449

PETRU BOGDAN
PROFESOR DE CHIMIE FIZICALĂ
LA UNIVERSITATEA DIN IAȘI

RADIOACTIVITATEA
ȘI
STRUCTURA MATERIEI

Biblioteca USAMV Iași
Y153419

I 153.419
BIBLIOTECA
Institutului Agronomic Iași
T II-61.279

IAȘI
INSTITUTUL DE ARTE GRAFICE „VIAȚA ROMÎNEASCĂ"
1929

Cd. 722.

PREFAŢĂ

Fenomenele radioactivităţii au fost studiate într'un timp, când rezultatele obţinute în fisică pregăteau o adevărată revoluţie în ce priveşte concepţiile despre structura atomilor. De aceia am crezut necesar să dăm, în introducere, un rezumat al problemelor fundamentale şi al rezultatelor, la cari ajunsese ştiinţa înainte de discoperirea radioactivităţii, căci numai în cadrul acestor cunoştinţi pot fi înţălese cercetările radioactive.

Dezvoltînd apoi discoperirile din domeniul radioactivităţii am fost conduşi în mod fatal, ca să expunem starea actuală a ştiinţei cu privire la structura atomilor.

Am expus suficient de amănunţit modelul de atom al lui **Bohr-Rutherford,** *arătînd ce lumină nouă aduce el cu privire la interpretarea unor fenomene chimice. Pentru ca detaliile matematice să nu alcătuiască un balast în text, le-am expus în bună parte, în note adăogate la sfîrşit, urmînd în această privinţă pilda publicaţiilor apărute recent în străinătate.*

In sfîrşit terminăm cu indicarea literaturei, în special acea de care ne-am folosit în alcătuirea acestui volum.

Iaşi 1929.

Petru Bogdan
Profesor de chimie fisicală, Universitatea din Iaşi

INTRODUCERE

De cînd omul a început a se deda speculaţiilor filosofice-una din problemele ce şi-a pus-o a fost şi acea relativă la structura lumei înconjurătoare. Această lume apărea simţurilor lui pe de o parte *foarte variată*, atît în spaţiu cît şi în timp, iar pe de alta *continuă*.

Variaţia *în spaţiu* apărea în felul acesta, că pe pămînt avem nu numai animale, vegetale, aer, vapori de apă, apă licidă şi solidă, ci şi diferite feluri de substanţe, din care este alcătuită scoarţa globului, cum ar fi calcarul, argila, diferitele roci, diferitele minerale, etc., toate substanţe diferite unele de altele. Pămîntul deci se prezintă cu o structură *eterogenă*.

Variaţia *în timp* se arată prin aceia că substanţele se *schimbă* necontenit, fie că aceste schimbări sînt numai fisice fie că ele sînt chimice.

Lumea care ne înconjoară ni dă deci prin simţuri, ca primă impresie, *diversitatea*.

Necesitatea de generalizare şi de abstracţiune a pus omului de timpuriu problema alcătuirei materiei înconjurătoare şi alături de oameni, cari în această privinţă dădeau numai soluţia fixată de-a dreptul de simţuri, găsim şi personalităţi înzestrate cu mari puteri sufleteşti, cari au exprimat convingerea lor, că la baza tuturor corpurilor este o *materie unică*.

Se găsesc în anticitatea greco-romană, faţă în faţă, două concepţii, alcătuind două teorii cu privire la structura materiei: teoria *unităţii* şi teoria *diversităţii*.

Thales şi egiptenii credeau că toate corpurile sînt alcătuite din *apă*. Perşii şi *Heraclit* admit focul ca element unic din care ar fi alcătuită materia; *Anaximene* consideră aerul, iar *Xenofon* din *Colofon* pămîntul. In toate cazurile acestea avem în faţa noastră credinţa structurei *unitare*, de şi unul consideră focul, altul

aerul, altul apa şi altul pămîntul, ca materie primordială, din care apoi s'au format toate celelalte.

Faţă cu aceste vederi notăm şi teoria celor 4 elemente a lui *Empedocle*, care caută să explice cu ajutorul lor diversitatea corpurilor din jurul nostru, la cari *Aristoteles* adaogă substanţa a cincea (quinta essentia) care se găseşte la baza celorlalte patru şi se arată cu diferite aspecte, după proprietăţile pe cari le îmbracă. In definitiv, în anticitatea groco-romană, avem faţă în faţă două teorii, acea a *unităţii* materiei şi acea a *diversităţii* ei.

Sub orice formă se consideră materia, se credea în anticitatea greco-romană că o substanţă se poate *transforma* în alta, credinţă, pe care o întilnim mai departe în evul mediu, precum şi la începutul timpurilor moderne, cînd alchimiştii căutau mijlocul de a transforma metalele în aur.

Ideile acestea de materie unică şi transmutarea substanţelor, nu erau ceva arbitrar, ci erau generalizări a unor fapte de observaţie. Apa dă naştere la vapori; din apa de mare prin evaporare se obţin substanţe solide; plantele cresc numai dacă au apă etc. Toate aceste fapte generalizate duceau la concluzia că din apă obţinem aer, ori pământ etc. Numai în veacul al 18-lea prin lucrările lui *Scheele* [1]) şi mai ales a lui *Lavoisier*, s'a înlăturat definitiv credinţa că din apă ar lua naştere materii pămîntoase.

In acelaş fel se interpretau şi alte fapte: din sulfuri cu aspect metalic, ca galena se obţinea un metal, plumbul. Din plumb se poate extrage argint (cantităţi mici), etc...

Robert Boyle (1626—1691) cel dintăi fixază scopul chimiei. Citäm din *Chemista scepticus*.

„Chimiştii s'au lasat conduşi pînă acum de principii strîmte, lipsite de puncte de vedere mai înalte. Ei şau propus să pregătească medicamente şi să transforme metalele. Am încercat să consider chimia din alt punct de vedere, nu ca medic, nici ca alchimist, ci ca filosof".

Oamenii, „ar aduce lumei cel mai mare serviciu, punîndu-şi toate puterile ca să execute experienţe, să adune observaţii şi să nu stabilească vre-o teorie, fără de a fi controlat fenomenele cari se rapoartă la dinsa".

1) P. Bogdan, Introducere în chimia fisicală, teoria cinetică pag. 16 (1921)

„Adevărata problemă a chimiei este să cunoască compoziţia corpurilor". In acest scop *Boyle* se servea de analiza chimică. In urma lucrărilor experimentale, el a ajuns la concluzia, că există un număr de elemente, cu mult mai mare, şi că trebue să considerăm ca element „corpul pe care nu-l putem discompune mai departe, prin diferitele mijloace de cari dispunem".

Cum vedem *Boyle* fixează liniile conducătoare ale ştiinţei de astăzi. *Boyle* înclină către ideea că toate corpurile simple sînt alcătuite din o materie primordială unică.

In afară de problema *unităţii* ori a *diversităţii* materiei, antichitatea greco-romană a pus o nouă problemă: dacă materia este *continuă* ori alcătuită din particule foarte mici (atomii lui Leucip, Moschus din Sidon, Democrit, Lucretius Carus etc.).

Şi în această chestiune intervine *Boyle*, care admite că din corpurile simple rezultă cele compuse, prin aceia, că corpusculile din cari sînt alcătuite corpurile simple se unesc pentru a da naştere la corpuri compuse. *Boyle* este deci un precursor al lui *Dalton*.

Din acest punct de videre se găsesc deci faţă în faţă două teorii: teoria *continuităţii* materiei, aşa cum rezultă din observaţia directă şi teoria *discontinuităţii*, sau a alcătuirii materiei din părţi foarte mici, cari se grupează lăsînd între dînsele locuri iibere.

La sfîrşitul sec. al 18-lea ideile dominante erau acestea:

Există un număr de corpuri simple, sau *elemente*, din cari se alcătuesc toate corpurile compuse. Fiecare element este format după *Dalton*, din atomi nedestructibili, de structură omogenă, cari au pentru fiecare element o formă şi o mărime invariabilă. Atomii unui element sînt deci total diferiţi de acei ai altui element şi o transmutare a unui element în altul este deci imposibilă.

Secolul al 19-lea a moştenit de la cel precedent deci aceste idei fundamentale:

a) *diversitatea* materlei. Există un număr limitat de elemente, din care se alcătuesc toate corpurile.

b) Elementele acestea nu se pot transforma unele în altele.

c) Elementele sînt formate din atomi. La rîndul lor atomii prin unirea cu alţi atomi dau naştere la toate corpurile compuse. Masa unui atom este invariabilă. Sub această formă avem teoria *discontinuităţii* materiei.

Teoria atomică, complectată cu legea lui *Avogadro*, a pus

la îndămîna oamenilor de ştiinţă metoda sigură pentru fixarea ponderilor atomice şi moleculare.

Determinările de pond molecular din densităţile de vapori, apoi mai tîrziu din proprietăţile soluţiilor au permis ridicarea unui splendit sistem de chimie *structurală* şi au favorizat dezvoltarea chimiei, cu punctul culminant în sintezele de chimie organică.

Dezvoltarea teoriei cinetice si mai ales introducerea termodinamicei în studiul fenomenelor chimice au fixat atenţiunea asupra unor probleme nouă, şi în tot timpul veacului al 19-lea chimia s'a dezvoltat pe baza teoriei atomice şi a legei lui *Avogadro*, deci pe baza discontinuităţii materiei.

Analize exacte au căutat să fixeze ponderile atomice şi la baza tabelelor de ponderi atomice se găsea masa atomului de Hidrogen, care reprezenta cea mai mică masă atomică. Se credea că mase materiale mai mici decît a atomului de Hidrogen nu există.

In veacul al 19-lea chestiunea unităţii materiei a fost pusă în cîteva rinduri în discuţie.

1) In 1815 *Prout* în Anglia şi în 1817 *Meinecke*, pe continent, atrag atenţiunea asupra faptului că ponderile atomice ale elementelor date de tabelele de pe atunci, erau multipli ai masei atomului de Hidrogen; la baza structurei tuturor atomilor ar fi deci atomul de Hidrogen.

Determinările de ponderi atomice făcute de numeroşi experimentatori şi mai ales de *Berzelius* [1]) şi *Stas* aratară însă că la foarte multe elemente pondul atomic nu-i un număr întreg, aşa că ipoteza unei materii unice, care s'ar găsi la baza tuturor celorlalte nu fu admisă.

2) Incercările lui *Doebereiner* de a stabili relaţiuni între *ponderile atomice* a unor elemente, asămănătoare din punct de vedere chimic *(triadele* lui *Doebereiner)*, clasificarea lui *Gmelin* (1843), a lui *Chancourtois* (1862), a lui *L. Meyer* (1864), legea Octavelor lui *Newlands* (1864) şi mai ales clasificarea lui *Mendelejeff* (1869) readuseră pe tapet chestiunea unităţii materie.

Urmărind tabela lui *Mendelejeff*, constatăm că în coloană verticală creşterea de pond atomic conduce de la un element

1) P. Bogdan, Introducere în studiul chimiei fisicale, partea I, teoria cinetică, pag 34.

Li (6,94) la altul *Na* (23), asămănător din punct de vedere chimic cu celalt; tot aşa creşterea de la 23 (Na) la 39,10 (K) conduce la alt element monovalent; adăogirile acestea de masă ne schimbînd caracterul chimic, însamnă că şi ceia ce se adauge la masa atomului Li – Na, Na—K, trebue să presinte *aceiaş natură*. Aceasta-i adevarat pentru toate coloanele verticale

Li	Be	B	C	N	O	F
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl
K	Ca	Sc	Ti	V	Se	Br

In linie orizontală creşterea de pond atomic conduce imediat în clasificaţie de la

Li la Be
Na „ Mg
K „ Ca

adică de la elemente monovalente cu caracter metalic, la metale bivalente. La variaţii egale de proprietăţi trebue să corespundă în mod natural *egalitate* la părţile adăogate, adică creşterea pondului atomic se face prin mase de *natură asămănătoare*. Observaţia se întinde şi la alte grupări, cînd mergem în linie orizontală,

Be — B	B — C	N — O — F	
Mg — Al	Al — Si	P — S — Cl	
Ca — Sc	Sc — Ti	As — Se — Br	
Zn — Ga	Ga — Ge	Sb — Te — I	

Cu necesitate se pot scoate încheerile următoare:

a) masele atomilor la elementele de pond molecular mare rezultă din mase atomice mai mici prin adăogare de substanţă materială; materia adăogată presintă aceiaş natură, din punct de vedere fisic şi chimic, adică masele atomilor sînt alcătuite dintr'o substanţă primordială unică.

b) concluzia imediată a celei de mai sus este că atomul nu este ultima expresiune a materiei, ci că el formează un *sistem complex*, format din părţi asămănătoare

Mulţi au evidenţiat importanţa acestor concluzii rezultate, imediate ale sistemului periodic. Importanţa unei clasificări în sistem periodic reesă cu prisosinţă din cele de mai sus şi, de aceia înţălegem sforţările ce s'au făcut pentru a perfecţiona acest sistem. Pe de o parte *Ramsay* a înşirat în sistem şi gazurile nou discoperite He, Ne, Ar, Kr, *X*, cari fură aşezate într'o coloană

de valenţă zero; pe de alta s'au încercat aranjări în spirală, ori zig-zag a elementelor [1]). Incercările n'au putut înlătura obiecţiile ce se făceau sistemului şi anume:

în sistemul periodic avem 4 inversiuni: la Te — I, Ar — K, Co — Ni şi Th — Pa avem elemente cari din punct de vedere al proprietăţilor chimice trebue să stee în sistem în ordinea de mai sus; dar atunci se constată că elementele cari preced, au pond atomic mai mare decît a celor ce urmează

Te (127,5) —— I (126,92)
Ar (39,88) —— K (39,10)
Co (58,97) —— Ni (58,68)
Th (232,15) Pa (230).

Apoi pentru elementele

Fe (55,84), Co (58,97), Ni (58,68)
Ru (101,7), Rh (102,9), Pd (106,7)
Os (190,9), Ir (193,1), Pt (195,2)

a trebuit să se formeze o grupă a parte, a VIII, în afară de sistem. De asemenea nu pot fi aranjate în sistemul periodic elementele din aşa numita grupă a „pămînturilor rari" începind cu *La* (139) şi sfîrşind cu *Lu* (175). Impresia era că în sistemul periodic avem a face cu o *lege naturală*, a variaţiei periodice cu *pondul atomic*, dar tulburată de cause necunoscute. De aceia concluziile scoase cu privire la natura complexă a atomului şi la unitatea materiei nu puteau avea caracterul de concluziuni definitive şi gîndul fundamental era că *pondul atomic este proprietatea, de cari atîrnă toate celelalte.*

3) *Analisa spectrală.* Corpurile solide şi lichide incandescente dau spectru *continuu.* Gazurile incandescente dau spectre de emisiune formate din linii. Pentru a produce gazuri incandescente, evaporăm unele corpuri într'o flacără, cum ar fi acea a unei lămpi *Bunsen* ori *Teclu.* Alteori trecem discărcări electrice prin gazuri puse în tuburi *Geissler*, *Plücker* etc... Spectroscoapele, fie cu prisme, fie cu reţele, dau linii caracteristice corpurilor gazoase incandenscente.

Aceasta este metoda *analizei spectrale* datorită lui *Bunsen* şi *Kirchhoff.* Dacă trecem lumina albă prin vapori incandenscenţi, aceşti din urmă absorb razele caracteristice, pe cari aceiaşi va-

1) *Rydberg* a încercat a fixa regularităţile introducînd „numărul de ordine" (1886—1897) *Nernst*, Theoretische Chemie, pag. 188 (1900).

pori le emit şi în spectru apar linii negre. Asemenea linii negre servesc şi ele la caracterizarea corpurilor.

Spectrele de emisiune ale *Na, K* etc. sînt relativ simple. De oarece toate sările de sodiu puse în flacăra unui bec *Bunsen* dau acelaş spectru, s'a atribuit acest spectru atomilor de Na. La fiecare linie s'a putut determina *lungimea de undă* λ şi deci şi numărul de vibraţii pe secundă sau *frequenţa.* Cîtă vreme numărul liniilor corespunzătoare radiaţiilor trimese de corpuri e mic, se putea admite că *atomul* prin oscilaţiile lui, poate emite mai multe radiaţii, în tocmai după cum o placă de gramofon poate înscri mai multe sunete de o dată şi apoi le poate emite. Dar la alte elemente numărul liniilor este enorm, la fer [1]) ele se numără cu miile. Ipoteza simplă că *atomul* ar emite un număr aşa de mare de linii nu mai poate satisface şi de aceia s'a admis că ar exista *părţi de atomi*, cari prin oscilaţiile lor ar trimite un număr aşa de mare de raze. Cum vedem ipoteza aceasta arată că atomii alcătuesc *sisteme complexe* şi natural se pune şi chestiunea care e natura părţilor constitutive ale atomilor.

Fisica putea răspunde la această întrebare. Din moment ce *Maxwell* aratase că mase electrice în oscilaţii emit unde şi că origina undelor luminoase trebue căutată în mase electrice oscilatoare, se putea trage concluzia că părţile constitutive ale atomilor cari prin oscilaţiile lor în interiorul atomilor emit radiaţiile fixate la spectroscop, trebue să fie de natură electrică.

Concluziile acestea păreau prea îndrăzneţe. Trebuiau alte dovezi pentru a le primi. Asemenea dovezi s'au dat către anii 1895—1897. Le vom expune mai în urmă.

Pentru moment amintim că s'au studiat cu îngrijire liniile spectrale, căutîndu-se relaţii numerice între lungimile lor de undă. Lăsînd la o parte idea, dovedită în urmă neexactă, a lui *Lecoq de Boisbaudran* că în Optică radiaţiile s'ar succede ca şi sunetele în Acustică, amintim că elveţianul *Balmer* (1885) a aratat că o grupă de linii din spectrul Hidrogenului se poate calcula cu ajutorul formulei

$$\lambda = 3647{,}20\,\frac{m^2}{m^2-4}\ \text{Angströmi}$$

Alfred Stock, Ultrastrukturchemie, Iulius Spring, Berlin (1920) pag. 14.

unde λ este lungimea de undă a unei linii, iar în locul lui m trebue să punem succesiv numerile 3, 4, 5 etc... pîn la 31.

Spectrul Hidrogenului în *Angströmi*

Linia *H*	m	λ calculat	λ observat
α	3	6564,96	6564,97
β	4	4862,93	4862,93
γ	5	4341,90	4342,00
δ	6	4103,10	4103,11
ε	7	3971,40	3971,40

Formula de mai sus se transformă uşor aşa ca să dee λ în cm, ştiind că un Augströni este 10^{-8} cm. Avem

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{4.10^8}{3647{,}20}\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{m^2}\right) \text{ cm.}$$

Alte grupe de linii la H pot fi redate prin o formulă analoagă celei de mai sus; tot aşa la spectrele altor elemente; în general avem

$$\frac{1}{\lambda} = A\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right)$$

unde A e o constantă, iar pentru n şi m trebue puse numere întregi. Liniile care se leagă prin o asemenea formulă alcătuesc o *serie*.

Pînă în anul 1895 chimia s'a dezvoltat pe baza teoriei pluralităţii elementelor, cari constituesc materia şi a teoriei discontinuităţii ei. Numai cu multă timiditate s'au emis păreri cu privire la unitatea de structură a materiei. Dezvoltarea ştiinţei din acest timp n'a putut fixa aceste idei sporadice în cadrul cuceririlor definitive ştiinţifice. Acest rezultat a fost atins cum vom vedea din dezvoltările, cari urmează, numai după ce s'au fixat definitiv în ştiinţă lucrările teoretice şi experimentale relative la:

1) Teoria lui *Maxwell* cu privire la originea ondulaţiunilor electrice, cari cuprind în ele şi pe cele luminoase. Curenţi de convecţiune. Originea luminei.

1) Nernst Theoretische Chemie pag. 200 (1926).

2) Descărcări în gazuri rarificate. Raze catodice, raze X, raze-canal.

3) Natura razelor X. Spectroscopia cu raze X.

4) Radioactivitate.

Vom trece în revistă în primele capitole aceste chestiuni, rămînînd să fixăm concluziile în capitolile ultime.

CAP. I.

ORIGINEA RADIAŢIILOR

Curenţi de convecţiune. Energia are masă. Efecte Zeeman şi Stark.

Lucrările experimentale ale lui *Feddersen* (1836—1818) făcute în anul 1858 au aratat în ce chip se pot studia discărcările oscilatoare, al căror studiu teoretic fusese făcut în 1853 de *Sir W. Thomson (Lord Kelvin)*. Teoria electromagnetică a luminei arată că undele electrice datorite curenţilor oscilatori se propagă cu repegiunea luminei în eter şi în 1865 *Maxwell* reuşi să arăte că, din acest punct de vedere, radiaţiile luminoase sînt un caz special al undelor electromagnetice. In 1888 *Hertz* a dat metoda experimentală pentru evidenţiarea undelor electrice şi a pus astfel fundamentul pentru telegrafia fără fir *(Guglielmo Marconi)*, care dezvoltată a ajuns la starea actuală cunoscută din încercările radiofonice.

In primele momente curenţii electrici oscilatori, erau consideraţi ca mase electrice *continue* oscilînd după condiţiile, în cari se făceau experienţele.

Dar dacă cercetările arataseră că propagarea luminei este de natură electromagnetică, mai rămînea să se arăte că şi originea ei trebue căutată în oscilaţii de mase electrice.

Rezolvirea acestei chestiuni este în strînsă legătură cu o alta. Multă vreme curenţii electrici au fost consideraţi ca mase electrice *continui*, mişcate de puterile electrice. In 1881 *Helmholtz* atrăsese atenţia asupra posibilităţii ca electricitatea să aibă structură atomică. In acest caz masele electrice în mişcare ar fi constituite din atomi de electricitate în mişcare. In conductibilitatea electrolitelor masele acestea electrice sînt legate de atomii materiali şi formează astfel *ionii* [1]).

1) P. Bogdan Electrochimia pag. 62 (1927).

Se pune în acest caz problema: mase electrice discontinue, atomii de electricitate în mişcare presintă *aceleaşi efecte* ca şi masele continue, cu alte cuvinte, un atom de electricitate în mişcare dă naştere la un cîmp magnetic? Lucrările lui *Rowland, Pender, Crémieux, Vasilescu Karpen* etc. [1]) au arătat definitiv că atomii de electricitate în mişcare, adică *curenţii de convecţiune*, dau naştere la cîmpuri magnetice.

