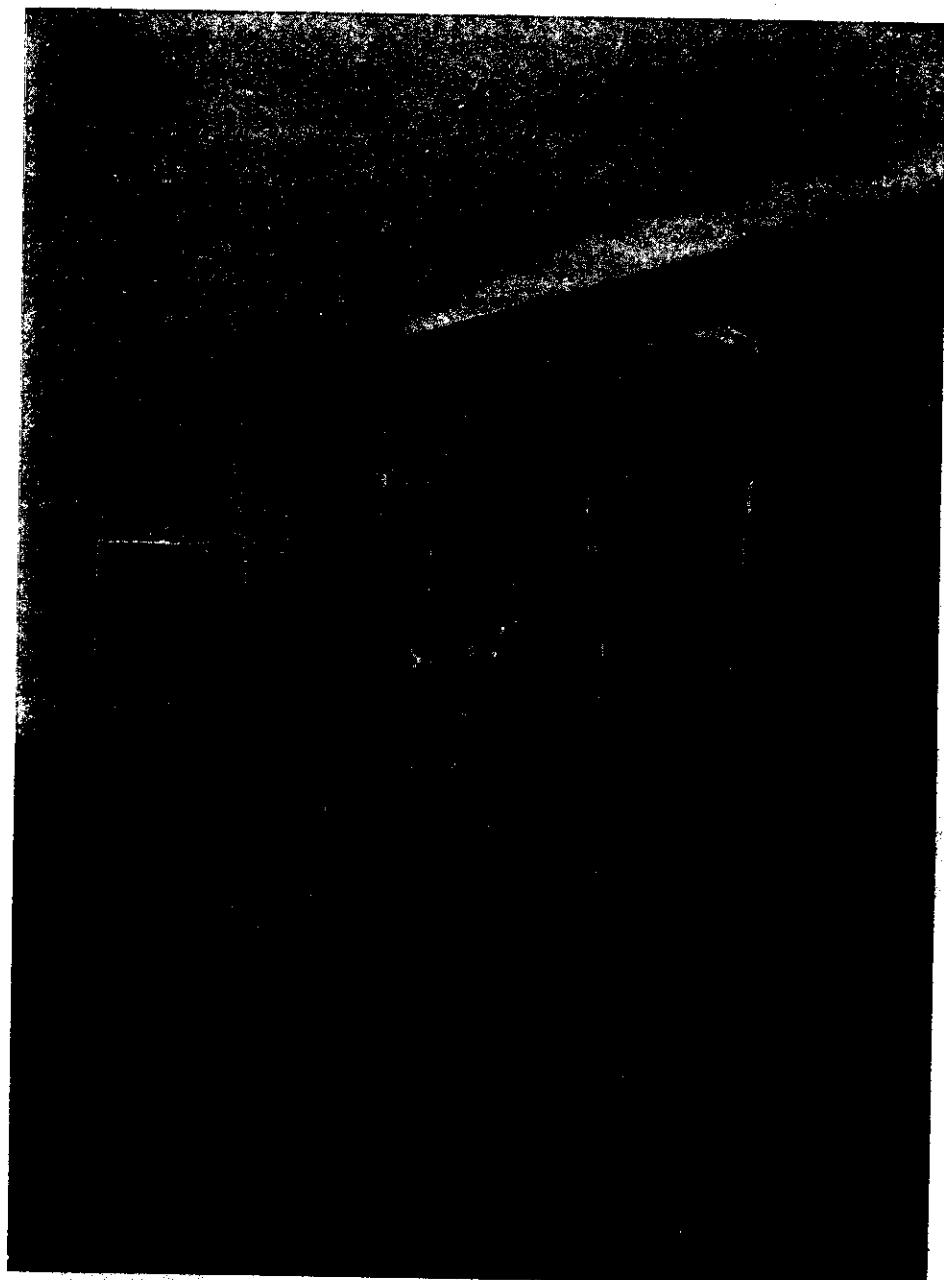


Fig. 9.

Si credette però autorizzato ad asserire che tra essi si trovassero elementi transuranici e precisamente il 93 ed il 94.

Otto Hahn e Lise Meitner, ricercatori di fama mondiale, si dedicarono con grande impegno allo studio di questi fenomeni e confermarono nel '35 i risultati di Fermi, mettendo in evidenza la complessità delle trasmutazioni. cui dà luogo il bombardamento dell'urano con neutroni lenti.

Nel 1939 Hahn e Strassmann misero in chiaro che uno degli isotopi dell'urano (il 235) colpito da un neutrone lento lo assorbe, trasformandosi in un elemento instabile (il 236), il quale si scinde in due frammenti all'incirca eguali; emettendo a sua volta uno o due neutroni capaci di provocare la scissione di altri atomi.

Ognuno vede che si può determinare in tal modo un processo a catena, il quale non può arrestarsi altro che se i neutroni emessi nella scissione di un atomo sono posti in condizione di non provo-carne delle altre.

Nella scissione di un atomo di uranio 235, si libera una energia di circa 200 milioni di voltelettroni, e, se si fa il conto per la scissione di un grammo si trova che la produzione di energia è di circa 20.000 kwh.

