

La struttura dell'atomo e le proprietà magnetiche

(Dalle conferenze di PAUL LANGBEVIN - Bologna 1923).

Seconda conferenza.

A traverso la rapida rievocazione dei lavori per i quali il mistero dell'intima costituzione atomica si è chiarito per noi in gran parte, abbiamo appreso che gli elementi costitutivi della materia sono in sostanza dei granuli di elettricità: l'*elettrone* ed il *protone*. Questi due principi, ciascuno granuloso e identico a sè stesso, danno origine agli atomi e consentono la costruzione di una teoria atomica atta ad inquadrare mirabilmente la maggior parte dei fenomeni conosciuti. Vi sono ancora senza dubbio dei fatti che sfuggono al dominio di questa teoria, vi sono anche molte lacune, ma si ha la sensazione netta di essere sulla buona strada e si può sperare fondatamente di giungere a risultati sempre più soddisfacenti.

Lo studio dei granuli di elettricità ci ha fatto conoscere dapprima l'elettrone, particella elettrizzata cui compete la carica $e = 4,74 \cdot 10^{-10}$ u. e. s. e la massa $m = 0,903 \cdot 10^{-27}$ gr. Ammettendo secondo la teoria classica che questi elettroni debbano la loro massa alla loro inerzia elettromagnetica, si può arrivare a calcolarne le dimensioni e si trova per il raggio dell'elettrone $a = 1,9 \cdot 10^{-13}$ cm, numero assai piccolo in confronto alle dimensioni dell'atomo che sono dell'ordine di grandezza di 10^{-8} cm. Abbiamo studiato poi il grano di elettricità positiva (*protone*) ed abbiamo visto come, mediante l'analisi della materia col metodo dei raggi canali, sia stato

possibile affermare che i nuclei positivi dei vari atomi son diversi da elemento ad elemento e precisamente costituiti da atomi che han perduto uno o più elettroni. Il più piccolo di questi *centri positivi* è l'atomo di Idrogeno jonizzato che si identifica appunto col *protone*. La sua carica sarà ancora $e = 4,74 \cdot 10^{-10}$ ma la massa, $m = 1,6 \cdot 10^{-24}$ gr., è circa 2000 volte maggiore di quella dell'elettrone e sensibilmente eguale a quella dell'atomo stesso. Siamo quindi condotti ad immaginare l'atomo di Idrogeno come costituito da un protone che possiede da solo quasi tutta la massa dell'atomo e da un elettrone, di massa trascurabile, gravitante attorno al protone, come i pianeti gravitano attorno al sole; il movimento si effettua in virtù dell'attrazione elettrostatica fra questi due elementi costitutivi dell'atomo.

Dopo il protone, il più semplice centro positivo è l'atomo di Ello doppiamente jonizzato ossia privato dei suoi due elettroni, che si identifica con la cosiddetta particella α delle sostanze radioattive. La carica di questo centro positivo è doppia di quella del protone: $e = 2 \cdot 4,74 \cdot 10^{-10}$ e la sua massa è quattro volte maggiore: $m = 6,4 \cdot 10^{-24}$. La particella α quando è lanciata dai corpi radioattivi, ha una velocità che dipende dalla speciale trasformazione che la origina e che può variare da 5000 a 20000 km/sec. Si tratta dunque di un proiettile animato da notevole velocità, e, data anche la sua massa rilevante, si comprende come sia stato possibile effettuare con le particelle α , una specie di bombardamento della materia con conseguente disintegrazione dell'edificio atomico di qualche elemento leggero. Quando una particella α si propaga in seno ad un gas, essa ne scompone le molecole scacciandone elettroni o, come si dice, jonizza il gas. Questa jonizzazione, ripetuta un grandissimo numero di volte per ogni cm. di percorso della particella, finisce per arrestare la particella stessa. Così nel caso dell'aria alla pressione normale, bastano già 7 cm. di percorso per far perdere alla particella α il suo potere jonizzante. Le traiettorie percorse da queste particelle in seno ai diversi gas, possono esser rese visibili e quindi fotografate mediante un metodo ingegnoso immaginato da Wilson.

Abbiamo detto che la particella α lungo il suo percorso jonizza il gas scindendone le molecole in joni positivi e negativi. Se nel gas così jonizzato, preventivamente reso saturo

di vapor d'acqua, si produce allora una brusca rarefazione, la diminuzione di temperatura che l'accompagna, causa la condensazione di una parte del vapor acqueo contenuto nell'ambiente in cui si esperimenta. Gli joni presenti nel gas servono da centri di condensazione del vapore perchè attirano le minuscole goccioline d'acqua che si formano e si ottiene così per ogni jone un nucleo di nebbia. Le traiettorie seguite dalle particelle α in seno al gas appaiono dunque come fili di nebbia i quali, se illuminati lateralmente al momento giusto, possono anche essere fotografati. Le figure 1 e 2 ⁽¹⁾ riproducono due fotografie ottenute da Wilson con raggi α emessi da un pezzetto di Radio. La fig. 3 ottenuta jonizzando il gas contenuto nel recipiente, per mezzo di raggi X. Tali raggi incontrando le molecole d'aria e di vapor d'acqua, liberano da esse elettroni e questi producono l'abbondante jonizzazione che si vede in figura. È dunque un processo di jonizzazione secondaria, analogo all'effetto fotoelettrico (dovuto ad elettroni emessi dalla materia colpita dalle radiazioni) e poichè gli elettroni sono animati da velocità inferiori a quelle che competono alle particelle α , così essi subiscono un numero maggiore di urti e le loro traiettorie in seno al gas riescono più tortuose e corte. La fig. 4 che riproduce ingranditi due raggi della fig. 2, ha per noi un interesse particolarissimo. Infatti essa mostra che uno dei raggi, anzichè sparire d'un tratto dopo una traiettoria rettilinea, come l'enorme maggioranza di quelli fotografati, termina invece con una brusca inflessione a guisa di coda. Questa inflessione ad angolo ottuso indica che la particella α nel suo percorso ha incontrato un qualche cosa di stabile e ben edificato che l'ha riflessa sotto quel determinato angolo. Se si pensa che su ogni cm. di percorso della particella α si verificano 100.000 collisioni e che ogni particella percorre 7 cm. prima di esaurire il suo potere jonizzante, si vede che l'eventualità di una riflessione diretta del tipo descritto è estremamente rara. Sono dei milioni di molecole che debbono essere attraversate per ottenere uno di questi casi. La maniera più logica di interpretare il fenomeno, ormai suffragata del resto da numerose altre considerazioni, è quella di ammettere appunto,

(1) Le figure da 1 a 7 si trovano nella tavola annessa.

come già abbiamo fatto, che la massa dell'atomo non sia distribuita uniformemente, ma l'atomo stesso sia costituito da un nucleo contornato da elettroni. Accade allora che nella stragrande maggioranza dei casi la particella α , dotata di massa e velocità considerevoli, attraversa l'atomo a distanza relativamente grande dal nucleo, lo jonizza cacciandone uno o più elettroni (e dando così origine allo jone positivo su cui si fissa la gocciolina d'acqua che viene poi fotografata) e prosegue oltre nel suo cammino; ma in qualche raro caso si dà che la particella α (specialmente sul finire del suo percorso dove la velocità è minima), traversando l'atomo passa tanto vicino al nucleo da subirne l'attrazione ed allora la sua traiettoria resta modificata e deviata di un angolo notevole, originandosi così le codette che si vedono nella fig. 4.