Mai mult decît atît: comparaţia oscilaţiilor electricităţii cu a unui pendul conduce la o concluzie fundamentală în ce priveşte *masa* [2]) corpurilor. La un pendul, îndepărtat de poziţia de echilibru, s'a executat lucrare mecanică, care a rîdicat masa, dîndu-i o cantitate de energie potenţială.

Cînd masa cade spre poziţia de echilibru, se transformă energie potenţială în actuală; cînd masa se rîdică, se transformă energia actuală în potenţială şi mişcarea masei materiale se face, cu consumare de energie actuală; masa materială opune o *rezistenţă de inerţie* acestei mişcări şi pentru a o putea mişca este nevoe să executăm lucrare mecanică contra acestei *rezisienţe de inerţie*. Tot aşa în cazul unui proces oscilator electromagnetic, care are loc cînd descărcăm, de exemplu, o butelie de *Leyda*, cu un fir metalic de rezistenţă mică, energia electrostatică scade, transformîndu-se în energie potenţială a cîmpului magnetic; la rîndul său, acesta dă naştere unui curent de direcţie contrară. Cu cît se face discărcarea, cu atît creşte energia cîmpului magnetic, care la rîndul lui se opune curentului, pînă îl anulează, pentru a da naştere curentului contrar. Un curent oscilator determină aşa dar în potriva lui un curent de sens contrar prin intermediarul energiei cîmpului magnetic; fenomenul este cunoscut sub numele de *Self-inducţie*. El are loc cîtă vreme intensitatea curentului principal presintă variaţii. Fisicienii au ajuns să identifice *rezistenţa de Self-inducţie* cu *rezistenţa de inerţie* ori masa materială [3]) şi un atom de electricitate în mişcare variată pe o direcţie oarecare prezintă o *self-inducţie*, care constitue *masa* materială *m* a atomului, aşa cum este definită în mecanica lui *Newton* [4]). Se exprimă rezultatul acesta însă şi în modul următor: *energia are masă* şi prin urmare poate fi atrasă de altă masă.

1) *H. A. Lorentz*, Elektrokentheorie.
2) *Grimsehl*, Fisica II pag. 324, 532 (1920).
3) *Boutaric* pag. 138.
4) Cînd repegiunea este mică.

Cînd masa, care atrage este pămîntul vom spune că *energia are greutate* [1]). Intre masa m a unei energii şi mărimea E a acestei energii avem relaţia dată de teoria relativităţii a lui *Einstein* [2])

$$m = \frac{E}{v^2}$$

unde v = repegiunea luminei.

Analoagă relaţiei de mai sus avem pentru temperaturi depărtate de punctul critic o expresiune, care leagă căldura de evaporare l de masa materială m şi de repegiunea sunetului v; relaţia are forma

$$m = \frac{l}{v^2}$$

l fiind căldura absorbită cînd evaporăm m gr. de lichid [3]).

In cadrul dezvoltărilor de mai înainte putem dezlega acum uşor şi chestiunea, dacă originea luminei este în mişcări oscilatoare de mase electrice. In 1896 *Zeeman* a descoperit că un cîmp magnetic influenţază lumina trimeasă, de oarece cîmpul magnetic schimbă spectrul. Chestiunea e cunoscută sub numele de *efect Zeemann* [4]). Vaporii de Sodiu incandescenţi emit lumina arătată de spectroscop sub forma a două linii D. Dacă vaporii incandescenţi sînt puşi într'un cîmp magnetic liniile sînt disfăcute în alte linii şi anume: dacă privim lumina paralel cu liniile de forţă ale cîmpului magnetic, se obţin două linii în loc de una, iar pe direcţie perpendiculară cîmpului magnetic se obţin 3 linii. Unele linii pot fi disfăcute în cîmpul magnetic într'un număr şi mai mare de componente.

In 1913 *Iohann Stark*, profesor de fisică în *Aachen* supuse vaporii incandescenţi la acţiunea unui cîmp electric puternic şi arată în felul acesta că lumina emisă este modificată de cîmpul electric *(Effect Stark)*.

Experienţele acestea au făcut dovada definitivă că lumina

1) *St. Procopiu*, Revista Adamachi V pag. 9 (1914).
P. Bogdan, Revista Adamachi IX, pag. 113, 162 (1923) Vezi Nota 1 de la sfîrşit.
2) *Nernst*, Theoretische Chemie, pag. 44 (1926). Relaţia e o urmare a equaţiilor de transformare *Lorentz*.
Boutaric, La physique moderne et l'électron pag. 181—187 (1927).
3) *P. Bogdan*, Introducere în teoria cinetică pag. 25 (1921). Ann. sc. de l'Université de Iassy, Tome V pag. 62—64 (1916).
4) *Grimsehl*, Lehrbuch de Physik, Vol. II pag. 261 şi 593 (1920).

este datorită unor mase electrice care execută mişcări oscilatoare.

Atunci, dacă atomii sînt sisteme complexe, alcătuite din părţi cari oscilează, din expunerea de mai sus rezultă, că *ceia ce-i comun atomilor diferitelor elemente sînt mase electrice în oscilare.*

Self-inducţia acestor mase electrice se resimte sub forma *masei materiale* a atomului, iar oscilările lor sînt causa luminei emise.

CAP. II.

IONIZAREA GAZURILOR

Discărcări electrice în gazuri. Raze catodice, Raze X, Raze anodice.

Ionizarea în gazuri. In 1887 *Arrhenius* stabilind teoria disociaţiei electrolitice, a putut arata că electricitatea este transportată în electrolite de *ioni*, mase materiale încarcate electric şi anume *Anioni* (încărcaţi negativ) şi *Kationi* (încărcaţi pozitiv). Cînd se depune la electrod 1 gr. atom de ion monovalent, curentul a transportat 96500 Coulombi. Dacă această masă electrică este distribuită egal pe cei $6{,}06 \times 10^{23}$ atomi cari se găsesc într'un gr. atom, avem pentru fiecare ion cantitatea de electricitate

$$e = \frac{96500}{6{,}06 \times 10^{23}} = 1{,}59 \times 10^{-19} \text{ Coulombi}$$

sau $e = 1{,}59 \times 10^{-19} \times 3 \times 10^{9} = 4{,}77 \times 10^{-10}$ unităţi electrostatice. Cantitatea *e* astfel calculată constitue quanta elementară electrică.

Pe un ion bivalent avem cantitatea 2e de electricitate, pe unul trivalent cantitatea 3e etc.

Trecerea electricităţii prin corpurile gazoase a fost explicată ca şi în cazul electrolitelor, prin existenţa de ioni în gazuri. Şi aici avem ioni positivi şi ioni negativi. S'a putut stabili că ionii au în gazuri repegiuni cu mult mai mari decît în licide. Aşa Kationul de *H* în *H* gazos are repegiunea 6,7 cm/Sec. pe cînd în apă repegiunea este de 0,00314 cm/Sec., adică în stare de gaz ionul pozitiv de *H* se mişcă de aproape 2100 ori mai răpede decît ionul de Hidrogen în soluţii apoase.

Mai amintim că fracţia de gaz ionisată este în genere mică şi că gazurile în general nu au ioni. Numai supuse la unii agenţi exteriori (ca lumina ultra-violetă sau raze luminoase, raze X, raze emise de corpurile radioactive) gazurile se ionizază parţial.

Conducînd curentul electric, gazurile îşi pierd ionii, cari se depun pe electrolizi şi conductibilitatea pentru electricitate dispare o dată cu dispariţia ionilor. Experienţa a aratat că ionii dintr'un gaz se recombină, aşa că după un oarecare timp gazul pierde conductibilitatea. Supunînd gazul unui cîmp electric perderea ionilor se face mult mai răpede. Conductibilitatea se pierde răpede cînd filtrăm gazul ionizat prin vată, lînă de steclă, prin pînze metalice fine, prin apă sau trecîndu-l prin tuburi metalice lungi şi de diametru mic (J. J. Thomson).

Un fenomen important, care a format obiectul a numeroase cercetări, este condensarea vaporilor de apă în jurul ionilor. Considerînd sistemul

apă licidă / vapori suturaţi

ştim că acesta este un sistem în echilibru dinamic. O mică scoborîre de temperatură ar trebui să aibă ca urmare condensarea vaporilor pînă se atinge forţa elastică maximă a vaporilor corespunzătoare temperaturei scăzute. Experienţa a aratat că o asemenea condensare nu se produce totdeauna. Să producem, în adevăr, vaporii saturaţi într'un gaz pe care l-am eliberat complect de pulberi prin trecerea gazului prin dopuri de vată. Dacă răcim acum gazul cu vaporii suturaţi, condensarea nu mai are loc. Starea aceasta se numeşte de *suprasaturaţie*. Gazul conţine acum mult mai multă vapoare de apă, decît în stare de saturaţie. Putem produce prin răcire sisteme *suprasaturate*, cari să conţină de şepte [1]) ori mai multă vapoare decît gazul saturat la aceiaş temperatură. Pulberile introduse în sistemul suprasaturat determină condensarea, diferitele granule constituind tot atîtea centre de condensare. In acelaş mod lucrează şi ionii, ca centre de condensare. Producînd prin mijloacele arătate ionizarea gazului, vaporii se condensază în jurul ionilor producînd neguri. S'a putut stabili o deosebire apreciabilă între ionii negativi şi cei positivi în ce priveşte puterea de condensare. Indată ce cantitatea de vapoare trece de 4 ori cantitatea vaporilor saturaţi, ionii negativi produc condensarea. Pentru ca să producem condensarea cu ionii positivi este nevoe ca gazul suprasaturat cu vapori să aibă de 7 ori mai mulţi vapori decît în stare de saturaţie. Prin formarea de neguri în jurul ionilor avem la îndămînă mijlocul de

1) *Boutaric*, La physique moderne et l'électron, pag. 20 (1927).

a face vizibili ionii şi din cele de mai sus se vede că putem face vizibili separat ionii negativi întâi apoi la un loc cei negativi cu positivi.

Din moment ce s'a explicat conductibilitatea gazurilor prin formarea ionilor, s'au făcut asupra acestora studii analoage cu acelea ce se făcuseră asupra ionilor din soluţii apoase. Cercetările fură lungi şi anevoioase. Ele fură executate în *Cavendish Laboratory* sub conducerea lui *J. J. Thomson*. S'au determinat mobilităţile ionilor, precum şi coeficenţii lor de defuziune şi s'a constatat că ei conduc, în total, aceiaşi cantitate de electricitate ca şi ionii din soluţii. Dacă distribuirea ar fi uniformă, ar trebui ca pe un ion gazos să se găsească aceiaş cantitate de electricitate, care se găsea pe un ion în soluţie.

Rezolvirea complectă a problemei cerea cunoaşterea numărului de molecule de gaz în cm^3. Ni găsim însă într'un timp, cînd teoria cinetică dădea în această privinţă numai indicaţii aproximative. De aceia fură imaginate alte metode de cercetare. Lucrările lui *Townsend, J. J. Thomson, Wilson* şi *Millikan* [1]) au rezolvit problema şi au arătat că ionii din gazuri duc cu dînşii *quanta elememtară de electricitate*

$$e = 4{,}774 \times 10^{-10} \text{ U. E. S. sau } 1{,}591 \times 10^{-19} \text{ Coul.}$$

$$\text{sau } 1{,}591 \times 10^{-20} \text{ U. E. M.}$$

în acord minunat cu numărul dedus pentru ionii electrolitici în soluţie. Cu aceasta se dovedea că ipoteza lui *Helmholtz* relativă la structura atomică a electricităţii este exactă şi că electricitatea apare în ioni fie în cantitatea *e*, fie în cantităţi multipli 2e, 3e etc...

Ionizarea unui gaz, cum ar fi H_2, ori O_2 etc... prin metodele expuse se explica prin aceia că o masă negativă *e* părăseşte un atom de H; atomul rămîne atunci încărcat *positiv*. Această împrejurare nu schimbă oare masa atomului de H? Ionul de *H* are aceiaşi masă ca şi atomul de *H*? Dacă ar fi o variaţie, ea atîrnă de masa μ corespunzătoare electricităţii *e*. Raportul $\frac{e}{m}$ putea fi determinat în cazul soluţiilor. Pentru a separa 1 gr. de

1) Vezi *Nota 2* de la sfîrşit.
" *Millikan*, l'Electron, traducere de *Lepape*, (1926) pag. 41—148.
" *Boutaric*, volumul citat, pag. 21—27. Se dau metodele experimentale.

Hidrogen sau $N = 60{,}6 \times 10^{22}$ atomi de Hidrogen se depun pe electrozi din soluţie 96500 Coul. = Ne Coul. Masa atomului de *H* fiind *m* avem

$$1 \text{ gr.} = Nm$$

şi

$$96500 = Ne$$

ceia ce conduce la

$$\frac{e}{m} = 96500 \text{ Coul/gr.}$$

Oare numărul acesta se păstrează între masa electrică minimă *e* şi masa μ corespunzătoare ei, dacă *e* s'ar mişca liber, fără să fie însoţit de masa vre unui atom?

Problema a fost pusă şi rezolvită cu ocazia studiului conducerei electricităţii prin gazuri rarificate, cînd s'a putut determina raportul $\frac{e}{\mu}$ pentru particulele emise de *Katodă* Aceste particule alcătuesc razele catodice şi de dînsele voim să ne ocupăm acum examinînd mai de aproape trecerea electricităţii prin gazuri rarificate.

Discărcări electrice prin gazuri. Forma discărcărilor atîrnă de presiunea gazului dintre electrozi. La anumită diferinţă de potenţial, variabilă cu forma electrozilor, distanţa lor, natura şi presiunea gazului, discarcarea se face prin *scînteia* electrică, care sare între electrozi. Cînd ambii electrozi sau macar unul este un vîrf, atunci avem o discarcare sub forma unui curent electric, care poate fi evidenţiat cu un Galvanometru. Cînd se face discarcarea prin vîrfuri sau sfere de raze mici, se observă la întuneric sau la lumină slabă efecte lumioase sub formă de fascicul de raze (aigrette), sau pătură luminoasă care acopere ambii electrozi; cele două pelicule luminoase sînt separate printr'un spaţiu întunecat (geana luminoasă).

Rezultatele cele mai interesante şi cari au determinat îndrumări de concepţii în ştiinţă, au fost acelea obţinute la trecerea discărcărilor prin gazuri rarificate închise în tuburi de steclă. In aceste tuburi se poate varia presiunea după voinţă. Incercări de acestea au fost făcute de *Plücker* (1859), *Hittorf* (1869).

In genere electrozii se fac din fire ori lame de Aluminiu, lipite de fire de *Pt*, cari sînt fixate în pereţii de steclă. In comerţ se găsesc sub diferite forme. Aşa tuburi *Plücker* (fig. 1) întrebuinţate în analiza spectrală, cercetîndu-se lumina de la par-

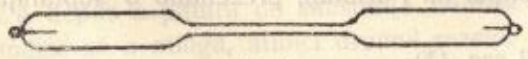


Fig. 1

tea din mijloc capilară. Avem apoi tuburi *Geissler*, de diferite forme. Cele mai simple au forma cilindrică (fig. 2). Anoda *A* e din fir de Aluminiu, Catoda *K* o placă circulară de *Al*.

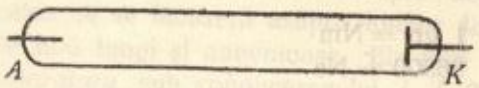


Fig. 2.

Anoda şi catoda se pot lega cu conductorii unei maşini electrostatice ori polii unei bobini de inducţie. Rezultate mai frumoase se obţin dacă întrebuinţăm o baterie de cîteva mii de accumulatori mici, care dă cîteva mii de volţi de tensiune. Redăm fenomenele observate la un tub de circa 40 cm. lungime şi 4 cm. diametru, plin cu aer uscat sau azot, legat cu o bobină care dă în aer scîntei de 4—5 cm.[1]) La presiunea atmosferică a aerului din tub nu au loc discărcări, distanţa dintre electrozi fiind de circa 40 cm. cu mult mai mare decît lungimea scînteei dată de bobină. Dacă diluăm continuu gazul se constată că la aprox. 40 mm. presiune sare o scîntee şerpuită mai slabă decît scînteia de 4—5 cm. din aerul de presiune normală, atît în ce priveşte intensitatea luminoasă, cît şi acea a explosiei. Continuînd cu evacuarea gazului lumina devine mai groasă, pleacă de la Anodă, e colorată roş şi nu ajunge la catodă, de care e separată prin un spaţiu întunecat. La catodă apare o pată luminoasă mică, albăstrie. La presiunea de circa 2 mm. lumina umple toată grosimea tubului păstrîndu-şi coloarea roşie, pelicula albastră de lîngă Catodă devine mai mare; spaţiul întunecat dintre lumina roşie şi catodă (spaţiul *Faraday*) devine mai mare.

La 1 mm. presiune coloarea roşie dispare şi lumina de la Anodă trece într'o lumină alburie (din cauza vaporilor de Mercur şi a unor cantităţi mici de hidrocarburi provenite de la unsorile maşinei pneumatice); în acelaş timp în lumina albicioasă apar straturi luminoase. Lumina albăstrie (geana luminoasă catodică) acopere acum întreaga catodă şi s'a depărtat de dînsa aşa încît între catodă şi lumina albăstrie avem al *doilea spaţiu întunecat* sau spaţiul lui *Crookes*. La 0,5 mm. lumina anodică s'a scurtat, straturile luminoase ale ei sînt mai puţine şi mai departate. Lumina albăstrie de la catodă s'a îndepărtat şi mai mult de catodă răspîndindu-se în spaţiul lui *Faraday*, prezentînd o suprafaţă

1) După *Grimsehl*, II pag. 430.

de separaţie bine văzută către spaţiul *Crookes*. Lîngă catodă apare acum o pătură de lumină colorată slab roşietic (stratul luminos catodic).

La 0,1 mm. presiune lumina anodică stratificată dispare; geana luminoasă catodică se întinde acum cu lumină slabă pînă aproape de anodă. La 0,02 mm. a dispărut şi geana luminoasă catodică şi tubul în interior nu mai presintă lumină aproape de loc, afară de un slab fascicol. Păretele tubului opus catodei a devenit acum fluorescent, răspîndind o lumină verzie.

Cu tuburi de forma fig. 3 fenomenele se presintă la evacuare la început ca şi în cazul precedent. Cînd a dispărut stratificarea din spaţiul anodic A, se constată că geana luminoasă catodică răspîndindu-se în spaţiul *Faraday*, nu trece în tubul lateral A, ci îşi continuă drumul în linie dreaptă către partea lărgită a tubului; de asemenea cu evacuarea creşte şi spaţiul *Crookes*, tot în direcţia *BC*, aşa încît nici lumina şi nici spaţiul *Crookes* nu urmează drumul către Anodă. Pe fundul balonaşului, opus catodei apare lumina verzie datorită fluorescenţei steclei.

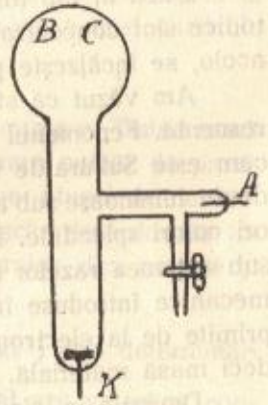


Fig. 3.

Crookes, care a observat cel dintăi în 1879 fenomenele, a explicat fluorescenţa steclei prin raze, cari pleacă drept linear de la catodă şi lovesc păretele opus. Acestea sînt *razele Catodice*. Constatînd că fenomenele se petrec în acelaş chip, oricare ar fi gazul închis în tub, *Crookes* crezu că în aceste condiţii apare o substanţă, *materia radiantă*, care ar constitui o a patra stare fisică a materiei. *Millikan*. l'Electron pag. 50 (1926).

Dispositive experimentale ingenioase au permis să se stabilească proprietăţile razelor catodice.

Razele catodice. Ele se propagă în linie dreaptă. O cruce de Aluminiu pusă în drumul lor produce o umbră în formă de cruce pe păretele fluorescent al steclei. Punînd în faţa catodei o placă străbătută de o deschidere, razele catodice invizibile trec prin deschidere; dacă în lungul tubului punem o placă pe care s'a depus o pătură de substanţe flourescente aşa ca razele catodice să o atingă, atunci drumul razelor este indicat de dîra lu-

minoasă produsă pe ecranul fluorescent. Drumul razelor mai poate fi arătat prin pata luminoasă produsă pe păretele opus catodei. Dacă punem perpendicular pe razele catodice, în experienţele precedente, un cîmp magnetic se constată fie prin fişia luminoasă, fie prin deplasarea petei fluorescente, că razele sînt deviate de cîmpul magnetic. Ele sînt deviate de asemenea de un cîmp electrostatic. Deviaţia arată că în aceste raze sînt curenţi de convecţiune formaţi din mase *negative* aruncate de catodă. Aceste mase negative au fost numite, după propunerea lui *Stoney* (1891), *electroni.*

Dacă în tub am pus o catodă concavă sferică, razele catodice sînt concentrate în centrul sferei şi o foiţă de platină pusă acolo, se încălzeşte pînă ce devine incandescentă.

Am văzut că stecla lovită de razele catodice devine fluorescentă. Fenomenul se repetă şi cu alte substanţe fluorescente, cum este Sulfura de Calciu, diferite minerale; introduse în tub ele devin luminoase sub acţiunea razelor catodice, prezentînd de multe ori colori splendide. De multe ori unele din substanţele acestea sub acţiunea razelor catodice devin fosforescente. Diferite sisteme mecanice introduse în tuburi sînt puse în mişcare de loviturile primite de la electronii razelor catodice. Aceşti electroni posedă deci masă materială.

Deviaţia în cîmpul magnetic, ca şi acea în cîmp electric, au permis să se măsoare atît repegiunea, cît şi raportul

$$\frac{e}{m}$$

la particulele razelor catodice [1]). S'a constatat:

a) că repegiunea electronilor atîrnă de diferenţa de potenţial dintre anodă şi catodă. In tuburile obicinuite ea este cam 0,1 din repegiunea luminei, cînd diferenţa de potenţial este cam 2000 Volţi şi 0,3 din repegiunea luminei pentru 20000 Volţi. Repegiunea electronilor este deci proporţională cu rădăcina patrată din diferenţa de potenţial.