In tutto il mondo i competenti si sono subito resi conto che questo fenomeno, pur essendo della stessa natura degli altri fenomeni di radioattività artificiale, si differenziava da essi per il fatto che non appariva impossibile regolarlo entro certi limiti.

Al contrario degli altri fenomeni, nei quali lo sprigionarsi dell'energia nucleare avviene, per i nostri bisogni, con troppa len-tezza e in proporzioni troppo piccole, in questo caso, se non usiamo speciali accorgimenti, ci troviamo sgomentati dalla tendenza alla troppo rapida e troppo grande produzione di energia.

Vediamo come si può pensare di regolare il fenomeno: se noi lo provochiamo in una quantità assai piccola di uranio, esso si estingue dopo poche scissioni. Se aumentiamo la materia, sarà più vasto; se facciamo una massa di uranio 235 così grossa che non vi sia probabilità che vadano dispersi troppi dei neutroni prodotti dalle scissioni, in pochi millesimi di secondo gli atomi di tutta la massa si scinderanno, estrinsecando quantità enormi di energia.

Un kg. di uranio darà circa 20 milioni di kwh; se questa enor-me quantità di energia si libera in pochi milionesimi di secondo

è facile calcolare la strabiliante potenza messa in gioco. Pare che i fisici americani abbiano ulteriormente chiarito il meccanismo del complesso fenomeno della scissione dell'uranio e che ne abbiano tratto immediato vantaggio per gli scopi che si prefiggevano.

Avrebbero accertato quanto era stato asserito fin dal 1940, e che cioè i neutroni originati dalla scissione del 235 possono trasformare una parte dell'uranio 238 in un elemento assai instabile che disintegrandosi si trasforma nell'elemento 93 che hanno chiamato nettunio; questo elemento ha breve vita e si disintegra originando il 94 al quale è stato dato il nome di plutonio.

Il plutonio pare sia piuttosto stabile ed' abbia la proprietà di scindersi, come l'uranio 235, se bombardato con neutroni lenti; ma da quanto ho detto, risulta che si tratta di un elemento chimicamente diverso dall'uranio.

Vediamo come pare che abbiano fatto per prepararlo su larga scala.

Se si fa una catasta di conveniente forma e grandezza, con blocchi di uranio, appena grossolanamente depurato, commisto ad una sostanza che rallenti i neutroni, per es. grafite, quando la catasta ha raggiunto sufficienti dimensioni, cominciano ad inscarsi nella massa processi a catena che interessano il 235 e trasformano in plutonio parte del 238; poichè il 235 pare che si scinda con maggiore facilità del plutonio; la massa va man mano arricchendosi di quest'ultimo.

La reazione deve essere accuratamente sorvegliata perchè non assuma troppa violenza; l'energia che se ne svolge è certo assai grande; pare, infatti, che l'acqua del fiume Columbia, impiegata per raffreddare le cataste, si riscaldi notevolmente durante l'operazione. Quando si vuole arrestare la reazione, basta allontanare fra loro i blocchi di uranio.

La massa, per quanto si è detto, conterrà una notevole quantità di plutonio, il quale, essendo un elemento chimicamente diverso dall'uranio e sufficientemente stabile per dare tempo di eseguire i necessari trattamenti, può essere isolato con mezzi chimici in modo assai più facile di quello che non sia la separazione di due isotopi.

Cerchiamo ora di renderci conto almeno approssimativamente del modo con cui può essere stata preparata la bomba. Ci sono

naturalmente molte cose su questo argomento che sono tenute segrete e quindi è solo un'ipotesi quella che noi possiamo fare.

Per prima cosa devono essersi procurato l'uranio. In natura se ne trova in molti paesi. In Italia c'è un giacimento di autunite a Lurisia, presso Mondovì; ce n'è in Francia, in Portogallo, in Svezia, in Norvegia, nel Madagascar, nel Congo Belga, in Boemia e soprattutto nell'America del Nord.

In generale si ricavano 15 grammi di uranio da 1 kg. di minerale puro di uranio, ma di questi 15 grammi solo 100 milligrammi sono di uranio 235.

A parte la difficoltà della preparazione, vi ho già detto che l'uranio 235 ed il plutonio sono equivalenti.

La separazione degli isotopi è un processo difficile, lento e costoso, e quindi non deve essere stato agevole preparare per questa via ingenti quantità di uranio 235. Per il plutonio la preparazione pare, come vi ho già spiegato, più agevole, sebbene più pericolosa.

Pare che siano stati realizzati due tipi di bombe: nel primo vengono impiegati neutroni lenti, che, agendo all'uranio 235 mescolato ad una sostanza che li rallenta, possono dar luogo all'esplosione solo da una limitata quantità di uranio, mentre gran parte di esso viene disperso dall'inizio dell'esplosione prima che vi possa prendere parte; nel secondo tipo l'uranio 235 od il plutonio sono innescati con neutroni veloci, i quali raggiungono tutta la massa in un tempo così breve che essa può esplodere quasi tutta.