Accennato così brevemente alle notevoli e caratteristiche proprietà del centro positivo dell'Elio (particella α) passiamo ad occuparci in generale dei centri positivi degli altri elementi.

Lo studio delle caratteristiche e delle proprietà di questi centri positivi, si fa agevolmente mediante il metodo della deviazione elettromagnetica dei raggi canali ottenuti nei tubi a vuoto a catodo forato. Abbiamo già visto come questo metodo si presti ottimamente alla ricerca degli elementi isotopi giacchè, se il gas che origina i centri positivi invece di essere un elemento semplice è composto di più elementi (isotopi), chimicamente inseparabili, il fascio di raggi, sotto la contemporanea azione del campo elettrico e del campo magnetico applicati all'esterno del tubo, si scinde in tanti fasci più o meno deviati a seconda della massa dei centri positivi che li costituiscono. Così per il Cloro, ritenuto dapprima elemento semplice di peso atomico 35,46, si ottengono due fasci di raggi diversamente deviati corrispondenti a nuclei Cl di massa $35 \cdot 1,6 \cdot 10^{-24}$ e nuclei Cl di massa $37 \cdot 1,6 \cdot 10^{-24}$ (1).

Ponendo sul cammino dei raggi canali che subiscono la deviazione elettromagnetica una lastra fotografica opportunamente collocata, si hanno su questa tante tracce quanti sono

(1) La scoperta degli isotopi ha permesso, come è noto, di giungere alla nozione dell'unità della materia nel senso che ogni elemento resulterebbe formato per condensazione, con perdita di energia, da elettroni e nuclei positivi.

i diversi fascetti in cui si è diviso il fascio principale: si ottengono così una o più righe per ogni elemento o composto che costituiscono il suo *spettro di massa*. La fig. 5 mostra due di questi spettri ottenuti da Aston e relativi ad un miscuglio di CO , H e idrocarburi. Si vedono le righe corrispondenti ai supporti C , CH , CH_2 , CH_3 e CH_4 di peso molecolare 12, 13, 14, 15 e 16.

Vediamo ora come sia possibile mettere in rilievo la carica elettrica posseduta dai nuclei dei diversi elementi.

Le esperienze in proposito furono eseguite con ogni cura e meticolosità dal Rutherford. Questi faceva passare le particelle α prodotte da un pezzetto di Ra , attraverso laminette di sostanze diverse e le faceva cadere poi su di uno schermo fluorescente di Solfuro di Zinco. In assenza della laminetta, il fascetto di raggi α produce, cadendo sullo schermo, delle macchioline luminose in certe posizioni fisse; interponendo la lamina, le particelle subiscono, in generale, una leggera deviazione dalla loro traiettoria rettilinea per l'azione combinata delle cariche positive e negative degli atomi attraversati e le piccole chiazze luminose sullo schermo si sparpagliano e deviano, dalla loro posizione iniziale, di un certo angolo il cui valore medio è stato assegnato dal calcolo delle probabilità in $1/1200$ di grado circa. Ora durante le osservazioni, furono notate talvolta delle deviazioni eccezionali (fino a 150°) le quali, secondo la legge delle probabilità, avrebbero dovuto presentarsi con una frequenza enormemente inferiore a quella pur bassissima osservata. Il fenomeno è perfettamente analogo a quello osservato da Wilson col suo metodo fotografico e si deve anche qui ammettere che queste deviazioni eccezionali si verificano quando la particella α incontra il nucleo di un atomo e ne viene direttamente riflessa. Quanto al valore di questa deviazione si comprende facilmente che esso debba essere funzione della carica del nucleo urtato dalla particella, nel senso che tanto maggiore deve essere la deviazione stessa, quanto più elevato è il valore della carica del nucleo. La statistica all'uopo istituita ha mostrato che fino ad una distanza dal nucleo dell'ordine di 10^{-12} cm., le deviazioni sono conformi alla legge di Coulomb, più oltre no. S'intuisce come sia possibile, sempre a mezzo di calcoli statistici, risalire dal valore della deviazione anormale subita dalla par-

ticella α a quello della carica del nucleo. Per i diversi elementi sottoposti ad esame si sono ottenuti infatti dei numeri che, opportunamente interpretati, han costituito, si può dire, la base delle nostre moderne concezioni sulla struttura della materia. Si è trovato precisamente che posta eguale ad uno la carica N_H del nucleo dell'atomo di Idrogeno, risultano rispettivamente $N_{Cu} = 29,3$; $N_{Ag} = 46,3$; $N_{Pt} = 78$, ossia la carica del nucleo atomico di ciascun elemento è espressa da un numero che è all'incirca la metà di quello che esprime il suo peso atomico.

Ora Van der Broek ha fatto l'importantissima osservazione che se si ordinano gli elementi secondo la tabella di Mendeleieff e si assegna a ciascuno di essi un numero d'ordine (*numero atomico*) corrispondente alla casella occupata sulla tavola, si trova che il *Cu* occupa il 29° posto, l'*Ag* il 47°, il *Pt* il 78° ecc. Ossia la carica del nucleo atomico di ogni elemento, presa come uno quella dell'atomo di *H*, è espressa, nei limiti degli errori inerenti alle difficilissime esperienze citate, dallo stesso numero che segna il posto occupato dall'elemento nelle caselle della tavola di Mendeleieff, o anche, all'incirca, dalla metà di quello che esprime il suo peso atomico. Ciò appare chiaramente dalla seguente tabella:

ELEMENTO	Peso atomico	Carica del nucleo (osservata sperim.)	Numero atomico	Metà peso atomico
Rame . . .	63,57	29,3	29	31,7
Argento . .	107,88	46,3	47	53,9
Platino . .	195,2	77,4	78	97,6

Poichè il numero atomico di ogni elemento è uguale alla carica positiva del nucleo, e l'atomo stesso deve risultare nel suo complesso elettricamente neutro, si comprende come il numero atomico stia anche ad indicare, per ciascun elemento, il numero di elettroni che gravitano attorno al nucleo e, con la loro carica negativa, bilanciano esattamente quella positiva del nucleo.

Così l'atomo di *H* ($N=1$) avrà un solo elettrone orbitale, quello dell'Elio 2, del Litio 3, ecc. ecc.

Questa deduzione ha avuto una brillantissima conferma per parte di esperienze istituite per mezzo dei raggi X. Ne diremo qualche parola e premetteremo un cenno sugli spettri dei raggi X detti anche *spettri ad alta frequenza* per distinguerli da quelli ottici.