Perrin a aratat că dacă razele catodice cad pe un conductor inelar pus în interiorul tubului şi dacă acest conductor prin un fir, care strabate stecla, este legat de un conductor exterior, inelul şi conductorul se încarcă cu electricitate negativă. Dacă în

1) Nota 3 de la sfîrşit.

tub punem substanţe sensibile, de exemplu, o placă fotografică, aceasta e impresionată de razele catodice. Razele catodice provoacă deci reacţii chimice.

Repegiunea mare a electronilor explică şi fenomenele urmatoare:

1) razele catodice pot străbate lame subţiri metalice; pregătind tuburi prevăzute cu asemenea lamele puse în faţa catodei, *Lenard* a reuşit să studieze razele catodice cari străbătuseră lamela şi eşiseră afară din tub.

2) Razele bombardînd o lamă de platină pot s'o aducă la incandescenţă, de şi masa lor e mică. Forţa vie a unei particule

$$\frac{1}{2} m v^2$$

este destul de mare, din cauza repegiunei enorme v. Ţinînd samă şi de faptul că lama e bombardată de un mare număr de particule, cari îi cedează forţa lor vie, se înţălege atunci de ce moleculele lamei întră în oscilări vii cari ca mişcări dezordonate, alcătuesc căldura lamelei; aceste oscilări puternice dau naştere şi la radiaţii luminoase.

b) In ce priveşte raportul $\frac{e}{m}$ s'a constatat [1]) prin determinări făcute după numeroase metode precise, că el are valoarea *constantă* $1{,}77 \times 10^8$ cînd măsurăm e în Coulombi. Rezultatul acesta este fundamental; el conduce la consecinţe, cari au schimbat cu desăvîrşire concepţia în ce priveşte structura materiei.

In conducerea electricităţii prin tuburi cu gazuri rari electronii joacă rol de *ioni negativi.* Am arătat că în fenomenul electrolizei, pentru H, care are pondul atomic cel mai mic, raportul

$$\frac{e}{m} = 96500 \text{ Coul.}$$

De oarece prin lucrările lui *Townsend, J. J. Thomson, Wilson, Millikan* etc... s'a stabilit definitiv natura atomică a electricităţii, fixîndu-se valoarea atomului de electricitate la

$$e = 1{,}59 \times 10^{-19} \text{ Coulumbi, sau } e = 4{,}774 \times 10^{-10} \text{ U. E. S.}$$

1) O primă determinare a fost făcută de *Schuster* în 1890; el găsi $\frac{e}{m} = 1{,}1 \times 10^7$ Coul. In 1697 *J. Thomson* găsi 8×10^7 prin metoda deviaţiei razelor catodice pe de o parte în cîmpul magnetic, pe de alta în cîmpul electrostatic.

este imposibil ca electronii să ducă cu dînşii mai puţină electricitate decît această valoare a lui e. Admiţind acelaş e în electroliză, ca şi în electronii razelor catodice, şi arătînd prin m masa atomului de H, iar prin μ pe acea a electronului, raporturile

$$\frac{e}{m} = 96500 \text{ Coul. şi } \frac{e}{\mu} = 1{,}77 \times 10^{8} \text{ Coul.}$$

conduc la

$$\frac{m}{\mu} = \frac{1{,}77 \times 10^{8}}{96500} = 1850$$

Pentru prima oară se arată astfel că există mase materiale mai mici de 1850 de ori decît atomul de H. Inscriind electronul între corpurile simple, pondul atomic al lui raportat la H = 1 este deci $\frac{1}{1850}$.

Valoarea

$$\frac{e}{\mu} = 1{,}77 \times 10^{8} \text{ Coul.}$$

se găseşte

1) ori care ar fi gazul închis în tub, şi ori din ce material ar fi catoda;

2) ori prin ce metode o determinăm; aşa din căldura produsă de loviturile electronilor şi intensitatea curentului; apoi din fenomenul *Zeemann*; în sfirşit din metoda lui *Einstein* şi *de Haas*[1]).

Atomii tuturor elementelor emit acelaş fel de electroni şi deci aceştia alcătuesc părţi constitutive ale tuturor atomilor. Prin oscilările lor ei provoacă emisiunea luminei.

Constatările făcute arată în chip neîndoios că se poate stabili o teorie *unitară* a materiei revenind aşa la una din concepţiile lumei vechi. Cu drept observă *Millikan* în cartea sa *l'Electron* (traducere franceză de *Lepape*), pag. 11 (1926) „că marele progres ce l-am făcut în timpurile moderne nu stă atît în concepţii, cît în descoperirea de baze pe cari se fixează aceste idei".

Mai amintim că din determinările lui v precum şi a raportului $\frac{e}{m}$, se constată că masa electronului variază ca repegiunea, ceia ce e în dezacord cu noţiunea de *masă*, aşa cum a fixat-o *Newton* în mecanică şi în acord cu concepţia că rezistenţa de

1) *Grimsehel* II pag. 242 şi 441.

inerţie ar avea ca origine rezistenţa electromagnetică. Variaţia masei ca rezistenţă electromagnetică, a fost calculată pe de o parte de *Abraham*, pentru cazul unei sfere încărcată cu electricitate cînd sfera se mişcă cu repegiunea v iar pe de alta din teoria relativităţii de *Lorentz*. Se arată că masa m trebue să crească, cînd repegiunea v tinde spre repegiunea luminei. Formula lui *Abraham*, nu este identică cu a lui *Lorentz*. Măsurătorile lui m şi v la electroni, par a arata că relaţia dedusă din teoria relativităţii redă mai bine rezultatele observate.

Razele anodice. Ni aşteptăm ca în tuburile cu aer rarificat curentul electric să fie format nu numai din electronii eliberaţi de catodă, ci şi de electricitate pozitivă, care pleacă de la Anodă. Asemenea curent pozitiv a fost observat întăi de *Goldstein* (1886). El se servea de un tub, în care catoda K avea una sau mai multe deschideri.

In spaţiul KB aflător îndărătul catodei *Goldstein* a observat un fascicol de raze, cari plecau dela deschiderea a şi cari au fost numite *raze canal*. Razele acestea sînt deviate de cîmpuri magnetice ori electrostatice puternice întocmai cum ar fi deviat un curent de electricitate positivă. Studiate de *Goldstein*, *Wien* şi mai ales *J. J. Thomson*, s'a constatat că în aceste raze avem corpuscule încarcate pozitiv. S'a putut determina repegiunea v şi raportul $\frac{e}{m}$ la aceste raze. Masa unui corpuscul este tot aşa de mare ca a ionilor din soluţii. *Electronul positiv este deci identic* cu *ionul positiv*. *J Stark* a cercetat spectroscopic lumina trimeasă de ionii positivi ai razelor canal. El a putut constata cu ocazia aceasta efectul *Doppler-Fizeau* şi din deplasările liniilor spectrale a putut deduce repegiunea cu care se mişcă ionii positivi din razele canal. Liniile sînt cele caracteristice gazului închis în tub, dar deplasate spre violet sau roş, după cum privea lumina contrar direcţiei mişcării ionilor sau pe direcţia ei. Cu ocazia acestor studii s'a putut stabili, cari ioni se mişcă în aceste radiaţii şi s'a putut constata în tuburi cu H prezenţa ionilor H^+, H_2^+, H_3^+; la mercur pe lîngă ionul monovalent Hg^+, s'au

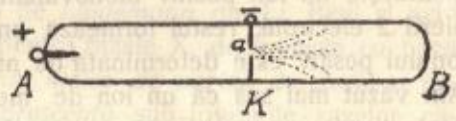


Fig. 4.

găsit ioni Hg_{+}^{+} (bivalenţi), ba chiar ioni cu valenta 9. In ionizarea *H* avem H^+ şi H^- [1]).

O altă metodă de producere a razelor anodice au realisat-o *Reichenheim* şi *Gehrke* 1906. La Anodă se pune o pătură a unei sări topite. La un vacuum foarte înaintat, curentul dă naştere la raze de lumină, cari pleacă de la Anodă şi cari cercetate spectroscopic arată liniile metalului din sare. Razele constau din ioni positivi.

Din cele de mai sus tragem concluzia, că în tuburi cu gazuri sub presiune extrem de mică, curentul electric este condus de ioni; ca ioni negativi avem totdeauna electronii, cu o masă extrem de mică; electricitatea positivă este transportată de *ionii positivi*. Procesul formărei acestor ioni ar fi următorul: *un atom neutru pierzind un electron*, rămîne încarcat positiv, cu o masă electrică corespunzătoare electronului pierdut. Cînd se perde un electron, *atomul* ori grupul din care s'a desprins acest electron alcătueşte un ion positiv monovalent. Dacă un atom ori un grup pierd 2 electroni, restul formează un ion *bivalent* etc... Valenţa ionului positiv este determinată de numărul electronilor disfăcuţi. Am văzut mai sus că un ion de mercur poate elimina pînă la 9 electroni.

Trecerea unui atom din stare neutră în stare de ion este însoţită de oarecari schimbări în spectrul de emisiune. Metalele alcaline dau în flacăra obicinuită ori în arc spectrul atomului neutru (caracterizat prin serii de dublete); în spectru de scîntei în care atomul este ionizat, se constată un spectru asămănător aceluia al gazurilor nobile. Seria de triplete a metalelor alcalino-pămîntoase observate în arc ori în flacără (atomi neutri), trece în spectre de serii de dublete în spectrul de scîntei. (*Nernst*, Theoretische Chemie, 206 ediţia 1926).

Raze X. In 1895 *Roentgen* observă că un tub *Crookes* închis într'o cutie de carton, provoca fluorescenţa platino-cianurei de Bariu pusă pe un ecran. Rezulta de aici că din acel tub treceau prin cartonul opac raze încă necunoscute, cari provocau flourescenţa. Studiile făcute cu aceste raze au aratat că ele:

1) strabat unele corpuri opace pentru lumina obicinuită;

1) *Nernst*, peg. 190, citează vederile lui *Moers*, că *Li H* prin disociere electrolitică dă aninonul H^-.

ele trec prin hîrtie, carton, ţăsuturi, lemn; strabat plăcile cu atît mai uşor, cu cît acestea sînt mai subţiri; de asemenea strabat mai uşor corpuri de densitate şi pond atomic mic, decît prin corpuri de densitate şi pond atomic mare. O foae de plumb le reţine. De oare ce nu strabat oasele, dar trec mai uşor prin părţile cărnoase ale corpului, ele servesc în *Radioscopie* şi *Radiografie*.

2) Ele exercită acţiuni chimice, atăcînd plăcile fotografice.

3) Se propagă în linie dreaptă.

4) Nu sînt electrizate, dar ionizează gazurile, făcîndu-le conductoare de electricitate.

5) Au efecte fiziologice; influenţază organele animale, producînd grele boli ale pielei, cînd lucrează mai mult timp. Distrug celulele vii.

6) Excită flourescenţa multor substanţe.

7) Nu sînt deviate nici de cîmpurile magnetice nici de cele electrostatice.

După puterea de străbatere *Roentgen* a aratat că există raze *X tari* (cu mare putere de străbatere) şi *moi* (cînd puterea de pătrundere e mică). Stecla obicinuită reţine o bună parte din razele moi. Stecla pregătită de *Lindemann* din Li, Beril şi acid boric este mai transparentă pentru razele X, decît stecla cu bază de K, Na şi Ca. Razele X *sînt emise de partea de steclă a tuburilor Crookes, devenită flourescentă* sub loviturile razelor catodice. Astăzi pentru obţinerea acestor raze se întrebuinţează tuburi numite *focus*. Catoda formată din o lamă de Al sferică concavă concentrează razele catodice pe un disc format din unul din metalele următoare: Pt, Os, Ir, Ta, Wo, fixat într'un cadru format din un tub de Cupru. In diferite moduri se realizază răcirea discului metalic, bombardat de razele catodice. Discul acesta emite, sub impulsiunea loviturilor, razele *X*. El este cunoscut sub numele de *anticatodă*.

In tuburile acestea presiunea e variabilă, ceia ce face că razele produse de dînsele, n'au totdeauna aceleaşi proprietăţi în ce priveşte pătrunderea.

Coolidge a realizat tuburi, cari elimineză această cauză de variaţie. *Catoda* este formată în acest caz dintr'o spirală de Wolfram, pe care-l aducem la incandescenţă cu ajutorul unor accumulatori. Firul acesta emite electroni. In tub se face un vid foarte înaintat de ordinul $\frac{1}{100000}$ mm. mercur. *Anticatoda* constitue şi

anoda. Sub acţiunea forţei electromotrice ionii emişi de catoda incandescentă lovesc cu repegiuni enorme anticatoda şi dau naştere razelor *X*.

In genere razele X emise de anticatodă sînt complexe, adică formate din mai multe feluri de radiaţii. Aceste raze sînt *primare*. Dacă razele primare cad pe un metal, acesta trimete raze X, care se numesc *secundare*.

Fizicianul *Barkla* a aratat că un corp lovit de razele X emite trei feluri de raze:

1) raze catodice;

2) raze X de aceiaş tărie, ca şi cele primare, cu cari am influenţat corpul; e un fenomen de difuziune a razelor X,

3) Raze X caracteristice corpului lovit de razele primare; ele sînt totdeauna mai puţin tari decît razele primare: gradul de tărie atîrnă numai de natura chimică a atomului escitat şi este cu atît mai mare, cu cît pondul atomic al metalului excitat este mai mare.

Pe de altă parte *Barkla* a arătat că printre razele secundare există două grupe de radiaţii caracteristice pe cari el le-a numit radiaţii K şi L. *Siegbahn* a putut adăoga o altă serie, raze *M*. Asemenea radiaţii nu se întîlnesc la elementele cu pond atomic mai mic de 28; radiaţiile *M* au fost observate numai la elementele cu pond atomic foarte mare. Lucrările acestea a lui *Barkla* fură executate înainte de discoperirea naturei oscilatoare a razelor X, despre care vorbim în cele ce urmează.

Natura ondulatoare a razelor X. In 1912 *von Laue* a imaginat o metodă de cercetare, care a permis să se clarifice chestiunea relativă la natura razelor X. Dacă aceste raze constau, ca şi cele de lumină, din oscilaţii în eter, ele ar trebui să interfereze. De oarece bănuia că lungimea lor de undă este mică, el a imaginat cercetarea lor cu ajutorul reţelelor produse de aşezarea moleculelor în cristali. După îndemnul lui *von Laue*, în 1912 *Friedrich* şi *Knipping* lăsară să cadă un fascicol de raze X perpendicular pe o lamă de *blendă* (SZn) tăetă perpendicular axei cristalografice. Aranjamentele moleculare produc *reţele* încrucişate. Razele eşite din cristal cădeau pe o placă fotografică. La disvălirea plăcei, după o expunere îndelungată, ei constatară presenţa a numeroase pete negre aşezate simetric în jurul unei pete centrale distribuţia fiind în conformitate cu simetria cristalului. Din

Bibliotecă Institutului Agronomic Iaşi

acest moment natura ondulatoare a razelor *X* fu definitiv fixată şi o dată cu aceasta s'au deschis perspective nouă pentru cercetările experimentale ştiinţifice. Razele *X* presintă deci fenomenul difracţiei şi al interferenţei.

Producerea lor la anticatodă poate fi acum uşor explicată. Electronii razelor catodice lovind anticatoda, sînt reţinuţi de dînsa. Un electron de forţa vie $\frac{mv^2}{2}$ fiind oprit *brusc*, la această variaţie bruscă a repegiunei masei electrice corespunde o radiaţie, *care n'are caractere de mişcare periodică*, şi care a fost numită *radiaţie de impuls* (unii îi zic *de frînare*, de oarece compară oprirea bruscă a electronului cu oprirea unei mişcări prin punerea în acţiune bruscă a unei frîne, *Bremsstrahlung)*. De oarece anticatoda e lovită în acelaş timp de mai multe proectile catodice, de la dînsa pleacă deci multe raze de impuls. La rîndul lor radiaţiile de impuls lovind atomii metalului de la anticatodă, provoacă mişcările lor caracteristice, după cum radiaţiile luminoase căzînd pe diferite corpuri, provoacă fluorescenţa lor. Aceste mişcări sînt sigur de natură ondulatoare, aşa că sub acţiunea proectilelor catodice, metalul de la anticatodă, pe lîngă numeroasele

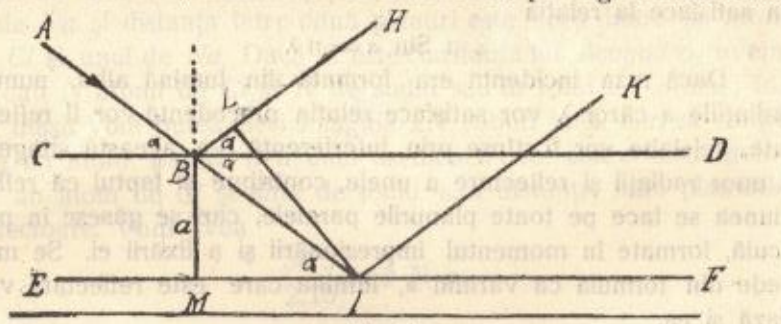


Fig. 5.

raze de impuls, dă şi oscilaţii, trimite şi radiaţii regulat periodice, caracteristice metalului. *Grimsehl* evidenţiază fenomenul, comparîndu-l cu ceia ce s'ar întîmpla, cînd o grindină de proectile ar cădea pe un clopot: s'ar auzi nu numai ropotul produs de loviturile proectilelor de clopot, dar şi sunetul propriu al clopotului.

Interferenţă de raze X prin reflexiune la suprafaţa cristalilor. Fisicienii *Bragg* (tatăl şi fiul) imaginară o nouă metodă de analiză a unui fascicul de raze X, în care se găsesc raze de diferite lungimi de undă. Se reproduce aşa fenomenul care are loc

cînd cade lumina pe o placă întrebuinţată în fotografia colorilor după procedeul *Lippmann*. In placa impresionată şi fixată se găsesc granulele de argint aşezate în pături equi-distante. Un strîns fascicul monocromatic *AB* căzînd pe pătura *CD* întîlneşte o granulă de argint în B; raza e în parte reflectată după *BH*, în parte pătrunde însă în interior şi este reflectată de al doilea plan EF: reflexiunile se fac după regulele obicinuite aşa că unghiurile arătate de figură cu α sînt toate egale. S'a dus linia IL perpendiculară pe BH; razele reflectate *BH* şi IK presintă diferenţa de drum *BI-BL*, care poate fi calculată. Notăm cu *a* distanţa între cele 2 planuri CD şi EF; atunci

$$a = BI \text{ Sin } \alpha$$

iar

$$BL = BI \text{ Cos } 2\alpha$$

Atunci

$$BI - BL = BI\ (1 - \text{Cos } 2\alpha) = \frac{a}{\text{Sin } \alpha}(1 - \text{Cos } 2\alpha) = 2\ a\ \text{Sin } \alpha$$

De cîte ori această diferenţă de drum va fi egală cu λ, 2λ, 3λ . . . . $n\lambda$ de atîtea ori din interferenţa razelor reflectate BH şi IK vom avea *maximum* de intensitate luminoasă. In poziţia indicată va fi reflectată numai lumina monocromatică, a cărei λ va satisface la relaţia

$$2\ a\ \text{Sin } \alpha = n\lambda$$

Dacă raza incidentă era formată din lumină albă, numai radiaţiile a căror λ vor satisface relaţia precedentă vor fi reflectate, celelalte vor fi stînse prin interferenţă. La această stîngere a unor radiaţii şi reflectare a uneia, contribue şi faptul că reflexiunea se face pe toate planurile paralele, cari se găsesc în peliculă, formate în momentul impresionării şi a fixării ei. Se mai vede din formulă că variind α, lumina care este reflectată variază şi ea.

Figura de mai sus poate servi spre a face înţăles fenomenul reflectării razelor X la suprafaţa cristalilor. Moleculele acestora formează straturi paralele şi razele, cari cad, în urma interferenţei sînt reflectate numai cînd λ a lor satisface relaţiei

$$2\ a\ \text{Sin } \alpha = n\lambda$$

Fisicienii *Bragg* lasau să cadă raze X pe faţa unui cristal; faţa putea fi învîrtită în jurul unei axe, aşa ca unghiul α format de raze şi de faţă să poată lua toate valorile de la 0^0 la 90^0. La anumite valori a lui λ erau raze reflectate; ei cercetau aceste

raze prin acţiunea lor de discarcare a unui electroscop şi determinau aşa poziţiile cari dădeau maximum de intensitate a razelor reflectate. Metoda fu perfecţionată de *Compton*, care dispuse lucrurile aşa ca intensităţile aratate în discarcarea electroscopului să fie înregistrate automat. Metoda de cercetare ajunse curentă din moment ce ducele de *Broglie* utilisă placa fotografică pentru înregistrarea acţiunilor razelor reflectate. Disvălind şi fixînd placa se obţin adevărate *spectre*.

Relaţia

$$2\ a\ \text{Sin } \alpha = n\lambda$$

poate fi utilisată în două direcţii. Cunoscînd pe *a* putem determina λ. De *Broglie* utilizînd cristali de sare (Cl Na) găsi $\lambda = 9{,}89 \times 10^{-9}$ cm.