La sicurezza che la bomba esploda solo quando occorre è forse ottenuta nel primo caso con la interposizione di lastre di cadmio fra strati di uranio o di plutonio coperti di paraffina destinata a rallentare i neutroni. Quando il cadmio che arresta i neutroni lenti viene allontanato, una sorgente di neutroni fatta con emanazione mista a polvere di berillio, provocherà l'esplosione.

Nel caso di impiego di neutroni veloci, la massa di uranio 235 o di plutonio impiegato potrà essere assai maggiore, e la sicurezza si otterrà frazionando l'esplosivo in pezzi di grandezza conveniente, che verranno riuniti solo al momento opportuno, esponendoli contemporaneamente all'azione della solita sorgente di neutroni.

E' accertato che quantità di uranio 235 o di plutonio di peso inferiore a mezzo chilogrammo non possono esplodere se sono

tenute anche a pochi centimetri di distanza fra loro. Supponiamo allora, per es., che in dieci serbatoi separati siano contenuti 5 chilogrammi di esplosivo in polvere; se noi li facciamo cadere bruscamente in un recipiente che già contiene la sorgente di neutroni veloci, saranno immediatamente realizzate le condizioni necessarie perchè tutta la massa si disintegri in pochi microsecondi.

Non è difficile immaginare un congegno meccanico che potrebbe essere azionato per es. dalla pressione atmosferica, il quale, quando la bomba è arrivata ad una certa altezza dal suolo, compia l'operazione.

Ci tornano alla mente le parole con cui Corbino concludeva il discorso di cui prima vi ho riportato un brano. Egli diceva, undici anni or sono : « ... chiunque abbia senso di umanità non può pensare con indifferenza al carattere che assumerà la guerra futura, se non si riuscirà ad evitare l'entrata in azione dei nuovi mezzi di sterminio che l'ulteriore progresso della scienza metterà a disposizione dei contendenti ».

Viene ora spontanea una domanda: questa enorme quantità di energia, che per la prima volta è stata impiegata in un'opera di distruzione, potrà essere disciplinata nella sua produzione al punto da poter essere utilizzata per scopi civili?

La risposta è affermativa. Per ora non vediamo ancora chiaramente come ciò possa venire realizzato; ma non sembra impossibile che si possano preparare mescolanze di uranio 235 o di plutonio con grafite, che possano produrre, senza esplodere, delle enormi quantità di calore impiegabili per il funzionamento di gigantesche centrali elettriche, capaci di trasmettere ove occorra, l'energia prodotta.

Si potrebbe anche pensare ad una caldaia contenente acqua mista ad una convenientemente grande quantità di uranio 235 o di plutonio, in modo che il calore sviluppato producesse enormi quantità di vapore.

Anche se fosse necessario usare per questo acqua pesante, sarebbe facile, recuperando il vapore, realizzare un funzionamento continuo, senza perdita del prezioso materiale.

Si incontreranno in un primo tempo delle difficoltà, e si avranno anche inevitabilmente degli infortuni, che però, come sempre accade, non arresteranno il corso del progresso. Non è d'al-

tronde improbabile che gli studiosi di questi problemi, spronati dai recenti successi, scoprano altri fenomeni che permettano di utilizzare l'energia liberata in altri processi di disintegrazione nucleare. Per ora i fatti conosciuti non ci fanno prevedere nessuna possibilità su questa via, e gli unici fenomeni utilizzabili sono quelli a cui dà luogo l'uranio.

La quantità di uranio esistente nel mondo è assai grande, ma è assai diluita nella crosta terrestre, che ne contiene solo 6 grammi per tonnellata; per cui vale la pena di raccoglierlo solo in quelle località privilegiate che prima vi ho detto e nelle quali arriva fino a 15 kg. per tonnellata; ciò può forse impedire per qualche tempo una larga diffusione dello sfruttamento della scoperta.

Noi che siamo nati negli ultimi trenta anni del secolo scorso abbiamo assistito alle più grandi scoperte scientifiche e alle loro applicazioni pratiche: l'utilizzazione dell'energia delle acque, le centrali elettriche, la trasmissione a distanza dell'energia prodotta, con il conseguente sviluppo dell'elettrotecnica, l'uso del gas di carbone, il telefono, il telegrafo, i raggi X, la radioattività, l'automobile, il cinematografo, la lampada termoionica, l'aeroplano, la riproduzione meccanica ed elettrica dei suoni, la radiotelegrafia, la radiotelefonia, l'ottica elettronica, la televisione. Tutte queste scoperte, anche quelle che hanno avuto nel perfezionamento delle loro applicazioni un notevole impulso dalle necessità imposte da una guerra, hanno finito per arrecare vantaggi all'umanità, e ad esse si deve il sorgere di fiorenti industrie, fonti di lavoro e di prosperità per i popoli.

Vogliamo augurarci che anche questa scoperta che forse è la più grande di tutte quelle a cui abbiamo assistito, possa, in un non lontano avvenire arrecare benessere e pace all'umanità.