È noto che se si interpone un reticolo ottico sul cammino di un fascio di raggi luminosi, questi subiscono il fenomeno della diffrazione e si ottengono così degli spettri, di diverso ordine, analoghi a quelli ottenibili con i comuni prismi. È anche noto che i fenomeni di diffrazione han costituito una delle più brillanti conferme della teoria ondulatoria della luce, mostrando come due onde luminose possano fra loro interferire e come la propagazione rettilinea della luce sia soltanto approssimata. Affinchè si possano ottenere buoni risultati coi reticoli è necessario che la distanza fra due fenditure successive del reticolo stesso non superi qualche decina di lunghezze d'onda della luce con cui si esperimenta. Appena scoperti i raggi Röntgen si pensò di dimostrarne la natura ondulatoria cercando di ottenere con essi fenomeni di diffrazione, ma per quanto si fossero adoprate reticoli con più di 1700 righe al mm., i raggi X non deviavano dalla loro traiettoria rettilinea attraversando il reticolo. Questo risultato negativo si spiega chiaramente oggi che ci è nota la enorme piccolezza della lunghezza di onda dei raggi X di fronte a quella dei raggi luminosi. Sarebbero occorsi infatti reticolati con fenditure dello stesso ordine di grandezza della lunghezza d'onda dei raggi stessi, ossia reticoli con più di 1.000.000 di strie per mm. e si comprende come questa possibilità esuli dal campo della meccanica di precisione anche più perfetta.

Il Laue di Zurigo ebbe la genialissima idea di ricorrere anzichè a reticoli artificiali, di impossibile costruzione del resto, a reticoli naturali.

Egli pensò infatti che la natura stessa ci offre coi suoi cristalli, dei reticoli perfettamente adatti allo scopo giacchè in essi gli atomi sono disposti con simmetria geometrica in tanti piani equidistanti. Per es. in un cristallo di salgemma gli atomi *Na* e *Cl* son disposti in piani distanti l'uno dall'altro di $2,814 \cdot 10^{-8}$ cm. Fatti i calcoli si trova, per una coincidenza favorevolissima, che questa distanza è proprio dello stesso ordine di grandezza della lunghezza d'onda dei raggi X. Ese-

guita le esperienze relative si trovò infatti, dal Laue stesso e successivamente dai fratelli Bragg, che i raggi X si lasciavano diffrangere dai cristalli interposti sul loro cammino e le complesse figure di diffrazione ottenute (fig. 6) furono agevolmente interpretate mediante la teoria dei reticoli spaziali (tale deve appunto considerarsi un cristallo), sulla quale non possiamo soffermarci. Restò così pienamente dimostrata la natura ondulatoria dei raggi X , ma le esperienze citate sono importantissime anche sotto un altro punto di vista. Infatti come i reticoli ottici operano la dispersione della luce incidente e la scomposizione di essa nelle singole radiazioni semplici che la compongono, così si può dimostrare che i reticoli cristallini scompongono un fascio eterogeneo di raggi X che incida sopra uno di essi, in tante radiazioni semplici di ben determinata lunghezza d'onda ottenendosi così uno spettro di raggi X diverso per ogni sostanza costituente l'anticatodo del tubo che emette i raggi stessi. La fig. 7 mostra ad esempio lo spettro di raggi X del Platino. Una semplice relazione lega fra loro la lunghezza d'onda della radiazione X ottenuta, la distanza fra i piani reticolari del cristallo (piani contenenti atomi disposti in una stessa guisa) e l'angolo d'inclinazione sotto il quale il fascio di raggi X incidente colpisce il cristallo.

Il metodo esposto permette quindi non soltanto la selezione delle diverse lunghezze d'onda, ma anche la loro misura rigorosa. Simili misure, effettuate con tutta precisione dal fisico inglese Moseley, portarono a concludere che le lunghezze d'onda delle righe caratteristiche dello spettro dei raggi X di ogni elemento, risultano tanto più corte quanto maggiore è il peso atomico di questo. Di più queste righe caratteristiche possono raggrupparsi in tre serie distinte, dette rispettivamente *serie K*, *serie L* e *serie M*. Gli elementi leggeri (dal Sodio al Neodimio) danno tutti le righe della serie *K*, ma, a cominciare dallo Zinco fino all'Uranio, si manifestano, oltre le righe della serie *K*, anche quelle della serie *L*; finalmente, per gli ultimissimi elementi del sistema periodico (dal Disprosio all'Uranio) compare anche, oltre la serie *L*, quella *M*. Per ciascuna di queste serie vale l'osservazione suindicata che le lunghezze d'onda delle diverse righe diminuiscono col crescere del peso atomico e si deve sempre al Moseley di aver enunciato in proposito una legge precisa che lega la lunghezza

d'onda della radiazione X emessa da ciascun elemento non al suo peso atomico, bensì al numero atomico. La legge di Moseley, che fa intervenire la frequenza della radiazione anziché la sua lunghezza d'onda, si enuncia precisamente così:

Le radici quadrate delle frequenze dei raggi X emessi da ciascun elemento, sono funzioni lineari del numero atomico di questi ultimi.

Riassumendo, gli studi fatti sul passaggio delle particelle α attraverso la materia e sugli spettri di raggi X dei diversi elementi, portano ormai a concludere che ogni specie di atomo è caratterizzato, oltreché dal *peso atomico* (all'incirca coincidente con la massa del nucleo), anche da un'altra grandezza: il *numero atomico*, ossia numero degli elettroni che gravitano attorno al nucleo in tante orbite concentriche. Alcune delle proprietà della materia sono inerenti al nucleo degli atomi, altre agli elettroni periferici, altre ancora all'uno ed agli altri.

Allo scopo di poter comprendere l'applicazione dei concetti finora esposti alla interpretazione delle proprietà magnetiche della materia (il che costituirà oggetto della terza conferenza), vogliamo ora dare uno sguardo sommario alla teoria di Bohr, più sopra rammentata.

L'idea fondamentale di Bohr si riattacca all'ipotesi della discontinuità dell'energia formulata dal Plank per interpretare il fenomeno dell'irraggiamento del corpo nero. Secondo Plank, le leggi che regolano l'emissione di energia per parte del corpo nero, non possono spiegarsi se non ammettendo che l'energia venga emessa in modo discreto e non continuo, ossia, come si dice, *per quanti*. In altre parole l'energia emessa dagli atomi sotto forma di radiazioni non può variare con continuità, ma soltanto a salti, per multipli interi di una certa quantità minima finita, detta appunto *quanto di energia*. Il valore del quanto di energia non è peraltro costante e dipende dalla frequenza ν della radiazione emessa, alla quale esso è legato da una semplice relazione di proporzionalità ($W = h \nu$ dove h è una costante universale), per modo che l'energia corrispondente al *quanto* è tanto maggiore quanto più elevata è la frequenza. Nella teoria atomica di Bohr questi quanti di energia hanno una parte importantissima, inquantochè egli è stato condotto, nell'interpretare il fenomeno dell'emissione

della luce per parte degli atomi, ad introdurre una anomalia rimarchevole nella meccanica classica ch      appunto l'emissione quantistica, discontinua dell'energia. Considerando l'atomo di H come costituito da un nucleo positivo e da un elettrone gravitante attorno ad esso su di una certa orbita, Bohr ha mostrato che    possibile affrontare il problema della stabilit   di un tale assieme conservando le leggi della meccanica classica (il problema da risolvere per l'atomo di H    in sostanza il classico problema dei due corpi), ma a patto di ammettere per   che non tutti i movimenti sono possibili, bens   solo una serie discontinua di essi, corrispondenti alla scelta di certi determinati valori delle costanti che figurano nelle relative equazioni che ci asteniamo qui dal trascrivere. Pi   precisamente son possibili quei movimenti pei quali il momento d'impulso    un multiplo intero di una certa costante $M = \frac{kh}{2\pi}$ ($k = 1, 2, \dots$) dove h    la costante che compare nella formula di Planck sopra riportata. Ossia l'elettrone pu   gravitare su orbite ad 1, 2, 3, ecc. quanti di energia; quando poi l'elettrone salta da una delle orbite possibili ad un'altra, questo salto    accompagnato da emissione di energia raggiante di lunghezza d'onda determinata e cos   si interpretano appunto gli spettri ottici e d'alta frequenza dei diversi elementi. Saltando l'elettrone da un'orbita all'altra, l'energia del sistema diminuisce di una quantit   $W_1 - W_0 = h\nu$ ed il calcolo della frequenza emessa, che si pu   istituire in base a questi principi e tenendo conto della correzione relativistica della massa, fornisce risultati che sono in mirabile accordo con le lunghezze d'onda delle righe osservate sperimentalmente sugli spettri emessi dagli elementi stessi. Per l'Idrogeno che    l'elemento pi   semplice e per il quale i calcoli si conducono con relativa semplicit  , la concordanza    veramente meravigliosa e le frequenze calcolate coincidono esattamente con quelle delle righe della nota *serie di Balmer*.