Valoarea lui *a* o calculează *Bragg* la cristalul de *Cl Na*, considerînd un cub care conţine în el 58,5 gr. de Na Cl, adică molecula-gr. Densitatea sării fiind $d = 2{,}15$ volumul molecular al clorurei de sodiu cristalizată este $\frac{58{,}5}{2{,}15}$. Distribuţia atomilor de Cl şi Na trebue să se facă aşa ca în cristal să avem simetria cea mai mare; în diferite planuri avem deci atît atomi de *Cl* cît şi de *Na* şi distanţa între două planuri este acea dintre un atom de *Cl* şi unul de *Na*. Dacă *N* este constanta lui *Avogadro*, avem în cub *N* atomi de *Cl* şi *N* de sodiu sau în total *2N* atomi; între dînşii vom putea deci imagina *2N* cuburi mici, cari să conţie cîte un atom. Latura *a* a unui asemenea cub, este şi distanţa între un atom de *Cl* şi altul de sodiu sau distanţa între planurile reflectoare. Vom avea

$$\frac{58{,}5}{2{,}15} = 2\ N\ a^3$$

de unde

$$a = \sqrt[3]{\frac{58{,}5}{2{,}15 \times 2N}} = 2{,}81 \times 10^{-8} \text{ cm.}$$

Utilizînd această valoare precum şi datele ducelui de *Broglie* pentru α s'a găsit

$$\lambda = 9{,}89 \times 10^{-9} \text{ cm.}$$

Invers, fixînd astfel valoarea lui λ pentru radiaţiile emise de un anumit tub în condiţii cunoscute, vom putea determina la cristale valoarea *a*. *Bragg* au făcut asemenea determinări la la-

mele de *ClNa* tăete perpendicular pe diagonala cubului sau şi în alte direcţii şi a găsit valori cari concordă cu cele calculate pe baza teoriei structurei cristalilor după *Bravais*,

Spectroscopia cu raze X permite să fixăm structura cristalilor. *Debye şi Scherrer* au modificat metoda, aplicînd-o la cristali mici orientaţi la întîmplare. Se pot capata astfel cunoştinţe despre distanţele atomilor şi despre structura moleculelor, cum ar fi la Benzol, la cărbune (diamant, grafit) etc... Mai mult decît atît, *Debye* a anunţat că şi electronii, cari alcătuesc atomii, îşi arată influenţa lor în fotografii, aşa că prin metoda aceasta s'ar putea determina numărul şi aşezarea electronilor constituenţi ai atomilor [1]).

S'a mai constatat că multe granule de coloid aur şi argint sînt formate din cristali foarte mici [2]). Acid silicic coloidal vechiu, arată început de cristalizare; celulosa e cristalină; glicogenul amorf, tot aşa amidonul, albumina, caseina.

In cristalii de FNa, Cl Na atomii sînt sub formă de *ioni* şi forţele care-i ţin uniţi sînt deci de natură electrică. Pentru cristalii de *Na* metalic am avea de luat ca punct de plecare cristalii de *ClNa* şi să înlocuim ionul de *Cl* printr'un electron. In privinţa spectrelor de raze X date de metale revenim imediat.

Pentru moment arătăm că pe cale teoretică simplă se poate calcula lungimea de undă cea mai scurtă dată de un tub. Dacă tubul este pus sub acţiunea unei diferenţe de potenţial V, în momentul cînd masa e a unui electron e aruncată de catodă, se comunică electronului energia eV care apare sub formă de energie cinetică

$$\frac{1}{2}\, m\, v^2 = eV$$

de unde se deduce că repegiunea v a electronului este proporţională cu $\sqrt{V}$, ceia ce am accentuat mai înainte la pag. 24.

Cînd electronul este oprit brusc la anticatodă energia aceasta se eliberează sub formă de *quante* de frequenţă ν, aşa că avem

$$e\, V = h\, \nu$$

1) *Alfred Stock*, Ultrastrukturchemie 26,41 (1920).
Bulletin de la Soc. Chimique 1922, 4 Serie, t XXXI-XXXII No. 1. Conferinţa *Lepape* pag. 1—95.

2) *Nernst*, Theor. Chemie 497 (1926). La pag. 291 se dă o bogată literatură.

unde h e constanta lui *Planck*. Dar dacă λ e lungimea de undă şi c repegiunea luminei, avem

$$\lambda = c\, T = \frac{c}{\nu}$$

ceia ce conduce la

$$\lambda = \frac{h\, c}{e\, V}$$

Avem $h = 6{,}415 \times 10^{-27}$, $c = 3 \times 10^{10}$

$e = 4{,}774 \times 10^{-10}$ şi V măsurat în unităţi electrostatice. Dacă exprimăm V în volţi trebue să punem în formulă pentru forţa electromotrice în unităţi electrostatice valoarea $\frac{V \text{ volţi}}{300}$. Atunci

$$\lambda = \frac{12100 \times 10^{-8}}{V} \text{ cm}$$

Se poate calcula deci λ din V în Volţi. Formula fu găsită experimental exactă şi fu utilizată de *Wagner* (1918) ca să fixeze valoarea constantei lui *Planck*. El găsi

$$h = 6{,}50 \times 10^{-27}$$

Menţionăm încă faptul că în tuburile *Geissler*, *Crookes*, *Roentgen* etc... căderea de potenţial nu se face în chip egal, ci că au loc căderi neobicinuit de mari în vecinătatea electrozilor. In special în tuburile unde vidul este mare, are loc o variaţie enormă în vecinătatea catodei şi electronii sînt aruncaţi cu repegiunea corespunzătoare acestei căderi.

Spectroscopia cu raze X la metale şi metaloide. Razele X primite de la un tub cad pe un corp; ele provoacă emisiuni de *raze secundare* din partea corpului; avem astfel în faţa noastră un adevărat fenomen de *fluorescenţă* provocat de razele X. Printre radiaţiile de fluorescenţă ale corpurilor am amintit că *Barkla* deosebise două feluri de radiaţii caracteristice corpurilor, pe cari el le-a numit raze K şi L. El credea că aceste radiaţii sînt omogene. Analizînd radiaţiile de flourescenţă ale corpurilor provocate cu raze X prin metoda reflexiunei la suprafaţa cristalilor, s'a ajuns la unele constatări fundamentale. Spectrele obţinute cu ajutorul plăcilor fotografice în aceste cazuri sînt spectre de *emisiune*. Radiaţiile de fluorescenţă se provoacă prin raze X primare, de

lungime de undă mai mică decît a razelor secundare emise. Metoda descrisă mai sus arată că la fiecare radiaţie putem cunoaşte valoarea lui λ.

Fiecare element de pond atomic mai mare de 23 presintă aşa spectrul său caracteristic; elementele cu pond atomic mai mic de 23 *(Na)* nu dau spectru de raze X. Elementele îşi păstrează spectrul lor, chiar cînd ele fac parte dintr'un aliaj ori combinare chimică. Alama dă spectrele *Cu* şi a *Zn* suprapuse; *ClNa* dă spectrele *Cl* şi a *Na*.

Comparînd spectrele obţinute cu razele *X* la diferitele elemente *Moseley* a ajuns la rezultate surprinzătoare. Pentru a uşura expunerea rezultatelor obţinute, *Moseley* consideră şirul elementelor aşezate după ordinea crescîndă a pondului atomic, aşa cum se face în sistemul periodic. Notează cu 1, 2, 3 . . . . elementele, începînd cu *H*, care e notat cu 1, continuînd cu *He*, 2, etc... Numerile acestea arată locul ocupat de un element în sistemul periodic şi au fost numite *numere de ordine*. Le notăm cu *n*. Natural cînd se face şirul elementelor se ţine seamă de proprietăţile chimice ale elementelor, aşa cum a făcut-o *Mendelejeff*. In aceste condiţii avem locuri libere cărora le atribuim un *număr de ordine* ştiind că elementul corespunzător nu se cunoaşte încă. Aşa între *Mo* (n = 42, pond. atomic = 95) şi *Rutheniu* (n = 44, pond. atom. 101) există un loc liber, unde trebue să-şi găsească loc un element încă necunoscut cu n = 43. In aranjarea aceasta să lăsăm pentru moment la o parte elementele cari prezintă anomalii (Ar, K; Te şi I etc. vezi pag. 10)

Se constată aşa că de la *Na* (n = 11) pînă la *Neodym* (n = 60) avem elemente cari dau o serie de 5 linii (seria *K*) aratate cu literile K_α K_β... în ordinea în care λ descreşte. Seriile acestea se întîlnesc la elementele aratate, fiind asămănătoare atît în ce priveşte numărul liniilor, cît şi poziţia lor relativă şi intensitatea radiaţiei. O singură deosebire avem de semnalat: comparînd λ corespunzător liniilor K_α, constatăm că λ scade cu cît numărul de ordine creşte. Acelaş lucru pentru fiecare K_β a diferitelor elemente etc. Grafic se arată acest lucru, cum se vede din figura alăturată, unde liniile seriei *K* trec din ce în ce mai spre stînga, adică către lungimele de undă mici. In adivăr ca ordonate avem trecute aici numerile de ordine *n* iar ca abscise

lungimele de undă, exprimate în *Angströmi* (1 A = 10^{-8} cm.) Din tabelă se vede că elementele pînă la n = 52 arată numai seria *K* de linii. De la n = 35 apare pe lîngă seria *K* şi seria *L*; aceasta din urmă e compusă din 10—14 linii şi o întîlnim la toate

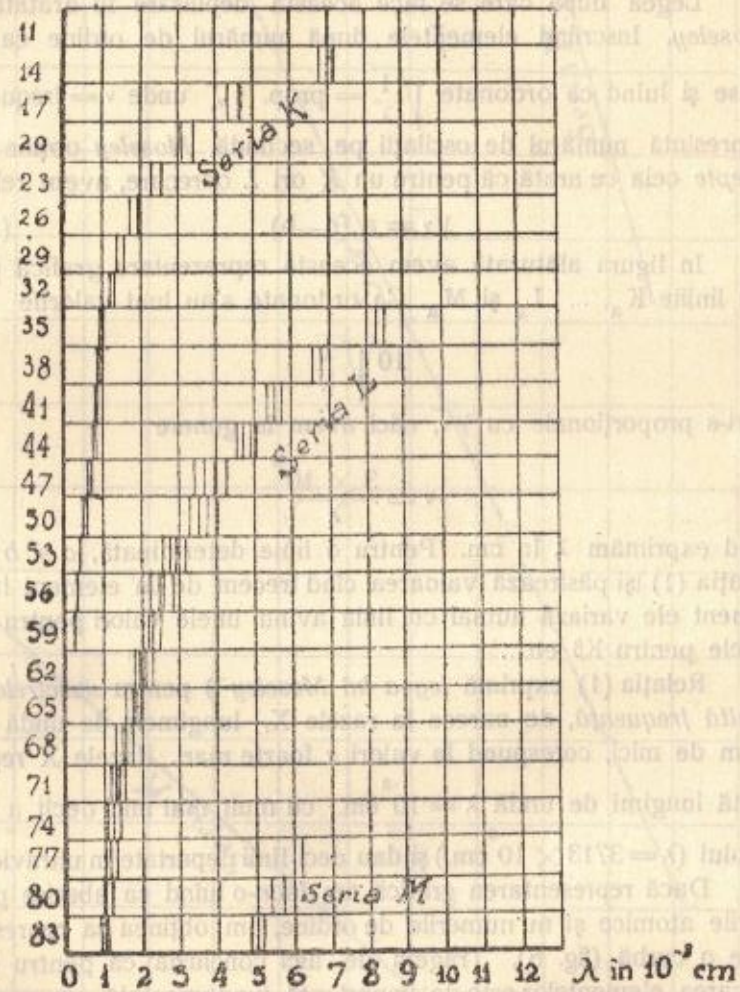


Fig. 6.

elementele pînă la n = 92. De la elementul n = 62 pînă la n = 77 se găseşte singură iar de la 77 la 92 apar liniile seriei *M* descoperite de *Siegbahn*. Se constată şi la seria *L* aceiaşi regularitate ca la seria K; notînd liniile seriei cu L_α, L_β... constatăm pentru

liniile L_α la diferitele elemente că ele se deplasează spre lungimi de undă cu atît mai mici, cu cît numărul de ordine al elementelor este mai mare. Acelaş lucru pentru L_β... etc... şi deci pentru toată seria L.

Legea după care se face această deplasare fu aratată de *Moseley*. Inscriind elementele după numărul de ordine ca abscise şi luînd ca ordonate $\sqrt{\frac{1}{\lambda}} = \text{prop. } \sqrt{\nu}$, unde ν = frequenţa represintă numărul de oscilaţii pe secundă, *Moseley* obţine *linii drepte* ceia ce arată că pentru un *K* ori *L* oarecare, avem relaţia

$$\sqrt{\nu} = a\ (n - b) \qquad (1)$$

In figura alăturată avem această reprezentare grafică pentru liniile K_α, ... L_α şi M_α. Ca ordonate s'au luat valorile

$$10^{-4}\sqrt{\frac{1}{\lambda}}$$

cari-s proporţionale cu $\sqrt{\nu}$, căci avem în genere

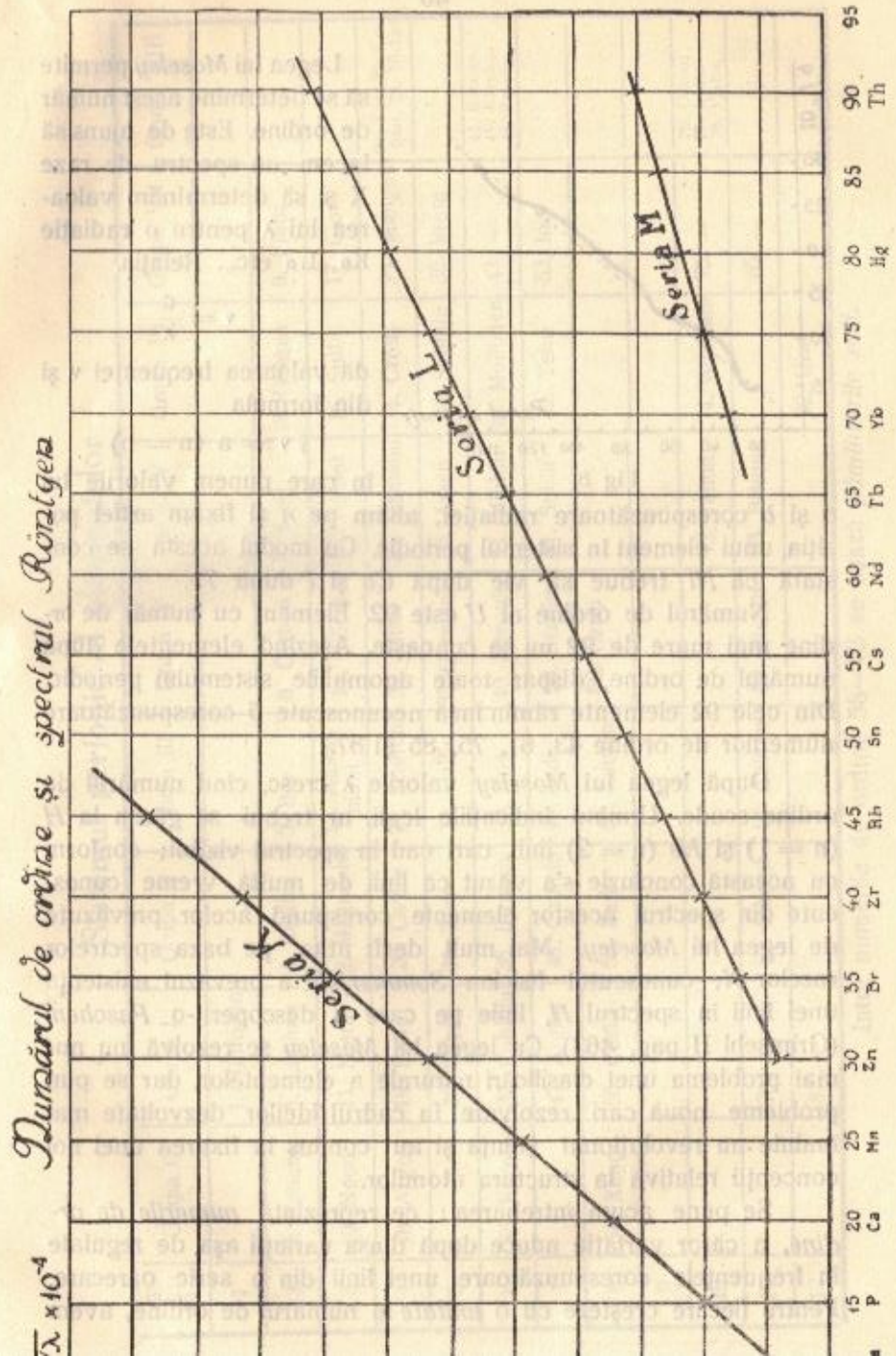
$$\nu = \frac{3 \times 10^{-10}}{\lambda}$$

cînd exprimăm λ în cm. Pentru o linie determinată, *a* şi *b* din relaţia (1) îşi păstrează valoarea cînd trecem de la element la element ele variază numai cu linia avînd unele valori pentru Kα, altele pentru Kβ etc...

Relaţia (1) exprimă *legea lui Moseley* [1]) pentru *spectrele de înaltă frequenţă*, de oarece la razele X, lungimele de undă extrem de mici, corespund la valori ν foarte mari. Razele X represintă lungimi de undă $\lambda = 10^{-8}$ cm., cu mult mai mici decît a violetului ($\lambda = 3713 \times 10^{-8}$ cm.) şi dau deci linii departate în ultraviolet.

Dacă representarea grafică am face-o luînd ca abscise ponderile atomice şi nu numerile de ordine, am obţinea ca representare o curbă (fig. 8). Tragem de aici concluzia că pentru clasificarea elementelor este de importanţă fundamentală, nu pondul atomic, ci *numărul de ordine al unui element.*

1) *Moseley* fizician englez, a lucrat după îndemnul fisicienilor *Bragg*. A căzut în 1914 în războiu la Dardanele.



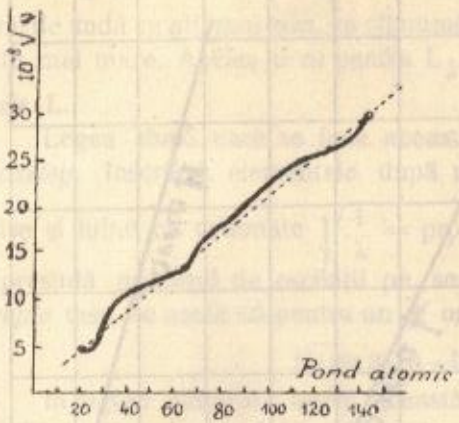


Fig 8.

Legea lui *Moseley* permite să se determine acest număr de ordine. Este de ajuns să facem un spectru de raze X şi să determinăm valoarea lui λ pentru o radiaţie Kα, Lα etc... Relaţia.

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

dă valoarea frequenţei ν şi din formula

$$\sqrt{\nu} = a\,(n - b)$$

în care punem valorile lui *a* şi *b* corespunzătoare radiaţiei, aflăm pe *n* şi fixăm astfel poziţia unui element în sistemul periodic. Cu modul acesta se constată că *Ni* trebue să vie după *Co* şi *I* după *Te*.

Numărul de ordine al *U* este 92. Element cu număr de ordine mai mare de 92 nu se cunoaşte. Aşezînd elementele după numărul de ordine, dispar toate anomaliile sistemului periodic. Din cele 92 elemente rămîn încă necunoscute *5* corespunzătoare numerilor de ordine 43, 61, 75, 85 şi 87.

După legea lui *Moseley* valorile λ cresc, cînd numărul de ordine scade. Urmînd indicaţiile legii, ar trebui să găsim la *H* (n = 1) şi *He* (n = 2) linii, cari cad în spectrul vizibil; conform cu această concluzie s'a văzut că linii de multă vreme cunoscute din spectrul acestor elemente corespund acelor prevăzute de legea lui *Moseley*. Mai mult decît atita, pe baza spectrelor razelor *X*, cunoscutul fisician *Sommerfeld* a prevăzut existenţa unei linii în spectrul *H*, linie pe care a descoperit-o *Paschen*. (Grimsehl II pag. 463). Cu legea lui *Moseley* se rezolvă nu numai problema unei clasificări naturale a elementelor, dar se pun probleme nouă cari rezolvate în cadrul ideilor dezvoltate mai înainte au revoluţionat ştiinţa şi au condus la fixarea unei noi concepţii relativă la structura atomilor.

Se pune acum întrebarea: ce reprezintă *numerile de ordine*, a căror variaţie aduce după dînsa variaţii aşa de regulate în frequenţele corespunzătoare unei linii din o serie oarecare. Pentru fiecare creştere cu o *unitate* la numărul de ordine, avem

Sistemul periodic al elementelor

Seria	Grupa 0	Grupa I	Grupa II	Grupa III	Grupa IV	Grupa V	Grupa VI	Grupa VII	Grupa VIII
1		1. Hidrogen							
2	2. Helium	3. Lithium	4. Beriliu	5. Bor	6. Carbon	7. Azot	8. Oxigen	9. Fluor	
3	10. Neon	11. Natriu	12. Magnesiu	13. Aluminium	14. Siliciu	15. Fosfor	16. Sulf	17. Clor	
4	18 Argon	19 Kaliu	20. Ca'ciu	21. Scandiu	22. Titan	23. Vanadiu	24. Crom	25. Mangan	26. Fer. 27. Cobalt. 28. Nichel
5		29. Cupru	30. Zinc	31. Galliu	32. Germaniu	33. Arsen	34. Seleniu	35. Brom	
6	36. Krypton	37. Rubidiu	38. Stronţiu	39. Itriu	40. Zirconiu	41. Niobiu	42. Molibden	43. —	44. Rutenio. 45. Rhodiu 46. Paladiu
7		47. Argint	48. Cadmiu	49. Indiu	50. Staniu	51. Stibiu	52. Telur	53. Iod	
8	54. Xenon	55. Ceziu	56. Bariu	57. Lantan	58. Ceriu —				
9									
10						73. Tantal	74. Wolfram	75. —	76. Osmiu. 77. Iridiu 78. Platin
11		79. Aur	80. Mercur	81. Talium	82. Plumb	83. Bismut		85. —	
12		87. —					92. Uran		

Intre numerile de ordine 58—73 se aşază *pămînturile rari*.

aceiaşi creştere a $\sqrt{\nu}$. Putem atît prevedea, că la creşteri egale ale cantităţii $\sqrt{\nu}$, trebue să corespundă adăogiri de *cantităţi egale* ca *natură* la atomi. Recădem peste ideia structurei unitare a atomilor.

In rezumat, dezvoltarea pe care au luat-o chimia şi fisica pînă pe la anul 1900 a dus la concluziile următoare:

Se accentuează structura unitară a atomilor, alcătuiţi din mase electrice oscilatoare. Se fixează structura atomică a electricităţii. Atomii negativi de electricitate *există liberi*. Nu s'au putut izola atomii pozitivi de electricitate. In acelaş timp discontinuitatea materiei apare ca ceva definitiv fixat. Ea se arată acum şi la *atomi;* fiecare atom alcătueşte un sistem complicat şi discontinuu, ceia ce alcătueşte o nouă concepţie, care înlocueşte pe acea a atomului *omogen* şi care nu poate fi divizat mai departe. Asistăm la o adevărată revoluţie de idei: concepţia atomului lui *Dalton*, dispare „ca un cîntec bătrînesc" făcînd loc unei concepţii mai nouă, care explică mai bine numeroasele fapte cunoscute.

La această schimbare radicală, au contribuit nu numai progresele chimiei şi ale fizicei, amintite mai înainte, ci în chip hotărîtor au dat contribuţia lor şi descoperirile din domeniul *radioactivităţii*. Aceste din urmă puteau fi înţălese numai în cadrul ideilor noi ştiinţifice. De aceia am dezvoltat mai întăi aceste capitole.

Trecem acum la studiul substanţelor radioactive şi al fenomenelor de radioactivitate.

CAP. III.

1. RADIOACTIVITATE

Istoric. O nouă metodă de cercetare. Descoperirea Radiului.

In tuburile pentru producerea razelor X, sticla lovită de razele catodice devine *fluorescentă*, trimeţînd în acelaş timp razele X. *Becquerel* încearcă în 1895 să vadă dacă producerea de raze X este în strînsă legătură cu fenomenul *fluorescenţei*. In acest scop el escita cu ajutorul razelor catodice fluorescenţa combinaţiilor de Uraniu şi cerceta dacă substanţa astfel adusă în fluorescenţă, pusă pe o placă fotografică învălită în hîrtie neagră, impresiona sau nu placa. Constată că o bucată de sulfat de Uranil şi potasiu supus acţiunei razelor catodice, avea acţiune asupra plăcei fotografice, ceia ce arată că această combinaţie de Uran emitea radiaţii invizibile, cari, trecînd prin hîrtia neagră, impresionau placa fotografică.

Mai tîrziu (1896) el constată că acţiunea aceasta a combinaţiilor de Uraniu avea loc şi fără ca substanţa să fi fost excitată prealabil. *H. Becquerel* trase atunci încheerea, că emiterea de raze, n'are nici o legătură causală cu fluorescenţa. Combinaţiile Uraniului emit deci raze speciale, pe care Becquerel le-a numit *raze Uranice* şi pe cari oamenii de ştiinţă le-au numit *raze Becquerel*.

Studiindu-se mai departe fenomenul s'a constatat că emisiunea de raze de către combinaţiile Uraniului are loc *de la sine*, fără a fi provocată de factori exteriori cum ar fi căldura, lumina ori electricitatea etc... Cu modul acesta combinaţiile de Uraniu emit energie în chip continuu, fără ca aparent, să se consume altă energie. Se părea că prin descoperirea sa *Becquerel* a realizat un *perpetuum mobile*.

Se înţălege imediat cîtă vîlvă a trebuit să stîrnească în lumea ştiinţifică fenomenul acesta de emitere spontană de raze.

Numeroase experienţe făcute de fizicieni confirmară observaţiile lui *Becquerel* şi aratară că razele emise de combinaţiile de Uran, ionizază aerul, trec prin corpurile opace ca şi razele X, înegresc placa fotografică. provoacă lumina substanţelor fluorescente.

Fenomenul de emitere spontană de raze de către combinaţiile de Uran fu numit *radioactivitate.*

Studiul sistematic şi detailat al fenomenului fu întreprins întâi de soţii *Pierre* şi *Maria Curie* (născută *Sclodovsca*). Vom reda rezultatele obţinute de dînşii, arătînd apoi şi contribuţia altor experimentatori.

Metode de cercetare. In primul loc amintim că s'au fixat, cu ocazia acestor cercetări, *metode nouă pentru cercetarea materiei.* In conformitate cu proprietăţile substanţelor radioactive aceste metode se grupează astfel:

1) *Metoda radiografică*; se utilizază proprietatea de a impresiona placa fotografică. Metoda convine pentru cercetarea mineralelor. Alte ori se fotografiază drumul urmat de raze, făcînd, prin difererite procedee, acest drum luminos.

2) *Metoda fluoroscopică.* Radiaţiile emise excită fluorescenţa unor substanţe, ca Sulfura de Zinc (blenda Sidot ori platino-cianura de Bariu. Punînd o pătură de blendă *Sidot* [1]) pe un carton, avem ceia ce se numeşte un *spintariscop (Crookes).* Apropiind substanţa radioactivă de acest spintariscop, se observă fenomene luminoase datorite fluorescenţei; cu lupa se observă de obicei o *scînteere*, adică apariţia unor puncte luminoase, cari dispar apoi, pe cînd puncte luminoase de scurtă durată apar în alte locuri. Metoda se mai numeşte din cauza aceasta, de *scintillare.*

Aspra fenomenului vom reveni.

3) *Metoda electrică.* Se execută în diferite moduri.

Uneori se utilizază dispositive de forma aratată în figura 9. Plăcile *A* şi *B* ale unui condensator plan sînt puse în legătură pe de o parte cu pămîntul (placa A), iar pe de alta (placa B) cu polul unei baterii formată dintr'un mare număr de elemente; celalt pol al bateriei este pus în legătură cu pămîntul. Dacă aerul dintre *A* şi *B* nu este ionisat, nu trece nici un curent electric prin gaz. Dar dacă îndreptăm un fascicul de raze *X* în spaţiul dintre *A* şi *B*, aerul este ionizat şi gazul este străbătut de un curent slab. Soţii *Curie* măsurau intensităţi de curent de 10^{-5} — 10^{-12} Amperi, ba în cercetări delicate, au avut de măsurat curenţi de 10^{-15} Amperi [1]). Cînd aerul dintre *A* şi *B* este ionisat, aplicînd acestor plăci diferinţe de potenţial crescînd se constată următoarele: cu diferinţe de potenţial mici, avem o intensitate de curent aproximativ proporţională diferinţei de potenţial. Crescînd diferinţa de potenţial creşte şi intensitatea; dar de la un moment se constată că intensitatea creşte mai încet decît diferenţa de potenţial; la diferinţe de potenţial mari, intensitatea a atins o limită, care se *menţine constantă*: se zice că avem acum un *curent de saturaţie.*

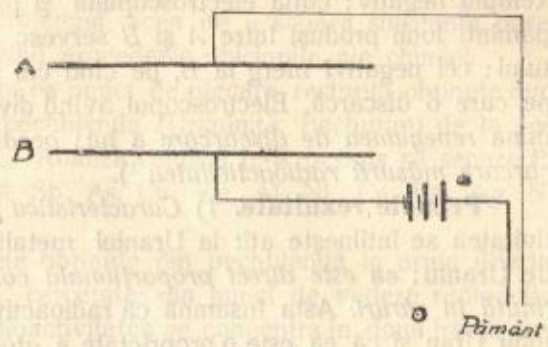


Fig. 9.

Dacă punem pe placa *B* o pătură de substanţă radioactivă, aceasta ionizază aerul dintre *A* şi *B*. Stabilind curentul de saturaţie, acesta va rămînea constant, cîtă vreme şi radioactivitatea substanţei împrăştiate rămîne constantă. Orice *variaţie* a acestei radioactivităţi se arată prin *variaţia curentului de saturaţie* aşa încît *„valoarea curentului de saturaţie constitue măsura cea mai convenabilă şi cea mai bine definită a radioactivităţii (M-me Curie,* Radioactivité I pag. 78).

Nu vom intra în detaliile metodelor de măsură Amintim numai că soţii *Curie* legau placa *A* de un electrometru cu cadran foarte sensibil; după cîtva timp acest electrometru lua un potenţial, din a cărui valoare se putea deduce, în cazul curentului de saturaţie, valoarea conductibilităţii aerului dintre plăci. In acest scop se utiliza ori *repegiunea deviaţiei*, ori *metoda deviaţiei constante.* Detalii se găsesc în cartea citată a D-nei *Curie* Tom. I pag. 74—119.

O metodă simplă dar suficientă pentru studiarea fenomenelor este metoda *electroscopului.*

1) Este *SZn* hexagonală (Wurtzita), care conţine urme de *Cu*, 1 la 10000.

1) M-me *Curie*, Traité de Radioactivité Tome I pag. 77,78 (1910).

Placa *A* e legată cu foiţa unui electroscop încarcată de exemplu negativ; cutia electroscopului şi placa *B* sînt legate de pămînt. Ionii produşi între *A* şi *B* servesc la conducerea curentului; cei negativi merg la *B*, pe cînd cei positivi spre placa *A*, pe care o discarcă, Electroscopul avînd diviziuni se poate determina *repegiunea de discarcare* a lui; *această repegiune de discarcare măsură radioactivitatea* [1]).

Primele rezultate. 1) *Caracteristica fenomenului.* Radioactivitatea se întîlneşte atît la Uraniul metalic, cît şi la compuşii de Uraniu; *ea este direct proporţională concentrării de* **Ur** *conţinută în săruri.* Asta însamnă că radioactivitatea revine elementului Uran şi că ea este o proprietate a *atomului* acestui element, de oarece este independentă de legătura chimică a atomului de Uran cu alte elemente.

In 1898 *Schmidt*, pe de o parte, D-na *Curie* pe de alta, aratară că *Thorium* şi compuşii lui presintă o radioactivitate analoagă cu acea a *Ur.*.

Sările de *Thorium* presintă o radioactivitate proporţională cu cantitatea de Thorium cuprinsă în ele aşa că şi în acest caz putem spune că fenomenul se prezintă ca o proprietate a atomului. O sită metalică de la o lampă *Auer* (în substanţă avem 99% oxid de Thoriu) apropiată de un electroscop încarcat, îl discarcă repede.

2) *Discoperirea Radiului.* Soţii *Curie* au cercetat din punct de videre al Radioactivităţii un număr mare de corpuri simple sau combinaţii; de asemenea multe minerale. Cu ocazia aceasta ei au găsit că *Pechblenda* [de formula apropiată $(UO_6)_2$ $(UPb_2)_3$ şi alte cîteva minerale au o radioactivitate mai mare decît Uraniul metalic. Pechbenda este principalul isvor din care se scoate Uraniul; din tratamentul mineralului pentru obţinerea uraniului se obţin resturi, considerate multă vreme fără valoare şi a căror radioactivitate esre de vr'o 4 ori mai mare decît a uraniului; de asemenea *chalcolita* (fosfat de *Cu* şi *U*) este de 2 ori mai activă decit *U*. *Autunita* este aproape tot aşa de activă ca şi *U*. Acest rezultat este în contrazicere cu faptele observate la *U* şi compuşii lui, căci radioactivitatea acestor minerale este cu mult mai mare, decît acea corespunzătoare concentrării *U* din ele. Soţii

1) *K. Fajans*, Radioaktivität pag. 124, Braunschweig (1922).
Ostwald-Luther, Physiko-chemische Messungen, pag. 643-670 (1925).

Curie explicară această anomalie admiţînd că în aceste minerale există o materie puternic radioactivă, diferită de *U* şi *Th*. Se punea acum o nouă problemă, acea de a separa substanţa puternic radioactivă utilizînd procedeele obicinuite ale chimiei.

Soţii *Curie* luară ca punct de plecare resturile obţinute după îndepartarea *U* din pechblenda (Uraninită, Pechuran) de la *Ioachimsthal* din Boemia. Analiza chimică le-a permis să separe Pb, SiO_2, Ca, Fe, Mg, Bi, Sb, As, Cu, Zn, Al, Ni, Co, Va, Ag, Nb, Ta, Tl, Ba.

Toate productele obţinute din pechblendă în urma diferitelor tratamente erau cercetate din punct de vedere radioactiv; ei constatară că radioactivitatea se concentra în două fracţii deosebite: pe de o parte combinaţiile de *Bi* erau puternic radioactive, pe cînd *Bi* provenit din minerale neactîve este şi el neactiv; apoi Sulfatul de *Ba* presintă o apreciabilă activitate pe cînd *Ba* şi compuşii lui sînt inactivi. Substanţele radioactive presupuse ca existînd în pechblendă, trebuiau deci să fie concentrate în aceste fracţii. Tratamentele chimice, separări, cristalizări fracţionate etc... conduceau la fracţii cu o radioactivitate din ce în ce mai concentrată. In 1898 soţii *Curie* reuşiră să obţină o substanţă foarte asămănătoare Bismutului din punct de vedere chimic şi care era de cîteva mii de ori mai activă decît Uraniul.

Doamna *Curie* numi această substanţă *Polonium.*

In colaborare cu *Bémont* soţii *Curie* izbutiră să separe de *Ba* prin precipitări fracţionate Clorura şi Bromura unui metal de un milion de ori mai activ decît *U* şi care fu numit *Radium.*

Cum se vede radioaciivitatea permite să urmărim separarea chimică a substanţelor şi cu modul acesta avem la îndămînă o *nouă metodă*, foarte precisă, pentru caracterizarea unor elemente. In genere s'a căutat prin tratament chimic să se concentreze radioactivitatea, pînă ce prin orice mijloace ea nu mai putea fi rîdicată. Atunci ajunseră la sărurile pure ale elementelor *Polonium* şi *Radium.*

In ce priveşte *Ra*, D-na *Curie* i-a determinat pondul atomic prin analiza Clorurei; el fu găsit 225 [1]). *Démarçay* i-a studiat spectrul. Cu ajutorul analizei spectrale se poate arata presenţa *Ra* în combinaţiile *Ba* tot aşa de sigur, ca şi prin radioactivitate,

1) Determinări ulterioare (1914) făcute de *Hönigschmid* l-a fixat la 225, 97.

de oarece *Ra* posedă un spectru caracteristic. Mai tîrziu (1910) D-na *Curie* şi *Debierne* reuşiră să separe prin electroliza unei soluţii de Clorură de *Ra*, metalul, care a aratat o radioactivitate, care este în bun acord cu observaţia făcută la *U* şi *Th*, că radioactivitatea este o proprietate a atomului. Aşezarea lui în sistemul periodic s'a făcut uşor, în locul liber corespunzător numărului de ordine 88.

Din punct de vedere chimic *Ra* se asamănă cu *Ba*. Sulfatul SO_4 Ra este insolubil în apă şi acizii diluaţi. CO_3 Ra este insolubil în apă, dar solubil în acizi. Colorează flacăra în roş-carmin. Metalul *Ra* se asamănă cu *Ba*; punct de topire 700°, este mai volatil decît *Ba* şi este foarte nestabil în aer.

In natură *Ra* se întilneşte în concentrări foarte mici. Din 7000 kgr. de Pechblendă foarte activă de abea s'ar putea obţinea 1 gr. de *Ra*. In prelucrarea materialului se observă încă $10\% - 20\%$ pierderi. Din această cauză n'a putut fi separat, decît avînd ca indicator radioactivitatea lui enormă; metoda aceasta este aşa de sensibilă, încît cantitatea $\frac{1}{100000}$ mg. *Ra* poate fi uşor identificată.

Anual se obţin cam 10 gr. de *Ra* mai ales din mineralul american, *Karnotita*. Pe baza acestei producţii se poate calcula cam 110 gr. cantitatee de *Ra* obţinută sub formă de săruri. Din minerale s'ar putea obţinea circa 500 gr. In concentrarea de circa $\frac{1}{1000}$ mg. la tonă se găseşte în multe roci şi în apa de mare. Din cauza cantităţii enorm de mică din acestea *Ra* nu poate fi extras cu folos.

3) *Alte elemente radioactive*. Pe lîngă metodele de separare chimice ori fisico-chimice, cari permit isolarea şi identificarea unor elemente, în metoda spectroscopică avem un mijloc foarte sensibil pentru identificare. Radioactivitatea a pus la îndămînă o metodă nouă cari în unele cazuri întrece în sensibilitate pe cea spectroscopică. Prin acest mijloc *Marckwald* a reuşit să identifice o substanţă cu proprietăţi chimice analoage Telurului; cercetările ulterioare au aratat că acest *Radiotellur* este identic cu *Polonium*.

Debierne a aratat că din *Pechblendă* odată cu Thorium se separă un element pe care el l-a numit *Actinium* şi care este un

homolog al Lanthanului. Cam în acelaş timp *Giesel* discopere un element radioactiv care însoţeşte Lanthanul; el l-a numit *Emanium*; s'a aratat că acest Emanium este identic cu Actinium.

Plumbul din comerţ este în genere radioactiv. De asemenea presintă radioactivitate slabă elementele *K* şi *Rb*. Prin urmare dintre elementele cunoscute de multă vreme, s'a putut arata că *U, Th, K, Rb* sînt radioactive. Vom vedea, în cele ce urmează că lista elementelor radioactive este cu mult mai mare, căci la cele 4 aratate mai sus s'au adăogat altele, discoperite graţie metodei celei noi de cercetare ştiinţifică, avînd la bază radioactivitatea.

Pentru caracterizarea mai de aproape a fenomenului radioactivităţii vom descri rezultatele obţinute cu ocazia studiilor făcute asupra Radiului, după discoperirea lui. Metodele electrice sînt aşa de sensibile, încît cu 1 mg. de sare de *Ba* care conţine *Ra* în cantitate mare, se pot arata experimental toate proprietăţile caracteristice fenomenului de radioactivitate.

Experienţele ce se pot face sînt următoarele [1]):

1) Dacă apropiem preparatul de un ecran pe care am întins o pătură subţire de blendă *Sidot* ori de platinocianură de *Ba* (Spintariscop) se constată că aceste substanţe devin luminoase. Cu o lupă se constată că lumina aceasta nu-i uniformă ci pe ecran apar puncte luminoase cari dispar după scurtă vreme, pe cînd în alte locuri apar altele. Fenomenul de fluorescenţă sub acţiunea radiaţilior emise de *Ra* se observă cînd apropiem substanţa şi de unele minerale, cari devin flourescente sub acţiunea razelor catodice ca *Willemit, Diamant, fluorina, Spat de Islanda, Kunzit*.

Mai mult decît atît: dacă lăsăm să stee *Spat de Islanda* sau *Fluorina* cîteva zile în apropiere de un preparat de Radium, ele devin *fosforescente* şi luminează la întuneric, mai cu samă cînd le încălzim pînă încep să emită lumină roşă.

Odată cu emiterea de lumină se observă schimbări chimice în obiectul expus radiaţiilor. Sticle cari conţin Mangan se colorează cu încetul violet; unele diamante se colorează cu colori felurite, altele se decolorează. Chiar $Ra\ Br_2$ se înegreşte sub acţiunea radiaţiilor, cari vin din interior, emiţînd o slabă lumină,

1) Le redau după *K. A. Hoffman*, Lehrbucn der anorg. Chemie pag. 698 (1924).

Preparatele de *Ra* sînt slab luminoase, trimet însă lumină necontenit. Amesticuri de săruri de *Ba* şi *Ra* luminează puternic spontan, căci radiaţiile *Ra* provoacă fluorescenţa sării de *Ba*. (Nernst 480).

Dacă se depune o pătură de sare de *Ra* şi de Blenda Sidot peste cifrele şi acele unui ceasornic, acestea luminează noaptea şi putem ceti ceasurile.

Dacă închidem ochii şi apropiem de unul din ei un preparat de *Ra*, avem o senzaţie luminoasă (Giesel). Această lumină de *Ra* o au şi orbii, dacă retina lor este sănătoasă.

2) Sub influinţa razelor Radiului Oxigenul din aer trece în parte în Ozonă; CO_2 este discompus în C, CO şi O; *CO* în C şi O; NH_3 în *N* şi *H*; de asemenea N cu $H_3 \longrightarrow NH_3$; apoi HCl $\longrightarrow H + Cl$; reacţia inversă $Cl + H$ este favorizată de *Ra*. Apa e discompusă dînd amestec explosibil de $H_2 + O$; gazurile stau însă în alt raport decît în apă căci o parte de O_2 dă H_2O_2. De aceia preparatul trebue să fie bine uscat. In caz contrar amesticul detonant face explosie sub influenţa scînteilor electrice cari se produc, din cauza schimbărilor radioactive, cum vom vedea mai la vale. Pentru a conduce către exterior electricitatea se obicinuia să se fixeze în tubuşorul de sticlă un fir dd Platină. S'a văzut apoi că-i mai practic să se păstreze preparatul în mici tubuşoare metalice, prevăzute cu o ferestruică din foae subţire de mica.

3) Hidrogenul expus la radiaţii devine *reducător mai puternic*: el reduce *S* în SH_2, *P* în PH_3 şi *As* în $As\,H_3$. *Wendt* crede că sub acţiunea radiaţiilor are loc un fenomen analog cu producerea Ozonei şi că se formează molecule puternic reducătoare H_3.

4) Preparatele de *Ra* prin radiaţiile lor distrug materiile organice; ele atacă pielea producînd iritaţii şi chiar răni, cari se vindecă cu greu. De aceia manipularea lor cere să se ţină samă de o serie de măsuri [1]). Bacteriile sînt ucise de radiaţii. Frunzele verzi la început se vestejesc, apoi mor. Această acţiune a radiaţiilor de *Ra* asupra materiilor organice a fost utilizată în combaterea cancerului.

5) Razele impresionează placa fotografică.

1) Ostwald-Luther, pag. 657 (1925).

6) Razele trec prin corpuri opace.

7) Ele ionizază aerul şi discarcă un electroscop încarcat.

8) Punînd un tub cu preparat de *Ra* într'un calorimetru se constată că 1 gr. de Ra dezvoltă într'un ceas aproxim. 138 cal. Cu 1 gr. *Ra* s'ar putea întreţinea necontenit mişcarea unui motor de puterea 0,2 cai-vapori.

Aparent această cantitate de energie nu scade, căci după cîţiva ani, acelaş preparat de *Ra*, emite tot atîta căldură. Mai mult decît atît. Factorii externi nu influenţază energia emisă: între -250° şi $+1000^{\circ}$ ea rămîne aceiaşi; chiar escitarea cu puternice raze catodice ori raze X, ori cu razele altor substanţe radioactive au rămas fără efect, Procesul radioactivităţii are loc aşa că noi nu-l putem nici *accelera*, nici *întîrzia*.