Per gli elementi pi   complessi i calcoli divengono laboriosissimi e spesso impossibili, tuttavia introducendo tante condizioni quantistiche quanti sono i gradi di libert   del sistema considerato, e tenendo sempre presente la relazione fondamentale $M = \frac{kh}{2\pi}$, Bohr e specialmente Sommerfeld sono riusciti

ad ottenere dei risultati notevolissimi in discreto accordo con l'insieme dei fatti osservabili sperimentalmente.

La teoria di Bohr rende conto ormai nel modo più soddisfacente di un gran numero delle proprietà della materia: vi trovano ad esempio un'interessante interpretazione le proprietà chimiche, quelle magnetiche e radioattive, senza dire degli spettri ottici e degli spettri Röntgen per i quali le previsioni più ottimiste di concordanza fra teoria ed esperienza son state superate dalla realtà. Diremo brevemente qualcosa intorno alla concezione di Bohr relativa alla costituzione atomica dei diversi elementi in riguardo specialmente alle proprietà chimiche ed alla spettroscopia, riserbandoci nella prossima conferenza di trattarne dal punto di vista delle proprietà magnetiche.

Secondo Bohr l'atomo di ogni elemento possiede un nucleo positivo di piccole dimensioni e grande massa (e quindi di elevata densità) manifestante una carica positiva libera pari al suo numero atomico; attorno ad esso si muovono in tante orbite concentriche, generalmente ellittiche, gli elettroni negativi di massa trascurabile. Sicchè ogni atomo può assimilarsi ad un minuscolo sistema solare di cui il nucleo rappresenta il sole e gli elettroni i pianeti satelliti. Questi elettroni cadrebbero sul nucleo per effetto della forza attrattiva di Coulomb, se in causa del loro moto di rotazione attorno ad esso non si sviluppasse una forza centrifuga che, opponendosi alla attrazione esercitata dal nucleo stesso, consente all'elettrone di permanere nella sua orbita. Giova però rammentare che queste condizioni di equilibrio dinamico permangono solo quando la rotazione degli elettroni avviene a distanza del nucleo ben definite caratterizzate da numeri interi, e con velocità determinate.

Come esempio consideriamo l'atomo di Elio neutro. Esso ha un nucleo positivo (particella α) di carica 2 e massa 4 (numero atomico 2, peso atomico 4) attorno al quale gravitano due elettroni in una stessa orbita ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Tale disposizione dei due elettroni per l'atomo neutro è tuttavia molto dubbia; sembra anzi che essi percorrano orbite distinte in piani disposti fra loro a 120° .

Passando all'atomo neutro del Litio, esso possiede un nucleo positivo di carica 3 e tre elettroni: due di essi gravitano in una orbita comune, il terzo in una più esterna; questo elettrone periferico stabilisce la monovalenza del Litio. Nel caso del Berillo avremo il nucleo positivo di carica 4 e quattro elettroni, due interni gravitanti sulla prima orbita e due esterni, gravitanti su di un'orbita esteriore concentrica, i quali rendono ragione della bivalenza del Berillo.

Così seguitando per tutti gli elementi del sistema periodico si ammette che il numero degli elettroni periferici e la carica del nucleo vadano crescendo di una unità, passando da un elemento al successivo. In tal modo la 2^a orbita viene ad arricchirsi successivamente di elettroni sino ad averne 8 per il Neon che ha le stesse proprietà chimiche dell'Elio. Dopo l'Elio viene il *Na*, monovalente, e Bohr ammette che la seconda orbita si satura con 8 elettroni e che a cominciare appunto dal *Na* si inizi un terzo anello contenente successivamente 1, 2, ..., 8 elettroni. Si vede quindi come la periodicità delle proprietà chimiche degli elementi, messa in evidenza dalla tabella di Mendeleieff, venga introdotta nella teoria di Bohr con l'ipotesi della stabilità dell'anello contenente 8 elettroni. Si giunge così al terzo gas raro: l'Argo, che ha quindi il nucleo di carica positiva 18, e diciotto elettroni distribuiti su 3 anelli, il primo dei quali ne contiene al solito due, il secondo 8 ed il terzo 8. A cominciare dal *K*, monovalente come il *Na*, si origina un 4^o anello, senonchè, poichè la tavola di Mendeleieff presenta ora 18 elementi anzichè 8 per ritrovare un gas raro, Bohr ammette che questo anello non si satura con 8 elettroni, come i precedenti, ma bensì con 18. (I nuovi elettroni in più degli 8 passerebbero peraltro nel 3^o anello a partire dal *Fe*, per modo che il numero degli elettroni periferici, da cui dipendono le proprietà chimiche e lo spettro ottico, non cambierebbe). Questa apparente complicazione del modello atomico può, in certo qual modo, giustificarsi pensando che appartengono proprio a questo periodo della tavola mendeleieffiana, gli elementi a spiccate proprietà magnetiche, *Fe*, *Co*, *Ni* e che l'intervento di questa proprietà, come sarà meglio chiarito nella prossima conferenza, distrugge in certo qual modo la simmetria dell'atomo. Si giunge quindi

al gas nobile Krypton il cui modello atomico si presenta col seguente schema: 1° anello: 2 elettroni; 2° anello: 8 elettroni; 3° anello: 18 elettroni; 4° anello: 8 elettroni. Seguitando, a partire dal *Rb*, monovalente come il *Na* e il *K*, si forma un quinto anello per il quale valgono le stesse osservazioni fatte a proposito del 4°, la simmetria atomica essendo qui turbata dalle proprietà magnetiche della triade *Rt*, *Rh*, *Pd*. Ossia il 5° anello si saturerà con 18 elettroni dei quali peraltro solo quelli di valenza da 1 a 8 resteranno periferici, gli altri passeranno nell'anello precedente. Si arriva in tal modo al 5° gas nobile, lo *Xeno*, la cui costituzione può indicarsi schematicamente: 2, 8, 18, 18, 8. L'anomalia delle terre rare porta ancora una nuova complicazione giacchè il 5° gruppo del sistema periodico viene per esse a contenere 32 elementi. I nuovi 32 elettroni che crescono dal Cesio al Niton, vanno, secondo Bohr, a porsi gradatamente nelle orbite più interne lasciando in un 6° anello solo gli elettroni periferici di valenza e si giunge così al *Em* di costituzione 2, 8, 18, 32, 18, 8. Gli ultimissimi elementi della tabella iniziano un 7° anello il quale, una volta saturato, tenendo presente le osservazioni precedenti, porterebbe ad un gas nobile di costituzione 2, 8, 18, 32, 32, 18, 8; dopo di che si formerebbe un 8° anello che porterebbe al gas raro 2, 8, 18, 32, 50, 32, 18, 8, ma come è noto l'*Ur* segna l'ultimo degli elementi che possono esistere, in condizioni di stabilità radioattiva, sul nostro pianeta e così gli anelli di elettroni che circondano il nucleo van crescendo da uno, per il primo gas raro, fino a sei, per l'ultimo.

Riassumendo, si è visto dunque che i gas rari, i quali hanno i loro anelli periferici composti di 8 elettroni, debbono considerarsi come configurazioni atomiche stabili (il che spiega la loro inerzia chimica) e ad esse configurazioni tendono ad avvicinarsi tutte le altre. Così si spiega anche per es. il carattere elettropositivo degli alcalini che han tendenza a cedere l'unico elettrone periferico, debolmente legato al resto dell'atomo. Viceversa gli alogeni, che hanno nel loro anello periferico 7 elettroni, tendono a passare alla forma stabile ed a catturare un elettrone ad altri complessi atomici che lo posseggono. Da ciò il loro carattere spiccatamente elettro negativo e la loro tendenza a formare sali con i metalli.

La teoria mette quindi sotto una nuova luce la classica distinzione fra metalli e metalloidi ed interpreta anche bene le combinazioni fra atomi per originare le molecole. Così ad es. l'atomo di *H* cederà il suo elettrone periferico all'atomo di *Cl* (che ne ha soltanto 7) per dare il composto stabile *H Cl*.

Mentre le proprietà chimiche della materia dipendono, come abbiamo visto, dalla cintura esterna di elettroni e trovano la spiegazione della loro periodicità nel periodico formarsi dei successivi anelli di elettroni periferici, vi sono altre proprietà le quali dipendono dal movimento degli elettroni stessi, o, più precisamente, dal loro passaggio da un'orbita all'altra. Secondo Bohr si deve ammettere appunto che l'emissione e l'assorbimento di energia per parte dell'atomo, oltre ad essere assoggettata alle condizioni quantistiche di cui si è già tenuto parola, avvenga soltanto quando gli elettroni gravitanti attorno al nucleo saltano da un'orbita all'altra, mentre la rotazione degli elettroni stessi sulla medesima orbita, non è mai accompagnata da emissione o assorbimento di energia. È questa una ipotesi molto ardita ed in fondamentale contrasto con le teorie classiche, secondo le quali ogni spostamento di carica elettrica, accompagnato da cambiamento di velocità, porta con sé l'irraggiamento di una certa quantità di energia; e questo irraggiamento, dovendo compiersi a spese dell'energia meccanica posseduta dall'elettrone, condurrebbe l'elettrone stesso ad un progressivo rallentamento del suo moto e finirebbe per farlo cadere inerte sul nucleo. Tuttavia la messe dei risultati ottenuta dal Bohr è così rigogliosa e le conferme sperimentali della sua teoria sono così brillanti e precise che giova pensare di trovarsi di fronte ad una contraddizione attualmente non spiegabile, ma che potrà essere favorevolmente risolta col progredire delle nostre conoscenze in proposito.

Ammettendo dunque che l'elettrone possa saltare da una orbita all'altra, ogni salto è accompagnato, secondo Bohr, dall'emissione di energia raggianti monocromatica, ossia di una lunghezza d'onda ben determinata. E il calcolo delle frequenze, emesse per il passaggio dell'elettrone da una all'altra delle diverse orbite quantisticamente possibili, ha dato dei

numeri che sono in perfetto accordo con quelli sperimentalmente ottenuti osservando gli spettri ottici degli elementi più semplici (Serie di Balmer, di Lyman e di Paschen per l'Idrogeno; serie di Fowler e di Pickering per l'Elio).

Per quanto riguarda poi gli spettri d'alta frequenza, la loro origine è fondamentalmente la stessa, ossia si tratta sempre di salti d'elettroni da un'orbita all'altra, ma, mentre per gli spettri ottici le orbite relative sono le più esterne dell'atomo, per quelli di raggi X invece, si tratta delle orbite più interne, più vicine al nucleo, quelle orbite che abbiamo già contrassegnate con le lettere $K, L, M...$ e che conterebbero rispettivamente 2, 8, 18... elettroni, come abbiamo visto.

Gli spettri ottici dipendono dunque dagli elettroni periferici, mentre quelli X dipendono dagli elettroni interni. Abbiamo già visto che le righe contenute negli spettri ad alta frequenza

dei diversi elementi possono raggrupparsi in tante serie distinte $K, L, M...$ ed abbiamo enunciato in proposito la legge scoperta dal Moseley che lega la frequenza della riga emessa al numero atomico dell'elemento che la emette. Orbene la teoria di Bohr permette non soltanto di rendersi conto (fig. 8) del meccanismo col quale le diverse serie di righe vengono emesse (salto di elettroni da una all'altra delle orbite $K, L, M...$) ma consente di giustificare pienamente per via teorica la formula empirica trovata dal Moseley, il quale fatto, assieme a quello non meno interessante della giustificazione teorica della formula empirica di Balmer per gli spettri ottici, costituisce uno dei capisaldi notevolissimi su cui poggia la teoria di Bohr.

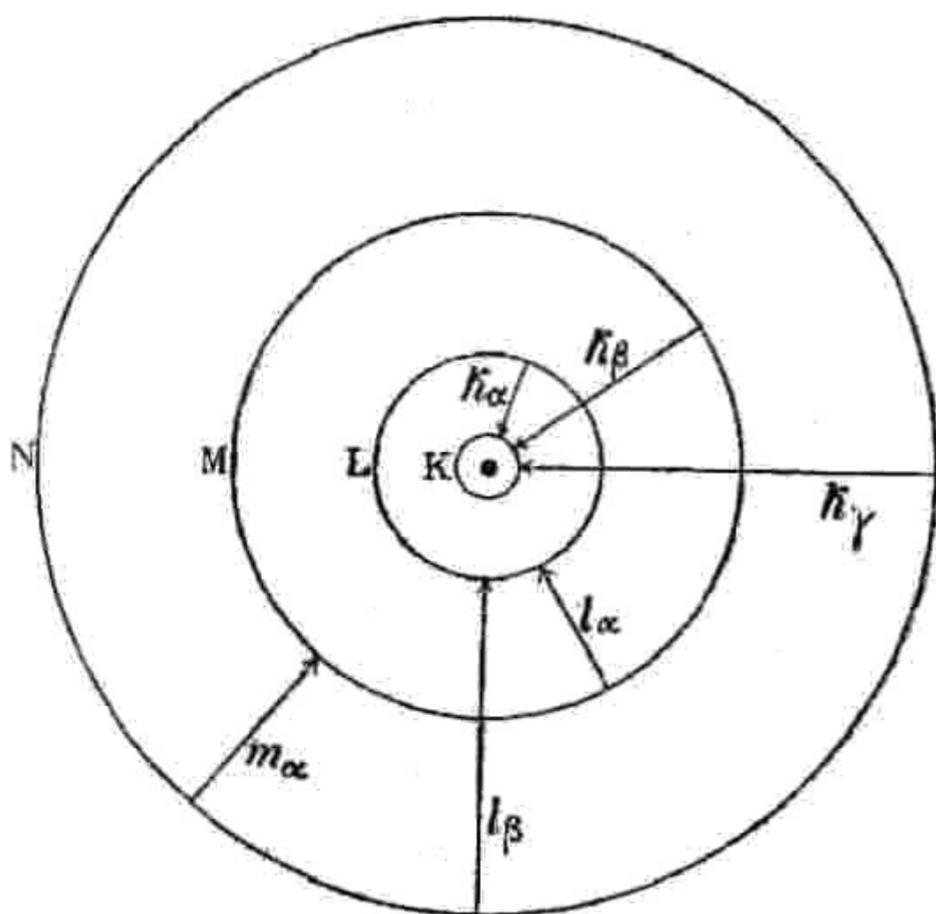


Fig. 8.