Se cunosc procese chimice cari dezvoltă cantităţi mari de căldură. Aşa din arderea de *H* pentru producerea a 18 gr. de apă se dezvoltă 68000 cal. De la 1 gr. de *Ra* într'un *an* avem 1209000 cal; pentru ca rezultatele să fie mai comparabile, ar trebui să le raportăm la 226 gr. Ra, ceia ce ar da 1209000×226 cal. Exprimînd în Kilogramometri energia degajată într'un an de 1 gr. de *Ra* ar fi 1209×427 Kgr/m., pe cînd în explozia unui gr. de nitroglicerină avem numai $1{,}47 \times 427$ Kgr./m.

Procesele radioactive se caracterizază, faţă de cele chimice, deci

a) prin enorma energie dezvoltată

b) prin faptul că această energie este independentă de temperatură, pe cînd la procesele chimice, ea variază în general cu temperatura după legea lui *Kirchhoff* [1]).

Scoatem de aici încheerea, că procesele radioactive *sînt de altă natură, decît cele moleculare chimice*. Această concluzie este în deplin acord cu încheerea ce am scos-o mai înainte, că radioactivitatea este o proprietate a atomului.

Modul cum *Ra* pune în libertate energia este comparabil cu energia trimeasă de Soare; timp de 10000—20000 de ani nu s'a putut observa vr'o variaţie a energiei solare, după cum nu se observă nici la *Ra*. Dacă energia solară ar rezulta din reacţii moleculare, ea ar trebui să se reducă repede, aşa că după vr'o

1) Vezi P. Bogdan, Introducere în chimie fisicală, Partea II termodinamica, pag. 71 (1924).

500 de ani soarele ar trebui să se răcească. Probabil că procesele din soare, cari pun în libertate energia solară, ar fi mai curînd de natură radioactivă. Dacă în soare ar fi cîte 1,5 gr. *Ra* la fiecare 1000 kgr. din masa solară, energia emisă de *Ra* ar acoperi pe cea solară.

In scoarţa pămîntească avem atîta *Ra*, încît într'o oară se degajază 5×10^{10} cal.; această căldură întreţine căldura internă pămîntească, pe cînd la suprafaţă soarele îi adaogă 10^{20} cal. pe oră.

CAP. IV.

Natura radiaţiilor emise de Radium.

Supunînd radiaţiile Radiului acţiunei unui cîmp puternic magnetic sau electric *Rutherford* a reuşit să arăte natura complexă a acestor radiaţii. Figura alăturată arată acţiunea cîmpului magnetic. Liniile de forţă ale acestui cîmp sînt închipuite perpendicular pe planul hîrtiei şi merg de sus în jos. Sarea de *Ra* este pusă într'o mică capsulă de *Pb* (*B*). Fasciculul de raze care esă din capsulă este disfăcut în trei părţi, aratate prin denumirile raze α, raze β şi raze γ. Razele α sînt deviate de cîmpul magnetic spre stînga; razele β sînt puternic deviate spre dreapta, razele γ rămîn nedeviate.

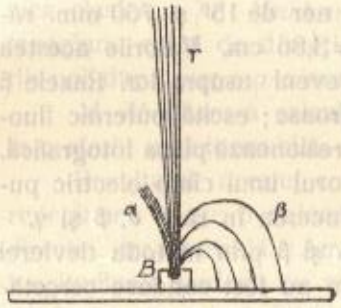


Fig. 10.

Razele α sînt analoage cu razele-canal. Ele sînt formate din particule încarcate positiv. Razele β sînt analoage razelor catodice, pe cînd razele γ sînt în totul analoage razelor X, extrem de dure.

Razele γ pot fi aduse să interfereze prin reflexiune la suprafaţa cristalilor şi dau deci un spectru de linii, care se apropie de seria *K* a metalelor de pond molecular înalt. Lungimea de undă a lor este cam de 10 ori mai mică decît a celor mai dure raze X. Totuşi s'a reuşit a se umplea golul dintre dînsele, căci cu un tub *Coolidge* supus la 200000 volţi s'au obţinut de *Dessauer* lungimi de undă de mărimea $\lambda = 0{,}05 \times 10^{-8}$ cm., care este şi lungimea de undă a razelor γ. Razele γ fiind nişte raze X foarte dure, au o putere de pătrundere mai mare decît a razelor X, trecînd prin o pătură de plumb de cîţiva centimetri. Unele

trec pria 115 m. aer, 30 cm. fer. (*Stock* pag. 37). Formarea lor se explică, ca şi formarea razelor X, prin loviturile pe cari particulele β le dau moleculelor ce le întîlnesc în calea lor. In aceste ciocniri particulele β îşi pierd complect forţa lor vie şi aşa rezultă raze γ de cea mai scurtă lungime de undă; aceste ciocniri determină pe de altă parte oscilaţiile proprii ale corpurilor lovite.

Razele α au putere de pătrundere mică. Ele sînt reţinute de o foae de hîrtie, de asemenea de foi de *Al*, dacă nu-s prea subţiri. O foae de *Al* de 0.06 mm. grosime le reţine complect. Razele α pătrunzînd în aer îl ionizează. S'a constatat că ele sînt absorbite cînd trec prin corpuri şi deci îşi exercită acţiunea lor numai pînă la o anumită distanţă, de la care această acţiune încetează. Distanţa aceasta în interiorul căreia se exercită acţiunea lor o numim *parcurs (Reichweite)*. In aer de 15° şi 760 mm. razele α ale Poloniului au un parcurs = 3,86 cm. Valorile acestea sînt caracteristice importante. Vom reveni asupra lor. Razele β pot strabate foi de Aluminiu relativ groase; escită puternic fluorescenţa platinocianurei de Bariu şi impresionează placa fotografică.

Dacă analizăm radiaţiile cu ajutorul unui cîmp electric puternic ajungem la acelaş rezultat, disfacerea în raze α, β şi γ.

Dacă cercetăm separat razele α şi β prin metoda devierei în cîmp magnetic ori electric, aşa cum au fost conduse cercetările la razele anodice şi catodice (pag. 27), putem determina atît repegiunea v a particulelor cît şi raportul $\frac{e}{m}$. Asemenea determinări au fost făcute la razele β de *Kauffmann* şi rezultatele lor alcătuesc o foarte interesantă contribuţie la clarificarea a numeroase probleme, cum vom vedea din cele ce urmează.

Fascicolul de raze β este alcătuit din particule de repegiuni deosebite v. Se constată că raportul $\frac{e}{m}$ variază cu repegiunea, cum se vede din tabloul următor

v cm./Sec.	$\frac{e}{m}$ U. E. M./gr.
$2{,}36 \times 10^{10}$	$1{,}31 \times 10^{7}$
2,48 „	1,17 „
2,59 „	0,97 10^{8}
2,72 „	0,77 „
2,83 „	0,63 „

Din datele obţinute la razele catodice

pentru $v = 1{,}50 \times 10^{10}$ avem $\frac{e}{m} = 1{,}77 \times 10^{7}$

$1{,}00 \times 10^{10}$ „ „ $1{,}77 \times 10^{7}$

Din acest tablou se vede: 1) că particulele negative cari alcătuesc razele β au repegiuni cu mult mai mari decît a razelor catodice. Repegiunile particulelor β fiind deosebite, fascicolul este dispersat de cîmpul magnetic. 2) că raportul $\frac{e}{m}$ scade cînd repegiunea v creşte, apropiindu-se de repegiunea luminei 3×10^{10} cm./Sec.

De oarece în aceste împrejurări e păstrează o valoare neschimbată, rezultă că masa de inerţie m, creşte cînd repegiunea v se apropie de acea a luminei. Acest rezultat contrazice mecanica clasică a lui *Newton*, pentru care m este independent de repegiune ca şi de direcţia mişcării, dar este în acord cu vederile noi, după care *masa* are origine electromagnetică (vezi pag. 15).

M. Abraham a calculat masa, ca inerţie electromagnetică, la o sferă, nedeformabilă, mobilă, încarcată cu electricitate.

Rezultatul acestui calcul [1]) este că masa este variabilă cu repegiunea şi are o valoare pentru direcţia repegiunei şi alta pe direcţia transversală. Ambele mase şi cea transversală şi cea longitudinală variază cu repegiunea aşa, că variaţia aceasta intră în joc numai cînd valoarea raportului

$$\frac{v^2}{c^2} = \left(\frac{\text{repegiunea sferei}}{\text{repegiunea luminei}} \right)^2$$

nu este mică faţă de 1.

H. A. Lorentz şi *Einstein* găsesc altă formulă, admiţînd că electronul ar fi deformabil, aşa cum o cere teoria relativităţii.

Variaţiile masei cu repegiunea aşa cum au fost determinate de *Kaufmann*, apoi de *Bucherer*, *Hupka*, *C. E. Guye* sînt în acord [2]) cu formula lui *Lorentz* şi *Einstein*.

In orice caz, fie că variaţiile sînt în acord cu formula lui *Abraham* fie cu acea a lui *Lorentz-Einstein*, avem de considerat ca un adevăr cîştigat, concepţia că *masa are origine electrică*, de oarece ambele teorii au la baza lor această ipoteză [3]).

1) *Boutaric*, pag. 184,
2) *Boutaric*, pag. 192—193.
3) *Millikan*, l'électron pag. 224.

In caz cînd $\frac{v^2}{c^2}$ este mic faţă de 1, ceia ce are loc cînd repegiunea particulei este mai mică decît $1{,}5 \times 10^{10}$ cm/Sec. valorile $\frac{e}{m}$ pot fi considerate constante; valoarea lui m corespunzătoare este atunci o cantitate practic constantă şi se numeşte *masa electrônului în repaus*, corespunzînd la

$$\frac{e}{m} = 1{,}765 \times 10^{7} \text{ U. E. M. g.}$$

După teoria relativităţii între masa m a electronului şi masa în repaus m_0 avem relaţia *Lorentz-Einstein* [1])

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

care dă $m = m_0$ pentru cazul cînd $\left(\frac{v}{c}\right)^2$ este mic faţă de 1.

Deviaţia în cîmp magnetic sau electric a razelor α conduce la valori de mărimea $1{,}6 \times 10^{9}$ cm/Sec. pentru repegiunea particulelor acestor raze; în acelaş timp *Rutherford* a găsit pentru $\frac{e}{m}$ valoare constantă independentă de repegiunea particulei

$$\frac{e}{m} = 48230 \text{ Coul./gr.} \qquad (1)$$

Am văzut la pag. 21 că pentru ionul de H se găseşte

$$\frac{e}{m} = 96500 \text{ Coul./gr.} \qquad (2)$$

Dacă pe o particulă α am avea numai o quantă electrică

$$e = 4{,}774 \times 10^{-10} \text{ U. E. S.} = 1{,}591 \times 10^{-19} \text{ Coul.}$$

ca şi pe ionul de H, atunci din (1) şi (2) scoatem încheerea, că masa unei particule α ar fi de două ori mai mare decît a atomului de H. Dacă pe particula α avem două quante electrice $2e$, atunci masa particulei ar fi de 4 ori mai mare decît a atomului de H. Se vede că masa unei particule α este de mărimea maselor atomice cunoscute şi că pentru aflarea ei, ar trebui să cu-

1) *Millikan*, pag. 328; *Grimsehl*, pag. 488.

noaştem cîte quante e se găsesc pe o particulă. Determinarea aceasta a făcut-o *Rutherford* [1]).

In acest scop el puse un preparat de *Ra* în apropiere de o placă metalică, ambele închise într'un vas, în care făcea vid. Razele emise atingeau *toate* placa. Cu un cîmp magnetic devia razele β; placa era lovită numai de razele α şi γ, încărcîndu-se positiv. Electricitatea primită de placă se datora numai razelor α, căci razele γ nu sînt încarcate electric. Cantitatea de electricitate primită de placă într'o secundă de la 1 gr. de Ra fu măsurată şi găsită 31,6 U. E. S.

Cu ajutorul unui Spintariscop *Rutherford* şi *Geiger* şi odată cu dînşii (dar independent) *Regener*, determinară (1908) numărul [2]) de particule emise de 1 gr. de *Ra* pe secundă şi găsiră acest număr $3{,}4 \times 10^{10}$. Atunci o particulă α duce cu dînsa cantitatea de electricitate

$$\frac{31{,}6}{3{,}4 \times 10^{10}} = 9{,}3 \times 10^{-10} \text{ U. E. S.}$$

care este de 2 ori mai mare decît o quantă elementară $e = 4{,}774 \times 10^{-10}$. Asta însamnă că masa unei particule α este de 4 ori mai mare decît masa atomului de H şi că *pondul atomic* al unei particule α este 4,0014. Dar acesta este şi pondul atomic al Heliului.

Constatările de mai sus, explică numeroase fapte de observaţie.

1) Particulele α avînd o repegiune cam $^1/_{10}$ din acea a luminei şi o masă mare, au o mare energie cinetică. Fiecare particulă α lovind un ecran fluorescent determină un punct luminos; de şi durata luminei este scurtă, se poate totuşi *evidenţia la spintariscop fiecare particulă* α care cade pe ecran. Cu modul acesta devin vizibile efectele fiecărui *atom*, din acei cari se întîlnesc în razele α, căci cu o lupă [3]) putem observa fulgerările, corespunzătoare fiecărei particule α.

2) Ionizarea aerului prin razele α se explică prin loviturile, pe cari o particulă α le dă atomilor şi moleculelor, pe cari le sfarmă, producînd *ioni*.

1) *Ernst Rutherford* născut 1871; profesor de fisică întăi în *Montreal* apoi în *Manchester*. Lui i se datoresc numeroase studii experimentale cu privire la substanţele radioactive precum şi ideile actuale cu privire la structura atomului.

2) Grimsehl II, pag. 502 şi 507.

3) Vezi de asemenea *Fr. Soddy*, la Radium, pag. 69-71 (1921).

Ionizarea aerului prin particule α a fost utilizată pentru a numara aceste particule. In afară de metoda spintariscopului, pe care am descris-o, *Geiger* a imaginat o *metodă electrometrică*. Să legăm discurile unui condensator cu aer cu un electrometru sensibil şi să le supunem la o mare diferenţă de potenţial. Intre cele două plăci realizăm astfel un cîmp electric puternic. Cîtă vreme masele electrice de pe armături rămîn constante, electrometrul rămîne şi el liniştit. Dacă însă între armături trece o particulă α, aerul devine bun conducător şi odată cu aceasta are loc o discarcare a condensatorului, care dă mişcare electrometrului. Putem înscri pe un film mişcările acestea ale electrometrului; fiecare mişcare corespunde unei particule α.

Profesorul *C. T. R. Wilson* a imaginat o a treia metodă precisă pentru a putea numara [1]) particulele α. De oarece o particulă α ionizază aerul pe tot parcursul ei, dacă la aer adăogăm vapori de apă, dilataţi prin o dilatare bruscă adiabatică, se vor forma picături de apă în jurul ionilor formaţi şi negura astfel formată face vizibil drumul străbătut de particula α. Liniile acestea pot fi fotografiate. Din cauza enormei energii a particulelor α, ionizarea produsă de dînsele este cu mult mai puternică decît acea produsă de razele β şi γ. Ceia ce se observă sînt efecte datorite particulelor α.

Cum se vede se pot observa astfel efectele fiecărei particule, ceia ce constitue o splendidă confirmare a teoriei atomice.

3) Emiterea de raze α şi β dă loc la electrizări. Să închidem o cantitate mică de sare de *Ra* într'un tub cu pereţi de grosime aşa potrivită, încît razele α să nu poată trece, dar β şi γ să treacă uşor. De oarece razele β duc electricitate negativă, tubuşorul cu preparatul se încarcă pozitiv. De aici grija ce trebue s'o avem la întrebuinţarea preparatului. In adivăr, dacă substanţa n'a fost complect uscată avem în tubuşor amestecul explosibil de H_2 şi O_2. O scîntee electrică care ar lua naştere, din cauză că tubul este încarcat, poate produce explosiunea amesticului detonant.

Ţinînd samă de aceste încărcări electrice, profesorul *Strutt* a construit un aparat pentru măsura timpului, cunoscut sub numele de „*ceasornic cu radium*". El este aratat în figura alăturată. In *A* avem tubul cu sarea de *Ra*. El este suspendat cu ajutorul unui fir gros de Quart *B* într'un balon; *a* e o piesă metalică de care sînt suspendate foiţele *b* ca la un electroscop. *C* este o foae metalică, care comunică cu pămîntul. In tablou se face un vid foarte înaintat. Prin păretele tubului *A* pot strabate razele β şi γ; tubul *A* se încarcă positiv şi foiţele se îndepărtează. Cînd o foiţă atinge lama *C* electroscopul se discarcă. Instrumentul Prof. *Strutt* funcţionează de cîţiva ani. La fiecare 3 minute aproximativ, avem o atingere a foiţelor *b* de lama *C*.

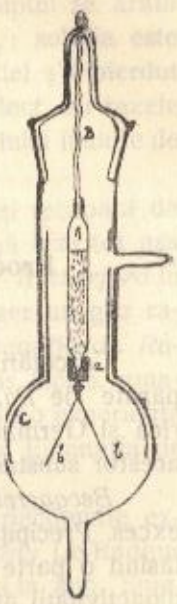


Fig. 11.

4) Preparatele de *Ra* închise în tuburi prin radiaţiile lor lovesc necontenit păreţii tubului. In genere razele β şi γ trec prin păreţi. Razele α sînt însă reţinute din cauza masei lor mari. Ele transformă astfel energia lor cinetică în căldură şi de aceia temperatura tubuşorului cu preparat este de obiceiu cu 3° mai mare decît a mediului ambiant. In felul acesta se explică producerea de căldură continuă şi spontană a Radiului; 94% din energia totală se datoreşte razelor α; numai 2% revine razelor β şi cam 4% razelor γ.

1 *Grimsehl* II pag. 502–503. Sînt date mai în detaliu metodele.

CAP. V.

Productele de transformare ale Radiului.

Cercetările substanţelor radioactive întreprinse, atît cu preparate de *Ra*, cît şi preparate de *Th*, în Franţa, Anglia, America şi Germania reuşiră să scoată la iveală alte proprietăţi ale acestor substanţe.

Becquerel tratează soluţia unei sări de *U* cu amoniac în exces. Precipitatul produs se redisolve în cea mai mare parte, lăsînd o parte insolubilă. Cercetînd din punct de vedere al Radioactivităţii atît restul insolubil, cît şi sarea de Uran obţinută din partea disolvită, *Becquerel* a constatat că numai restul insolubil mai era radioactiv (el l-a numit Uran-X), pe cînd sarea extrasă din soluţie era lipsită de Radioactivitate. Dar constată mai departe, că după cîtva timp sarea neactivă îşi recapătă de la sine radioactivitatea, pe cînd Uran-X îşi pierdea în acelaş timp şi în aceiaşi măsură radioactivitatea sa.

Rutherford şi *Soddy* făcură o observaţie analoagă cu *Th*, pe care îl disfăcură într'o parte activă (Thorium-X) şi alta inactivă. Şi acum Thorium inactiv îşi recapătă activitatea, pe cînd Thorium-X se schimbă dînd naştere la alte corpuri radioactive între cari ei reuşiră să recunoască o substanţă gazoasă, pe care o numiră *Emanaţie de Thorium* (1900). Trecînd un curent de *H* peste Thorium-X, emanaţia era luată de acest curent. Dacă curentul gazos era trecut printr'un tub în formă de U ţinut în aer licid, emanaţia se condensa, pe cînd curentul de *H* eşit din tub nu mai era radioactiv. Scoţînd tubul în U din aer licid, temperatura se ridică şi emanaţia de *Th* se evaporează din nou; în acest caz ea este din nou luată de curentul de *H*, care devine radioactiv.

Faptele constatate au trezit un mare interes, căci ele contraziceau observaţia făcută că radioactivitatea este un fenomen continuu.

Mai uşor decît în felul aratat de *Becquerel*, faptul se arată la *Ra* în felul următor: se disolve în apă $Ra\,Br_2$; soluţia este evaporată la uscare. Bromura de *Ra* obţinută astfel şa pierdut din radioactivitate: razele β şi γ au dispărut complect, iar razele α au intensitatea redusă la $^1/_4$ din acea a preparatului înainte de dizolvire.

După cîtva timp se constată că preparatul îşi recapătă de la sine proprietăţile radioactive aşa că după o lună este tot aşa de radioactiv ca la început. Faptul fu explicat de *Rutherford* în felul următor: în timpul dizvolvirei se degajă în aer un gaz radioactiv, căruia *Rutherford* i-a dat numele de *Emanaţia de Radium* (Ra Em). Dacă disolvirea o facem într'un vas închis, emanaţia trece în aerul din vas şi rămîne în vas. Printr'o experienţă simplă analoagă cu acea a lui *Rutherford* şi *Soddy* Emanaţia de Radium fu evidenţiată în 1900 de *Dorn*[1]).

Astăzi cînd mijloacele tecnice sînt atît de perfecţionate experienţa se repetă uşor. Descrim aparatul după *Soddy* Le Radium pag. 123 (1921). In tubul *A* se disolve sarea de *Ra* în apă. Ema-

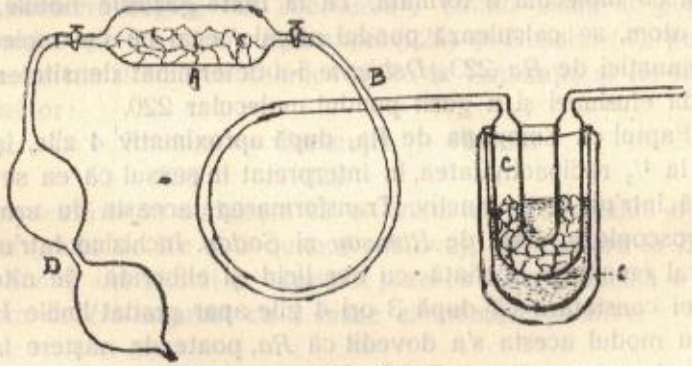


Fig. 12.

naţia se găseşte în aerul aflător deasupra soluţiei în A. Suflînd cu o pară acest aer şi conducîndu-l printr'un tub de cauciuc *B* într'un tub în U ţinut în aer licid, emanaţia se condensează în acel tub la —183°. Cînd scoatem tubul din aer licid el se încălzeşte pînă la —150°; emanaţia se evaporează şi poate fi trecută mai departe cu un curent de aer, în alte vase. Presenţa Ema-

1) In *Le Radium* de Soddy pag. 121, acest autor afirmă că condensarea Emanaţiei de *Ra* s'a făcut în Noembre 1902 la Montreal de *Rutherford* şi *Soddy*.

naţiei în vasul *C* ori alte vase se arată la întuneric, prin fluorescenţa substanţelor puse în tubul *C* ori celelalte. Ca substanţe fluorescente *Soddy* întrebuinţa Blenda, ori *Willemita*.