Abbiamo così esaminate le principali proprietà dipendenti dagli elettroni periferici ed interni gravitanti attorno al nucleo, vogliamo dire ancora qualche cosa attorno alla costituzione del nucleo stesso. Mentre le proprietà chimiche dei diversi elementi ed i loro spettri ottici e d'alta frequenza ci hanno permesso di spingere, per così dire, lo sguardo nelle regioni dell'atomo occupate dagli elettroni satelliti, non possedevamo, almeno fino a qualche anno fa, nessun mezzo d'indagine atto a farci penetrare i misteri della costituzione del nocciolo degli atomi. Si pensava già che le proprietà radioattive della materia dovessero essere in stretto rapporto col nucleo degli atomi inquantochè la velocità elevatissima con la quale le particelle α e β sono emesse dalle sostanze radioattive, faceva ritenere come probabile la loro provenienza dal nucleo stesso, ma si deve al Rutherford di aver posto mente alla possibilità di disintegrare il nucleo degli atomi, sottoponendo questi ad un vero e proprio bombardamento per opera delle particelle α espulse dal radio. Egli poté così asserire che dal nucleo vengono espulsi sia protoni, sia elettroni per modo che le leggi di Fajans sullo spostamento subito dagli elementi nelle trasformazioni radiattive, possono agevolmente interpretarsi, e si ammette oggi che i nuclei di tutti gli atomi, sono formati dall'unione d'un certo numero di centri positivi con elettroni negativi che chiameremo *elettroni nucleari*, per distinguerli dagli elettroni satelliti di cui si è discusso sinora. I centri positivi non sarebbero altro che i protoni la cui carica, com'è noto, equivale a quella dell'elettrone. Il numero di questi protoni, contenuto nel nucleo di ogni atomo, fissa la massa del nucleo stesso, che è sensibilmente anche quello dell'atomo, mentre la differenza fra la carica positiva dei protoni e quella negativa degli elettroni nucleari fornisce la carica positiva risultante del nucleo.

Questo modo di vedere è confermato come si è detto dalle brillanti esperienze eseguite dal Rutherford, di cui diremo qualche parola.

Quando dei raggi α , provenienti dal Radio C, traversano dell'idrogeno gassoso, essi perdono bruscamente il loro potere jonizzante dopo 24 cm. di percorso, sicchè non è possibile in generale osservare al di là di questa distanza le caratteri-

stiche scintillazioni da esse prodotte su di uno schermo di solfuro di Zinco. Orbene Rutherford ha osservato che, anche al di là di questo limite e fino ad 80 cm. circa dalla sorgente, è possibile osservare delle tenui scintillazioni. Lo studio della loro deviazione in un campo elettrico e in un campo magnetico, effettuato dal Rutherford con ogni cura e meticolosità, ha mostrato che i corpuscoli che producono quelle tenui scintillazioni hanno una massa eguale a quella dell'atomo di Idrogeno e portano una carica elementare di elettricità positiva. Sono dunque dei nuclei atomici di Idrogeno cui, la violenza dell'urto subito con le particelle α incidenti, ha conferito una velocità notevolissima. L'esperienza mostra che l'eventualità di tali collisioni è estremamente rara e circa un miliardo di atomi deve essere attraversato perchè se ne produca una. Tuttavia il risultato sperimentale è assolutamente sicuro e l'esperienza stessa ha permesso, per la prima volta, di ottenere libera la carica elementare di elettricità positiva, lungamente invano cercata dai fisici fino allora. Ma il Rutherford ha potuto fare di più, ed è riuscito a cacciare questi protoni anche da altri elementi (Azoto, Sodio, Alluminio, Fosforo) mostrando così, senza alcun dubbio, che i nuclei dei diversi elementi sottoposti ad esperienza contengono nel loro interno dei protoni. Ed è questa, si può ben dire, una vera e propria tramutazione di elementi, ottenuta per mezzo di un intervento artificiale di laboratorio; la realizzazione, se si vuole, (ma con criteri quanto diversi!) dell'eterno sogno degli alchimisti.

Bologna, R. Università.

G. TODESCO

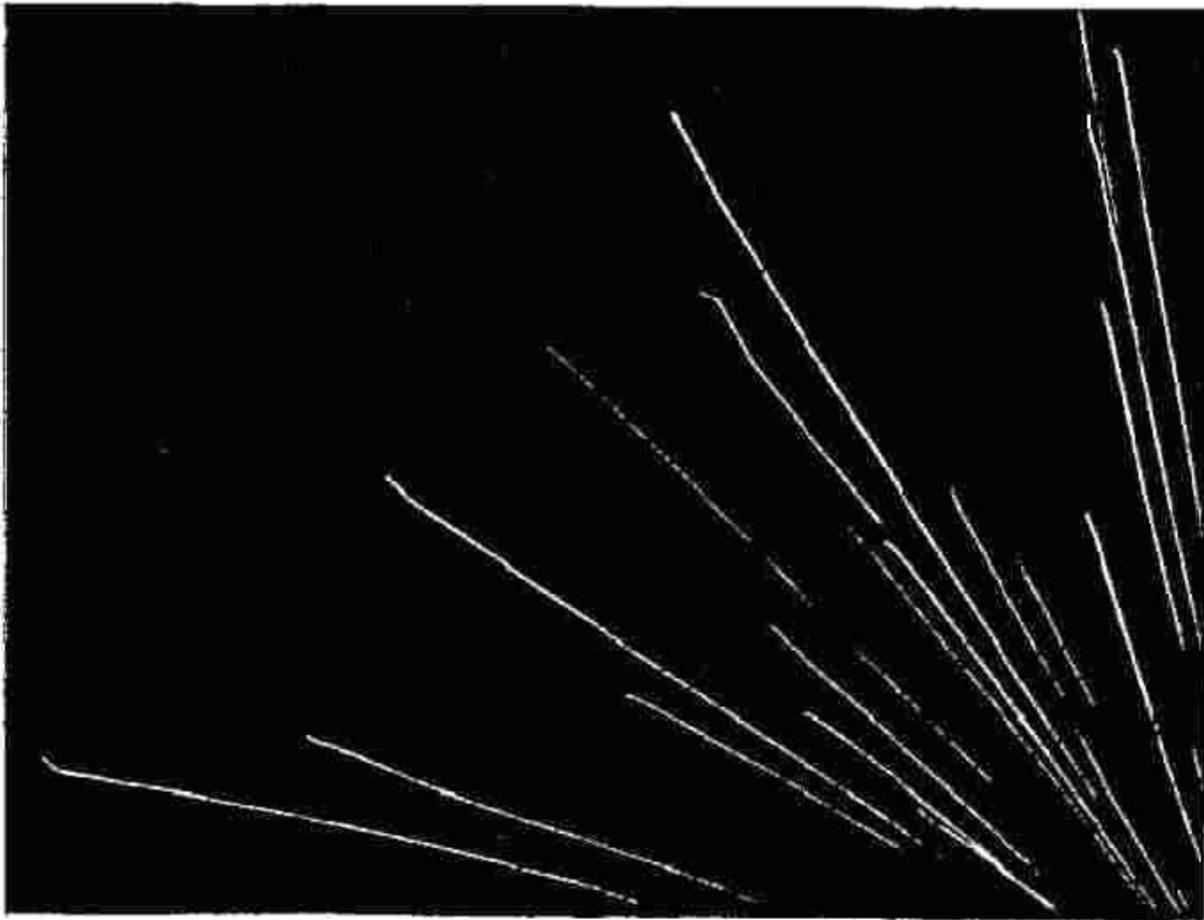


Fig. 1.

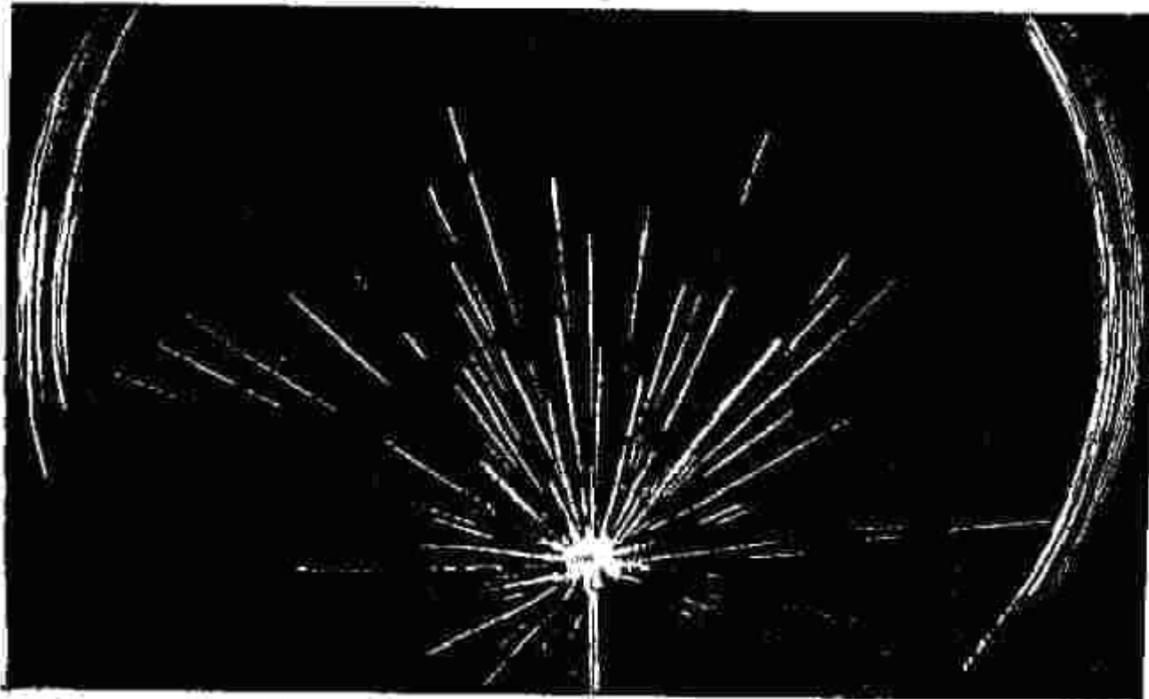


Fig. 2.

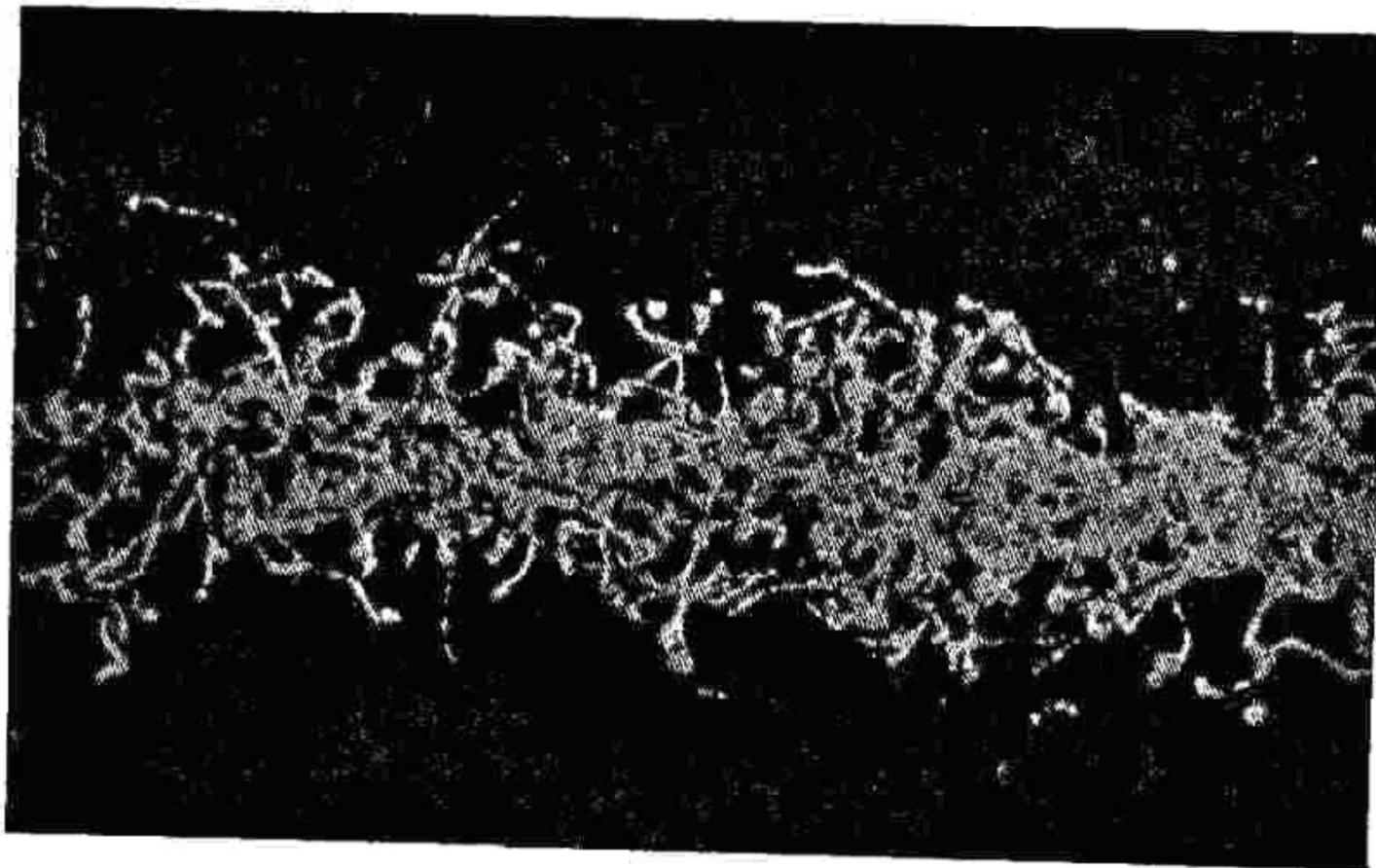


Fig. 3.