Observînd necontenit Emanaţia dintr'un vas, se constată că după 3,85 zile radioactivitatea ei s'a redus la jumătate.

Emanaţiile de *Ra* şi *Th* sînt deci noi elemente radioactive, gazoase. In special Emanaţia de *Ra* fu studiată cu îngrijire. Ea se găseşte totdeauna pe lîngă preparatele de *Ra* şi anume în cantităţi extrem de mici. Dintr'un *gr.* de *Ra* s'ar putea scoate cel mult $\frac{5}{1000}$ mgr. de Emanaţie. Studiile lui *Rutherford, Ramsay* şi altora au aratat că Emanaţia de *Ra* nu se combină cu nici un element; ea face parte deci din gazurile nobile. In literatură este aratată şi prin denumirea de *Niton*, propusă de *Sir W. Ramsay*.

Emanaţia fierbe sub presiunea de 760 mm. la —65°; are un spectru caracteristic. Cu o microbalanţă sensibilă *W. Ramsay* şi *M. W. Gray* i-au determinat densitatea în raport cu aerul. Admiţînd că molecula e formată, ca la toate gazurile nobile, dintr'un atom, se calculează pondul atomic, egal cu cel molecular, al Emanaţiei de *Ra* 223. *Debierne* i-a determinat densitatea prin metoda efusiunei şi a găsit pondul molecular 220.

Faptul că Emanaţia de Ra, după aproximativ 4 zile, îşi reduce la $^1/_2$ radioactivitatea, fu interpretat în sensul că ea se transformă într'un corp inactiv. Transformarea aceasta fu urmărită spectroscopic în 1903 de *Ramsay* şi *Soddy*. Inchizînd într'un tub spectral emanaţia licefiată cu aer licid şi eliberată de alte gazuri, ei constatară că după 3 ori 4 zile apar gradat liniile Heliului. Cu modul acesta s'a dovedit că *Ra*, poate da naştere la Helium, prin intermediarul Emanaţiei.

In afară de această constatare, un bogat material experimental a aratat că o serie de substanţe radioactive cari emit raze α —Ra, Th, U, Ac.—dau naştere la Helium. Trebue să fie deci o legătură între emiterea de raze α şi producerea de Helium, legătura ce apare mai evidentă cînd ţinem samă că masa atomului de *He* ca şi a particulei α este de 4 ori mai mare decît a atomului de *H*. S'ar părea că o particulă α ar fi un atom de Helium încarcat cu două quante electrice positive. Dacă această părere este exactă, ar fi posibil ca discărcînd de electricitatea

lor particulele α, să le putem transforma în Helium. Dovada experimentală a transformării particulelor α în Helium fu dată de *Rutherford* şi *T. Royds* (1909). Un tubuşor cu Emanaţiune de *Ra*[1]) fu pus în interiorul altui tub; între dînsele se făcea vid. Pereţii tubului interior erau aşa de subţiri că puteau fi străbătuţi de particule α, dar nu de molecule de Helium. Prin spaţiul dintre cele 2 tuburi puteau trece discărcări electrice aşa că se putea cerceta spectroscopic gazul conţinut. La început se face vid. După cîteva zile în spaţiul dintre tuburi se constată spectroscopic producţie de Helium. S'a mai putut constata că o bună parte din particulele α, pătrunzând în pereţii sticlei exterioare, se transformă acolo în Helium. Se putea degaja gazul, pulberizînd stecla şi încălzind-o în vid.

In felul acesta se explică presenţa Heliului în multe minerale. Se citează că dintr'un gr. de Thorianită pulberizată şi încălzită în vid se pot extrage 9 cmc. Helium. „Atomii de Helium conţinuţi în minerale, sînt resturile razelor α, cari au fost produse în curgere de milioane de ani de substanţele radioactive şi nu se putuseră degaja din Thorianită". Ţinînd samă de pondurile atomice ale Ra (226), Emanaţiei (222) şi Heliului (4), putem representa transformarea chimică a *Ra* în Emanaţie şi *He* în felul următor:

$$\begin{array}{ccccc} \text{Radium} & = & \text{Emanaţie} & + & \text{Helium} \\ 226 & & 222 & & 4 \end{array}$$

In definitiv se stabileşte că un atom de *Ra*, pierzînd o particulă α (atom de He + 2 quante positive), dă naştere la Emanaţie. *Soddy* cel d'intăi a exprimat părerea că o particulă α este un atom de *He* încarcat cu 2 mase elementare positive.

---

1) Preparatul de *Ra*, din care s'a luat Emanaţia aceasta, fusese împrumutat de guvernul austriac.

CAP. VI.

Teoria transformărilor radioactive.

Transformările radioactive au putut fi considerate dintr'un punct de vedere general, de către *Rutherford*, care a făcut ipoteza că *ele sînt datorite unei discompuneri violente a atomilor elementelor chimice.* Discompunerea se poate asamana cu acea a unor molecule compuse a explosibilelor moderne, cum e nitroglicerina. Deosebirea fundamentală între schimbările substanţelor radioactive şi a celor explosibile este că la cele dintăi se disface *atomul*, la cele din urmă *molecula;* în ambele cazuri sînt aruncate părţi din sistem, cu repegiuni mai mari ori mai mici, şi în acelaş timp este pusă în libertate energia absorbită la formarea sistemelor din părţile constitutive degajate. Teoria radioactivităţii se bazează deci pe ipoteza unei structuri complicate a atomilor şi ea constitue astfel un sprijin nou şi puternic pentru concepţia nouă a structurei atomilor. Ca şi fenomenele descrise în întroducere, ea dă o lovitură hotăritoare concepţiei atomului omogen, nedestructibil şi nedivizibil şi pune în loc concepţia unui atom care se poate disface în alte părţi cu alte proprietăţi. Din acest punct de vedere atomii pot, teoretic, să presinte o mare variaţie: ei se pot disface necontenit presentînd repegiuni de reacţie uneori mari, alteori mici. Dacă am considera cazurile extreme, am putea prevedea că atomii cu repegiuni de disfacere mari, sînt aşa de nestabili, încît nici n'ar putea exista. Dacă din contra, repegiunea de transformare este foarte mică, noi n'am putea-o urmări şi atomii ar apărea din punct de vedere practic, ca sisteme invariabile. In categoria din urmă ar intra elementele vechi cunoscute, afară de *U* şi *Th.*

Pentru transformările acestea ale atomilor ştiinţa are un termin nou, acel de *dezagregare*, pe care îl vom întrebuinţa şi noi în cele ce urmează.

Uraniul, Thoriul, Radiul presintă dezagregări cu repegiuni mijlocii, aşa că fenomenul poate fi urmărit pe cale experimentală. Conform cu această teorie, radioactivitatea este un fenomen general, care nu poate fi însă urmărit decît în anumite cazuri, cînd el are loc cu repegiune de reacţie potrivită. Dezagregări cu repegiuni de reacţie mari, probabil s'au efectuat de multă vreme şi studiile de radioactivitate au surprins unele elemente în transformările lor, (*U*, *Th*, *Rh* şi altele...); metodele sensibile electrice au aratat că şi *K* şi *Rb* emit raze β.

Teoria aceasta poate fi formulată matematic. De oarece se transformă atomii unui element, reacţia, din punct de vedere chimic se clasază printre *reacţiile monomoleculare.* Putem aplica reacţiei legea maselor. Din un număr *N* de atomi, cari există la un moment dat, o fracţie λ se transformă în timpul unei secunde şi deci repegiunea de reacţie este

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N \qquad (1)$$

expresiune, care integrată, conduce la

$$\frac{1}{t} \log \frac{N_0}{N} = \lambda \qquad (2)$$

N_0 represintă numărul de atomi la timpul $t = o$, iar N la timpul t. Constanta λ se numeşte *constanta timpului* sau şi *constanta radioactivă.* Cînd substanţa s'a transformat pe jumătate, avem pentru timpul t o valoare particulară, pe care o notăm cu τ şi care a primit numele de *timpul transformării pe jumătate* sau *perioadă.* In acest caz avem din (2)

$$\tau = \frac{\log 2}{\lambda} \qquad (3)$$

Introducînd logaritmii zecimali, avem

$$\tau = \frac{2{,}3 \log_{10} 2}{\lambda} = \frac{0{,}693}{\lambda} \qquad (4)$$

Este deci de ajuns să cunoaştem λ pentru a putea determina τ, ori reciproc. Expresiunea $\frac{1}{\lambda}$ se numeşte *viaţa mijlocie* a atomului radioactiv.

Pentru fiecare element radioactiv perioada are o valoare *constantă caracteristică acelui element.* Pentru emanaţia de *Ra* avem $\tau = 3{,}85$ zile. Pentru *Ra* valoarea τ = timpul distrugerei

a jumătate din atomi, nu este cunoscut cu precisiune. El a fost calculat în chipul următor. S'a determinat prin metoda spintariscopului că 1 gr. de *Ra* emite pe Sec. $3,4 \times 10^{10}$ particule α; după schema

$$\text{Radium} = \text{Emanaţie} + \text{Helium}$$

fiecare particălă α este aruncată de un atom de Ra şi deci pe Sec. sufăr schimbări $3,4 \times 10^{10}$ atomi de *Ra*. In 226 gr. *Ra* avem $6,05 \times 10^{23}$ atomi; într'un gr. de *Ra* avem deci

$$\frac{6,05 \times 10^{23}}{226} \text{ atomi}$$

Din aceştia se transformă pe secundă fracţia λ, dată de

$$3,4 \times 10^{10} = \lambda \frac{6,05 \times 10^{23}}{226}$$

De-aici

$$\lambda = 1,268 \times 10^{-11}$$

şi

$$\tau = \frac{0,693}{1,268 \times 10^{-11}} = 1730 \text{ ani}$$

Fajans pag. 18 dă valoarea $\tau = 1600$ de ani, calcul făcut pe baza experienţelor *Hess* şi *Lawson* (1918), cari au găsit pentru numărul de particule emise de 1 gr. de *Ra* cifra $3,72 \times 10^{10}$. Altă determinare, prin altă metodă dă $\tau = 1658$ ani [1]).

---

1) Calculele de mai sus pot fi inversate. In relaţia

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

cunoaştem valoarea lui $-\frac{dN}{dt} = 3,4 \times 10^{10}$ pentru 1 gr. de Ra. Pe de altă parte din variaţia activităţii *Ra* s'a fixat la 1730 de ani, timpul transformării pe jumătate. Atunci

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{1730 \text{ ani}}{0,693} = \frac{1730 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60}{0.693} = 7,87 \times 10^{10}$$

Asta însamnă că cei N atomi conţinuţi într'un gr. de *Ra* se cifrează la

$$N = -\frac{1}{\lambda}\frac{dN}{dt} = 7,87 \times 10^{10} \times 3,4 \times 10^{10}$$

Atunci într'un gr. atom de *Ra* avem

$$N = 226 \times 7,87 \times 10^{20} \times 3,4 = 6,05 \times 10^{23}$$

Avem astfel o metodă nouă pentru determinarea constantei lui *Avogadro* (Grimsehl II pag. 494 şi 506).

Valoarea lui λ se poate determina urmărind electrometric radioactivitatea *Ra*. Raportul radioactivităţilor la timpurile O şi t este egal cu raportul $\frac{N_0}{N}$ din formula (2). Aplicînd formula (2) avem λ, iar (4) dă $\tau = 1730$ ani.

La emanaţie valoarea $\tau = 3,85$ zile se determină direct, urmărind electrometric radioactivitatea ei; după 3,85 zile ea se scoboară la jumătate. Pentru U avem $\tau = 4,5 \times 10^{9}$ ani, prin metoda de numarare a particulelor α.

Am dat mai sus două metode pentru determinarea valorilor lui τ. Aceste valori caracterizază elementul radioactiv, după cum pondul atomic caracterizază elementele stabile. Alte metode pentru determinarea lui τ vom vedea mai în urmă. Acum ni mărginim să arătăm că în conformitate cu natura transformărilor substanţelor radioactive, s'au căutat valori cari să caracterizeze prin constanţa lor un element, în afară de timpul de transformare pe jumătate.

Am văzut că pentru razele α avem o caracteristică în *parcursul* acestor raze în aer. Pentru razele α ale Poloniului acest parcurs era 3,86 cm. La *Ra* el este de 3,30 cm.

Am văzut că razele β şi γ sînt mai pătrunzătoare decît razele α. Cînd în drumul razelor β ori γ punem foi metalice cari absorb o parte din aceste raze, se constată că razele cari strabat foiţa au o activitate mai mică decît a razelor, cari cădeau pe foae. Dacă I_0 este intensitatea de radiaţie iniţială pentru fasciculul de raze β cari cad pe o lamă de Aluminiu de grosime x, notînd cu I intensitatea razelor cari esă din lamă, avem

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

μ este coeficientul de absorbţie. Putem avea valoarea lui pentru razele β (μ_β) şi pentru razele γ (μ_γ). Uneori în literatură avem şi valori μ pentru raze β ori γ, cînd cad pe lama de *Pb*. Cînd raportul $\frac{I}{I_0}$ a ajuns la $^1/_2$ avem

$$\mu x = \log 2$$

şi

$$x = \frac{\log 2}{\mu} = \frac{0,693}{\mu} = \Delta$$

represintă grosimea lamei de *Al*, care reduce intensitatea razelor β ori γ la jumătate. Valorile numerice ale lui μ şi Δ sînt caracteristice pentru fiecare element şi rază (β ori γ).

In definitiv pentru caracterizarea elementelor radioactive avem următoarele posibilităţi:

1) Felul radiaţiei; vom vedea că unele elemente la deza-

gregarea lor emit raze α, β, γ; altele numai α, altele numai β, γ etc.

2) Timpul în care activitatea este redusă la jumătate. Il vom nota cu τ = perioada.

3) Parcursul în aer al razelor α; îl notăm cu d.

4) Grosimea plăcii de *Al* care reduce la jumătate intensitate razelor β (Δ_β) şi a razelor γ (Δ_γ).

Geiger a aratat că între valorile d ale unui element şi repegiunile v cm. cu cari sînt aruncate particulele α avem relaţia

$$v^3 = a\,d$$

unde a e o constantă, a cărei valoare a fost calculată din datele experimentale şi fixată la

$$a = \frac{(1{,}92 \times 10^9)^3}{6{,}99} = 1{,}08 \times 10^{27}$$

In afară de aceasta tot *Geiger* a aratat că este o relaţie simplă între *parcursuri* şi valorile τ. Dacă representăm grafic *log* τ în funcţie de *log d*, luînd *log d* ca abscise şi *log* τ ca ordonate, obţinem o linie dreaptă.

Amintim această relaţie [1]) care permite să determinăm τ cînd cunoaştem pe d şi invers. In genere, cu cît τ e mai mare, cu atît d este mai mic şi acest rezultat arată că la elementele stabile, adică acelea cari întrebuinţază timpuri foarte îndelungate, ca să se transforme, avem d aşa de mic, încît n'ar putea fi determinat experimental, prin mijloacele de cari dispunem acum.

Teoria radioactivităţii conduce, cum am văzut la o formulă logaritmică, în totul analoagă aceleia de la transformările monomoleculare.

$$\lambda = \frac{1}{t} \log \frac{N_0}{N}$$

Ca măsură a cantităţilor N_0 şi N se ia radioactivitatea la timpurile t = o şi t = t. Constanta λ este *repegiunea de dezagregare* a elementului radioactiv. Am văzut că din cunoaşterea lui λ calculăm pe τ = timpul dezagregării pe jumătate, $\frac{N_0}{N} = 2$. Urmează de aici:

1) Ori decîte ori, cercetînd un element radioactiv, găsim un

1) *Fajans* pag. 28 (1922).

nou λ ori τ, sîntem siguri că în faţa noastră avem un element radioactiv necunoscut pînă atunci.

2) De asemenea, dacă se constată o lege de dezagregare mai complicată decît cea logaritmică, sîntem siguri că sînt mai multe substanţe radioactive cari sufăr dezagregare, aşa că efectele lor se suprapun, dînd fenomenului un mers mai complicat.

Ţinînd samă de aceste concluzii, cari alcătuesc două reguli practice de cercetare ţinîndu-se apoi samă de constantele caracteristice elementelor radioactive, s'a putut face studiul acestor transformări, studiu pe care îl redăm în cele ce urmează.

In lumina principiilor conducătoare de mai sus, voim să arătăm la ce rezultate a ajuns *Rutherford*, urmărind sistematic transformările Emanaţiei de *Ra*. Am văzut în adivăr că acest gaz dă naştere la *He*. Acesta nu-i singurul product de dezagregare al Emanaţiei de *Ra*. Incă *Pierre Curie* observase că obiectele cari au stat în apropiere de un preparat de *Ra* capătă proprietăţi radioactive. Fenomenul fusese numit *Radioactivitate indusă*. Fenomenul se observă şi la Emanaţia de Ra. Păreţii tuburilor în care am ţinut Emanaţia de Ra, ca şi obiectele ce au stat într'o atmosferă cu Emanaţie, devin radioactive. Pe un fir de *Pt* ţinut în Emanaţie se depune un precipitat solid, invizibil, numit *precipitat activ*, care se discompune după o lege mai complicată decît cea logaritmică. Cercetarea mai atentă a arătat lui *Rutherford* că în acel precipitat activ trebue admisă existenţa a 3 elemente radioactive. Din Emanaţie rezultă direct prin eliminare de particule α un element nou Radium-A (Ra A), care are un timp de dezagregare pe jumătate $\tau = 3$ minute; acesta emite raze α şi trece în Radium B (Ra B, cu $\tau = 26{,}8$ minute). La rîndul său Ra B emite raze β, γ şi trece în *Ra C* caracterizat prin $\tau = 19{,}5$ minute şi care emite raze α, β şi γ. Concluzia aceasta fu verificată şi pe cale chimică.

Dacă disolvim într'un acid precipitatul activ, după o jumătate de oră putem admite că *Ra A* ($\tau = 3$ minute) s'a dezagregat complect. Punînd în soluţie o lamă de *Ni*, constatăm că pe dînsa s'a depus un metal care emite raze α, β şi γ. Acesta este *Ra C*, care se discompune după formula logaritmică, avînd $\tau =$ 19,5 minute.

Dacă din contra la soluţie adăogăm o sare de plumb şi dacă precipităm plumbul ca SO_4 Pb, se constată că *Ra C* ră-

mîne în soluţie, pe cînd în precipitat avem *Ra B* cu $\tau = 26{,}8$ minute, care emite raze β şi γ şi trece în *Ra C*. Separarea celor 3 elemente se poate face şi prin încălzire, electroliză... Avem în faţa noastră deci trei *elemente nouă*, aşa încît transformările *Ra* pot fi arătate

$$\text{Ra} \longrightarrow \text{Ra Em} \longrightarrow \text{Ra A} \longrightarrow \text{Ra B} \longrightarrow \text{Ra C}$$

Metodele aratate întrebuinţate la cercetarea altor substanţe radioactive, au dus la concluzia, că există numeroasè alte elemente radioactive, cari, după cum se formează, pot fi grupate în 3 serii ori familii:

Seria *Uraniului, Actiniului* şi *a Thoriului.*

Vom considera pe rînd aceste serii, arătînd din ce elemente se compun.

Seria Uraniului.

Uraniul trimete raze α. Dezagregarea lui conduce succesiv la o serie de elemente UX_1, UX_2, U_{II}. In 1907 *Boltwood* descopere *Ionium*, care poate fi separat din mineralele de Uran odată cu Thoriul. *Ionium* se trasformă în *Ra*, aşa că presenţa *Ra* în mineralele de *Uran* se explică prin dezagregarea Uraniului. In adivăr, *Ra* cu o constantă $\tau = 1600$ ani ar dispărea prin dezagregare după 10000—20000 de ani. Dar dacă îl găsim în mineralele de Uran necontenit şi în proporţie constantă [1]), asta însamnă că ceia ce se distruge din *Ra* prin dezagregare se reface din Ur. Utilizînd nomenclatura chimică, am putea spune că între Uraniu şi *Ra* avem un echilibru dinamic. Pentru substanţele radioactive acest echilibru se numeşte şi el *radioactiv.* Dacă

$-\frac{dN}{dt} = \lambda N$ este repegiunea de dezagregare a unui element radioactiv *A*, şi

$-\frac{dn}{dt} = \mu n$ este repegiunea de dezagregare a altui element *B*, care este în echilibru radioactiv cu A, putem scri

$$-\frac{dN}{dt} = -\frac{dn}{dt} = \lambda N = \mu n$$

1) *Marckwald* a aratat în 1913 că la 1 gr. de Uraniu avem în chip constant, $3{,}328 \times 10^{-7}$ gr. *Ra.* sau în gr. atomi $\frac{U}{Ra} = 2{,}79 \times 10^{6}$, după alte determinări (1920, *Lind, Roberts*).