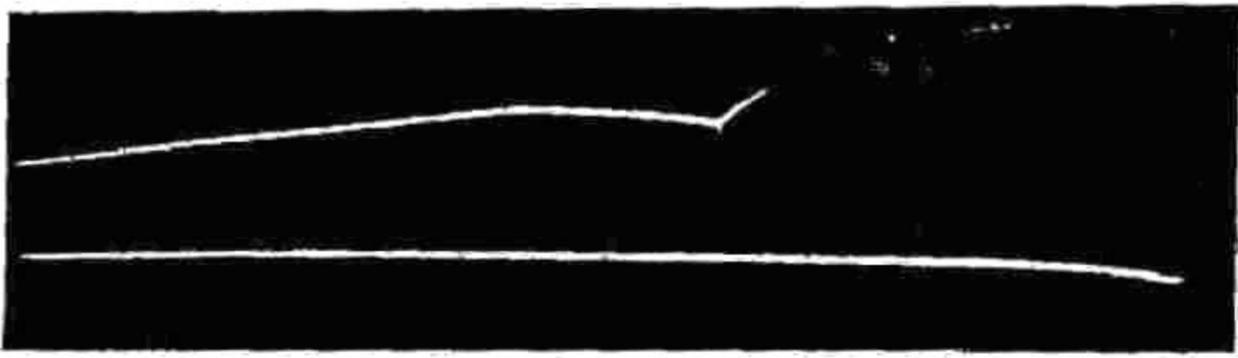


Fig. 4.



Fig. 5.

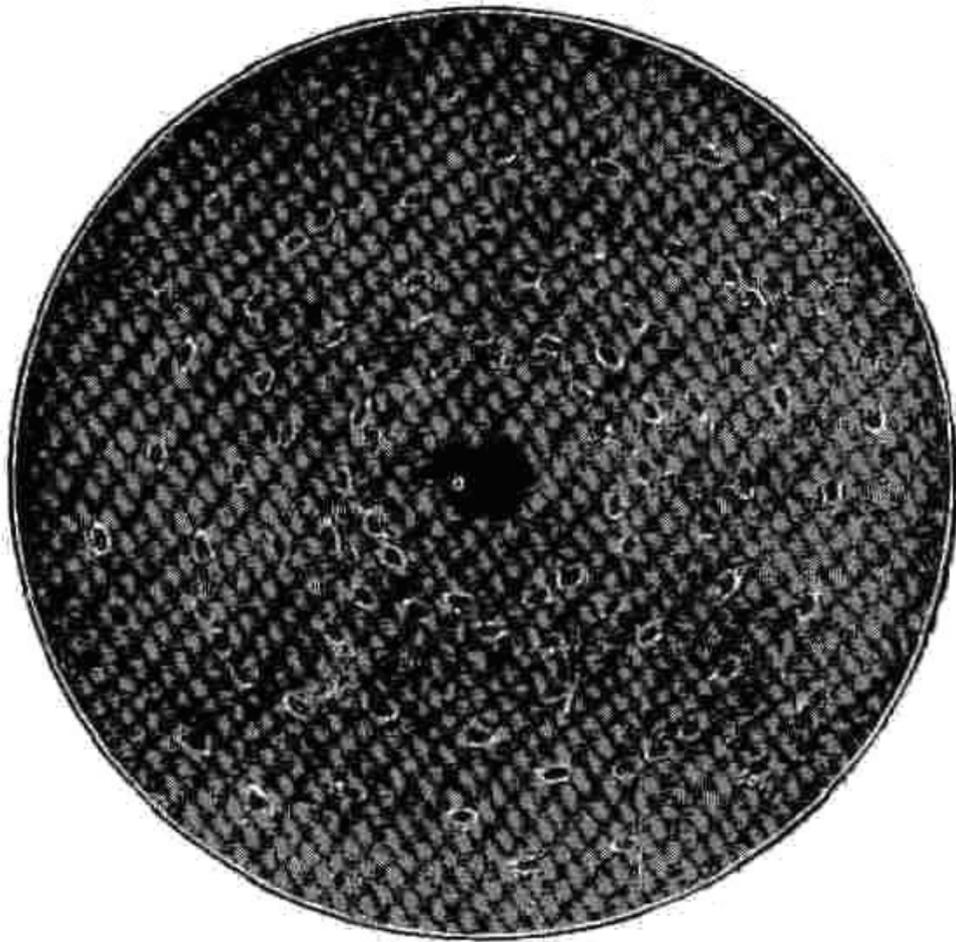


Fig. 6.

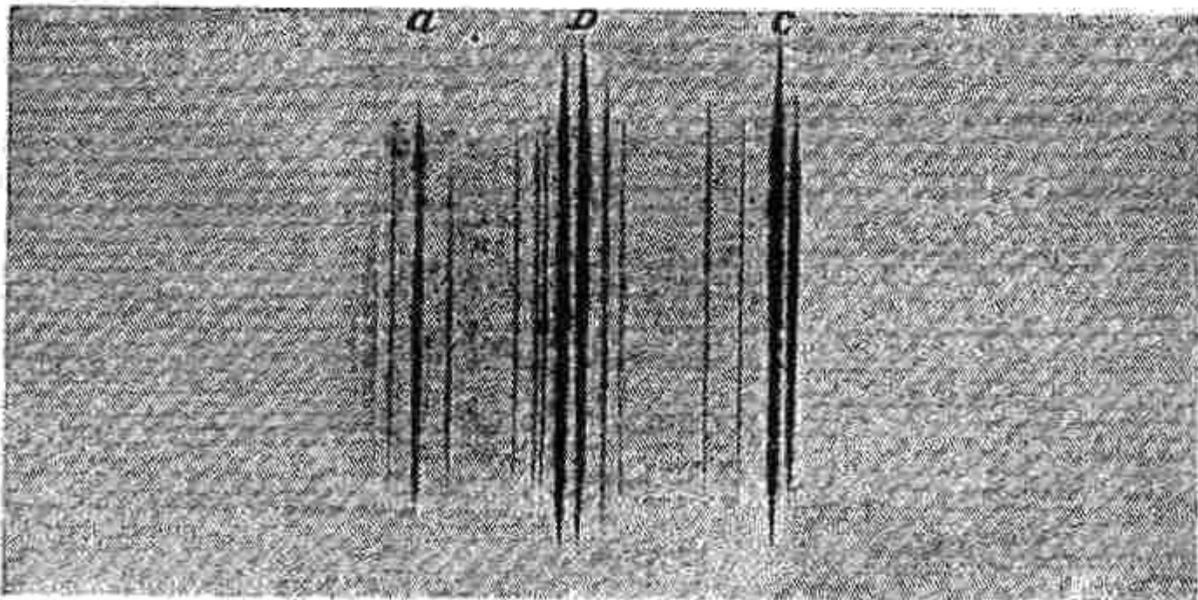


Fig. 7.