N şi *n* representînd numărul de atomi existenţi la timpul t; atunci

$$\frac{N}{n} = \frac{\mu}{\lambda},$$

Dar, am văzut că

$$\mu = \frac{0{,}693}{\tau_2}, \qquad \lambda = \frac{0{,}693}{\tau_1}$$

unde τ_1 şi τ_2 sînt timpurile de transformare pe jumătate ale elementelor A, B, Atunci

$$\frac{N}{n} = \frac{\tau_1}{\tau_2}$$

Dar transformările radioactive dau naştere la serii de elemente derivate. Echilibrul radioactiv [1]) între terminii seriei, cere ca

$$-\frac{dN_1}{dt} = -\frac{dN_2}{dt} = -\frac{dN_3}{dt} = \ldots$$

sau

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \lambda_3 N_3 \ldots = \lambda_n N_n$$

ceia ce conduce la

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_n N_n$$

şi de aici

$$\frac{N_1}{N_n} = \frac{\tau_1}{\tau_n}$$

representînd cu τ_1 şi τ_n timpurile de reducere la jumătate a două

1) Ra, Ra Em, Ra A, Ra B şi Ra C, Ra C', Ra D etc. sînt în echilibru radioactiv. Ţinînd samă numai de acelea cari emit particule α, precum şi de numărul particulelor emise rămîne să avem în vedere numai radiaţia α emisă de Ra, Ra Em, Ra A şi Ra C, aflătoare în *echilibru radioactiv.* Numărul de particule α emise pe Sec. de fiecare din acestea este egal cu acela al particulelor emise de *Ra* singur, aşa că la un loc cu celelalte substanţe, cu cari el se găseşte în echilibru radioactiv, *1 gr.* de *Ra* emite pe Sec.—în acord şi cu observaţia de la pag. 61 sus—de patru ori mai mult, decît emite singur adică $3{,}4 \times 10^{10} \times 4 = 13{,}6 \times 10^{10}$ particule. Intr'un an se emit deci în aceste condiţii $429 \times 10^{16} = 13{,}6 \times 10^{10} \times 365 \times 24 \times 60 \times 60$ particule. După *J. Dewar*, dintr'un gr. de *Ra* se desvoltă într'un an 164 mm^3 de He; după *Boltwood* şi *Rutherford* 156 mm^3 de *He.* Atunci într'un cm^3 de *He* avem

$$\frac{429 \times 10^{16}}{0{,}164} = 26 \times 10^{18} \text{ atomi}$$

şi în 22400 cmc, ori o moleculă gr.

$$\frac{429 \times 10^{16} \times 22400}{0{,}164} = 58 \times 10^{22} = \text{constanta lui Avogadro.}$$

elemente 1 şi n din serie. Relaţia de mai sus este preţioasă. Ea arată:

1) că între cantităţile celor două elemente radioactive, apropiate ori departate în Serie, dar cari se găsesc în echilibru radioactiv, avem un raport constant.

2) că din cunoaşterea cantităţilor şi a valoarei unui τ, de exemplu τ_n, putem determina valoarea τ_1 a celeilalte substanţe cînd ambele se găsesc în echilibru radioactiv. Avem astfel o nouă metodă care permite determinarea valorilor τ, aşa că această cantitate caracteristică se poate determina prin mai multe metode. Cu modul acesta avem un control riguros al datelor experimentale. Metoda aceasta aplicată la U şi R dă $\frac{U}{R} = 2{,}79 \times 10^{6} = \frac{\tau}{1600}$

de unde τ al Uraniului $= 4{,}5 \times 10^{9}$ ani, în bun acord cu metoda spintariscopului.

Transformările succesive ale Uraniului sînt aratate în tabloul următor. De asemenea din tablourile corespunzătoare se pot vedea transformările succesive în seria Actiniului şi a Thoriului. Aceste tablouri le redăm după publicaţia lui *Fajans*, Radioaktivität (1922).

La acest tablou avem de adăogat următoarele explicaţiuni:

U_I trece în UX_1; dar trece şi într'un corp UY, care apare astfel ca o ramificare la U_I. Acest UY este caracterizat prin $\tau = 25$ oare; el emite raze β, avînd $\Delta_\beta = 2{,}3 \times 10^{-3}$ cm. Din punct de vedere chimic se asamănă cu Thoriul. *UY* provine prin transformare şi din U_{II}, aşa că la U_{II} avem o ramificare. La *Ra B* valorile Δ_β determinate au condus la mai multe valori: $\Delta_\beta = 5{,}3 \times 10^{-2}$; $8{,}6 \times 10^{-3}$ şi 8×10^{-4}. De asemenea pentru Ra B avem diferite valori pentru $\Delta_\gamma = 1{,}36.10^{-2}$; $1{,}73.10^{-2}$; 3×10^{-3}.

Pentru *Ra C* avem altă ramificare, care dă pe lîngă *Ra C'* şi pe *Ra C''*. Amîndouă acestea trec în *Ra D*. Parcursurile se raportă la aer de 15^0 şi 760 mm. şi la razele α.

Ponderile atomice ale *U* (238,2), *Ra* (225,97) şi Radioplumbului (Ra G, 206) au fost determinate direct. In tablou, în coloana *tip chimic* se arată elementul cunoscut care se apropie prin proprietăţile sale chimice de cel radioactiv.

Seria Uraniului

Numele elementului radioactiv	Simbol	τ	Felul razelor emise	parcurs d. în cm.	Grosimea în cm a lamei de Al care reduce la $1/_2$ activitatea Δ_β	Grosimea în cm a lamei de Al care reduce la $1/_2$ activitatea Δ_γ	Tipul chimic	Pond atomic
Uraniu I	U_I	$4{,}5 \times 10^{9}$ ani	α	2,7	—	—	U	238,2
Uran X_1	$\rightarrow \overset{\downarrow}{U} X_1$	24 zile	$\beta\gamma$	—	$1{,}36 \times 10^{-3}$	$\left\{ \begin{matrix} 0{,}99.10^{-2} \\ 2{,}89.10^{-2} \end{matrix} \right.$	Th	234.—
Uran X_2	$\rightarrow \overset{\downarrow}{U} X_2$	1,15 minute	$\beta\gamma$	—	$4{,}81 \times 10^{-2}$	4,95	Pa	234
Uran II	$\rightarrow U_{II}$ $\rightarrow$ Uy	2.10^{6} ani	α	3,1	—	—	U	234
Ionium	$\rightarrow$ Io	25 oare 10^5 ani	α	— 3,19	$2{,}3.10^{-3}$ —	—	Th Th	? 230
Radium	$\rightarrow$ Ra	1600 ani	$\alpha\beta$	3,39	$2{,}2.10^{-3}$	—	Ra	225,97
Emanaţia de radium	$\rightarrow$ Ra Em	3,81 zile	α	4,12	—	—	Em	222.—
Radium A	$\rightarrow$ Ra A	3 minute	α	4,72	—	—	Po	218—
Radium B	$\rightarrow$ Ra B	26,8 minute	$\beta\gamma$	—	—	—	Pb	214—
Radium C	$\rightarrow$ Ra C	19,5 minute	$\alpha\beta\gamma$	—	$\left\{ \begin{matrix} 5{,}3 \times 10^{-2} \\ 1{,}31.10^{-2} \end{matrix} \right.$	3,0 ; 5,5	Bi	214—
Radium C'	$\rightarrow$ Ra C'	10^{-6} Sec.	α	6,97	—	—	Po	214—
Radium C''	$\rightarrow$ RaC''	1,32 minute	β	—	$\left\{ \begin{matrix} 1{,}31.10^{-2} \\ 5{,}3.10^{-2} \end{matrix} \right.$	—	Tl	
Radium D	Ra D	16 ani	$\beta\gamma$	—	$1{,}26 \times 10^{-4}$	0,70—0,015	Pb	210
Radium E	Ra E	5 zile	$\beta\gamma$	—	$1{,}61.10^{-2}$	0,70—0,015	Bi	210
Radium F (Poloniu)	Ra F (Po)	136 zile	α	3,92	—	—	Po	210
Radium G Radioplumb	$\rightarrow$ Ra G (Pb)	—	—	—	—	—	Pb	206

Seria Actiniului

Nume	Simbol	τ	Raze emise	parcurs d. în cm. pentru α	Grosimea în cm. a lamei de Al reducînd radioactivitatea la 1/2		Tipul chimic	Pond atomic ipotetic
					Δ_β	Δ_γ		
Protactiniu	Pa	10^4 ani	α	3,67	—	—	Pa	230
Actiniu	Ac	20 ani	β	—	—	—	Ac	226
Radioactiniu	Rd Ac	19 zile	$\alpha\beta\gamma$	4,68	$4,10^{-3}$	$2,8.10^{-2}$ / $3,5.10^{-3}$	Th	226
Actinium X	Ac X	11,5 zile	α	4,37	—	—	Ra	222
Em. de Actiniu	Ac Em	3,92 Sec.	α	5,79	—	—	Em	218
Actiniu A	Ac A	0,002 Sec.	α	6,58	—	—	Po	214
Actiniu B	Ac B	36,1 minute	$\beta\gamma$	—	foarte mic	$1,54.10^{-5}$ / $2,23.10^{-2}$ / $5,77.10^{-3}$	Pb	210
Actiniu C	Ac C	2,15 minute	α,β	5,51	—	—	Bi	210
Actiniu C'	Ac C''	0,005 Sec.	α	6,4	—	—	Po	210
Actiniu C''	AcC'	4,76 minute	$\beta\gamma$	—	$2,4.10^{-2}$	3,5	Tl	206
Actiniu D	Ac D	—	—	—	—	—	Pb	206
Actinio plumb								

Ponderile atomice indicate în acest tablou sînt ipotetice. Se observă și aici o ramificare AcC—›AcC'—›AcD, pe lîngă AcC—›AcC''—›AcD

Seria Thoriului

Nume	Simbol	τ	Raze	parcurs în aer, cm. d	Cm. grosime foae de Aluminium		Tip chimic	Pond atomic
					Δ_β	Δ_γ		
Thorium	Th	$1,5.10^{10}$ ani	α	2,9	—	—	Th	232,15
Mesothorium 1	Ms Th_1	6,7 ani	β	—	—	—	Ra	228
Mesothorium 2	Ms Th_2	6,2 oare	$\beta\gamma$	—	$3,5.10^{-2}$ până la $1,8.10^{-2}$	0,027 / 5,98	Ac	228
Radiothorium	Rd Th	1,90 ani	$\alpha\beta$	4,02	—	—	Th	228
Thorium X	Th X	3,64 zile	α	4,35	—	—	Ra	224
Em. de Thoriu	Th Em	54,5 Sec.	α	5,06	—	—	Em	220
Thorium A	Th A	0,14 Sec.	α	5,68	—	—	Po	216
Thorium B	Th B	10,6 oare	$\beta\gamma$	—	$4,5.10^{-3}$	$4,3.10^{-3}$ / $2,2.10^{-2}$ / 1,9	Pb	212
Thorium C	Th C	60,8 minute	$\alpha\beta$	4,79	$4,8.10^{-2}$	—	Bi	212
Thorium C'	Th C'	10^{-11} Sec.	α	8,62	—	—	Po	212
Thorium C''	Th C''	3,20 minute	$\beta\gamma$	—	$3,2.10^{-2}$	7,22	Tl	208
Thorium D	Th D	—	—	—	—	—	Pb	208
Plumb din Thoriu								

Ponderile atomice au fost determinate direct la *Th* (232,15) și *Th D* (208).

Din tabele se vede că unele elemente au valori foarte mici pentru τ; în echilibru radioactiv cu *Ra* şi *Ra Em* ele se produc, după legea amintită în cantităţi extrem de mici; aşa avem numai $\frac{3}{100000}$ mg. *Ra B.*

Ultimii termini ai seriilor nu mai presintă radioactivitate care să poată fi măsurată. Asta însamnă că ei constitue elemente stabile şi închee seria transformărilor. De aceia ei se numesc *producte ultime.* Se mai vede că seriile se asamănă, pînă şi în ramificările din ultimii termini.

In tabele se arată ce fel de raze emit diferitele elemente. Din acest punct de vedere avem de făcut observaţia următoare: unele elemente îşi disfac atomul în atomul elementului care urmează în serie, aratat prin săgeată şi dau în acelaş timp un atom de *He*, sub forma de particulă α. Acest fel de transformare se numeşte *transformare* α. Din tabele se vede că atunci cînd ea are loc, *pondul atomic al elementului care ia naştere este cu 4 unităţi mai mic decît pondul atomic al elementului, din care a rezultat.* Observăm acest lucru la transformările $U_I \rightarrow UX_1$; Io $\rightarrow$ Ra; Ra $\rightarrow$ Ra Em etc...; Th $\rightarrow$ Ms Th_1; Th X $\rightarrow$ Th Em... Există un al doilea fel de transformare, cînd o substanţă emite raze β ori $\beta\gamma$, adică electroni. Avem astfel transformarea β. In acest caz elementul rezultat are acelaş pond atomic cu cel care i-a dat naştere. Aşa $UX_2 \rightarrow U_{II}$, Ra B $\rightarrow$ Ra C etc... Cînd elementele emit şi raze α şi β, transformarea este mai complicată. Probabil aşa se pot explica transformările, cînd un element dă naştere la alte două. *Ra C* prin emisiune α trece în *Ra C''*; *Ac C* trece în *Ac C''* şi Th C $\rightarrow$ Th C''. Alţi atomi prin emisiune de particule $\alpha\beta$ trec în elemente cu acelaş pond atomic, Ra C $\rightarrow$ Ra C'; Ac C $\rightarrow$ Ac C'; Th C $\rightarrow$ Th C'. Aşa se explică ramificările aratate în tabelă la aceste elemente.

CAP. VII.

Proprietăţile chimice ale substanţelor radioactive. Aşezarea lor în sistemul periodic. Isotopia.

Studiul substanţelor radioactive a aratat că există vr'o 40 de Elemente de acestea, şi a pus ca probleme nouă studiul lor din punct de vedere fisic şi chimic, precum şi *aşezarea în sistemul periodic.*

Cercetarea unora din elemente din punct de vedere al proprietăţilor fisice şi chimice nu oferea greutăţi; ea s'a făcut la aceste elemente direct, după ce s'au isolat elementele şi s'au cunoscut combinaţiile lor. Alte elemente însă din cauză că au o durată scurtă, se găsesc în natură în cantităţi foarte mici, ceia ce rîdică greutăţi de neînlăturat în ce priveşte cercetarea lor. Foarte de multe ori ele se separă odată cu alte elemente şi studiul proprietăţilor lor chimice a trebuit să se facă în aceste condiţii. Problema s'a complicat, cînd s'a văzut că *unele substanţe radioactive nu se pot separa pe cale chimică nici de unele elemente obicinuite, nici de alte substanţe radioactive (H. McCoy, W. Ross* 1907).

Pentru a vedea, cît de complicat se presintă studiul substanţelor radioactive, amintim următoarele: din Pechblendă se pot izola odată cu *Bi* un element radioactiv *Polonium*, şi odată cu *Lanthanul* alt element radioactiv *Actinium.* Fiind în cantităţi mici, n'au putut fi izolate aceste elemente (*Po* şi *Ac*) în stare de puritate. Totuşi studiul lor în amestic a condus la rezultatul că ele formează două elemente, cari îşi au locul bine derminat în sistemul periodic şi anume *Po* ca homolog superior ale *Te (Marckwald,* 1902) şi *Ac* ca homolog superior al *La.* Proprietăţile radioactive au putut fi atribuite astfel la două *elemente* nouă, *cu proprietăţi chimice distincte.*

Cu totul alttel se prezintă cazul cu *Plumbul* separat din mi-

neralele de Uran. Acesta este *totdeauna radioactiv*, din cauză că este întovărăşit de *Ra D* şi productele lui de transformare Ra E şi Ra F, identificate pe cale radioactivă.

Toate încercările de a separa *Ra D* de *Pb* au rămas infructuoase; de asemenea au rămas zadarnice încercările de a-l *concentra*. Toate operaţiile, volatilizare, cristalizare fracţionată, oxidare, precipitare fracţionată etc... conduc la un *Pb* radioactiv, care are necontenit aceiaşi cantitate de *Ra D*. ¡Dar *Ra D* este bine cunoscut şi a putut fi obţinut din dezagregarea Emanaţiei de Ra liber de *Pb*; el are *alţi atomi*, deosebiţi de ai Plumbului şi totuşi nu poate fi separat de *Pb* prin metodele chimice.

De asemenea prin mijloace chimice nu se pot separa *Io* de *Th*, obţinut din Pechblendă, nici Mesothorium$_1$ de *Ra*. Chimia elementelor neradioactive n'a cunoscut acest fenomen, de complectă *analogie chimică a două elemente distincte*. Dacă s'ar fi putut separa elementele Ra D, Io şi Ms Th$_1$ în stare de puritate şi le-am fi dat unui chimist să le supună analizei calitative el le-ar fi identificat ca *Pb*, *Th*, *Ra*. Metoda radioactivă a permis să identificăm aceste corpuri ca *elemente*.

Pentru fixarea în sistemul periodic, este nevoe să cunoaştem:

1) pondul atomic al unui element
2) proprietăţile lui fisice şi mai ales chimice
3) numărul de ordine.

Metodele obicinuite de fixare a pondului atomic nu se pot aplica la elementele radioactive, cari nu pot fi obţinute în stare de puritate, prin separare de alte corpuri. De aceia a trebuit să se recurgă la o *altă metodă*, proprie substanţelor radioactive, Această metodă ţine samă de felul radiaţiei emise.

De cîte ori un atom emite o particulă α (al cărei pond atomic este 4) vom fixa pentru elementul rezultat un pond atomic cu patru unităţi mai mic, decît al Elementului din care ia naştere.

De asemenea decîteori un atom radioactiv emite o particulă β (cu masa $\frac{1}{2000}$ din acea a atomului de H) ar trebui să-i scoborîm pondul atomic cu $\frac{1}{2000}$; dar prin emiterea electronului sub formă de β, atomul resultat ar fi încarcat positiv; atomul acesta devine neutru prin încorporarea unui electron, aşa că *atomul neutru* are acelaş pond ca atomul din care a rezultat. Această regulă aplicată, ţinînd samă de legăturile genetice ale elementelor radioactive, a permis *fixarea ponderilor atomice la cele 40 de Elemente radioactive* cunoscute, redate în tablourile precedente, cari prin metoda radioactivă au fost fixate ca *elemente* noi, diferite între dînsele şi diferite de elementele vechi cunoscute.

Problema fixării celor 40 de elemente radioactive în sistemul periodic se reduce la aşezarea a 40 de elemente pe un număr de locuri libere cu mult mai mic decît 40. Problema s'a putut rezolvi, numai dacă ţinem samă de *proprietăţile chimice* ale elementelor.

Se constată că elementele cu lungă durată, cu U, Th, Po, Ra, Ra Em, Ac şi Pa (Protactinium), conform proprietăţilor lor chimice, au cîte un loc în sistemul periodic. Elementele, cari nu se pot separa de altele, din cauza complectei analogii chimice se aşază în *acelaş loc* în sistemul periodic. O asemenea aşezare *ţine deci samă în primul loc de proprietăţile chimice* şi numai în aceste condiţii este posibilă fixarea tuturor elementelor în sistem,

Obţinem în felul acesta următoarele grupe de elemente, cu indicaţia *numărului de ordine*, pe lîngă care este simbolul elementului tipic din punct de vedere chimic. Ponderile atomice sînt în ordine crescîndă. Un (n) indică elementele stabile, *neradioactive*. Numerile puse în parantez sînt ipotetice.

Număr de ordine	Elementele din grupă		Pond atomic
81. *Tl*	Thalium *Tl* (n)		204
	Actinium C″	*AcC″*	(206)
	Thorium C″	*ThC″*	208
	Radium C″	*RaC″*	210
82. *Pb*	Radium G	RaG (n)	206.—
	Plumb	Pb (n)	207.2
	Thorium D	ThD (n)	208.—
	Radium D	RaD	210
	Actinium B	AcB	210
	Thorium B	ThB	212
	Radium B	RaB	214

Număr de ordine	Elementele în grupă		Pond atomic
83 Bi	Bismut	Bi (n)	209
	Radium E	RaE	210
	Actinium C	AcC	(210)
	Thorium C	ThC	212
	Radium C	RaC	214
84. Po	Polonium (Radium F) *Po*	RaF	210
	Actinium C′	AcC′	(210)
	Thorium C′	ThC′	212
	Radium C′	RaC′	214
	Actinium A	AcA	(214)
	Thorium A	ThA	216
	Radium A	RaA	218
86. Em	Emanaţia	Em	—
	Emanaţia de Actinium	AcEm	(218)
	„ „ Thorium	ThEm	220
	„ „ Radium	RaEm	222
88. Ra	Actinium X	AcX	(222)
	Thorium X	ThX	224
	Radium	Ra	225,97
	Mesothorium 1	$MsTh_1$	228
89. Ac	Actinium	Ac	(226)
	Mesothorium 2	$MsTh_2$	228
90. Th	Radioactinium	RdAc	(226)
	Radiothorium	RdTh	228
	Ionium	Io	230
	Uran Y	UY	(230)
	Thorium	Th	232,1
	Uran X_1	UX_1	234
91. Pa Protactinium	Protactinium	Pa	(230)
	Uran Z	UZ	?
	Uran X_2 *(Brevium)*	UX_2	234
92. U	Uran II	U_{II}	234
	Uran I	U_I	238,2

Elementele unei grupe sînt caracterizate prin acelaş număr de ordine şi aceleaşi proprietăţi chimice. *Fajans* a propus pentru o asemenea grupă numele de *pleiadă*, iar *Soddy* a propus să se accepte numele de *isotope* pentru termenii unei pleiade.

Se pare că s'a căzut de acord, ca să se considere isotopele, *nu ca elemente deosebite*, ci *deosebite feluri de atomi* ale aceluiaş element.

Această înşirare în sistemul periodic nu s'a făcut, fără a zgudui unele idei, cu care se deprinseseră oamenii de ştiinţă. In special trebue să insistăm asupra următoarelor caracteristice, cari apar acum pentru prima oară. Aşa ne deprinsesem să constatăm că la fiecare *pond atomic*, corespunde *un element*, cu proprietăţi chimice bine definite. Tabelele de mai sus arată că în fiecare pleiadă avem elemente de acelaş tip chimic, de şi ponderile atomice diferă uneori foarte mult. Aşa Po (210) şi RaA (218); ori RdAc (226) şi UX_1 (234) etc...

Apoi, constatăm că substanţe *cu acelaş pond atomic* au proprietăţi chimice deosebite: Ra C″ (210) are proprietăţi ca *Tl*; Ra D (210), Ac B (210) au proprietăţi ca *Pb*; Ra E (210) este trivalent ca *Bi* etc...

Inversiunile constatate excepţional la *A* şi *K*, *Te* şr *I* etc... se întîlnesc aici foarte des. Cu modul acesta ajungem la concluzia, deja enunţată odată cu legea lui *Moseley*, că *nu pondul atomic este hotărîtor la aşezarea elementelor în sistem periodic.*

Prin fixarea isotopelor la acelaş *număr de ordine*, reuşim să realizăm o aşezare definitivă a tuturor elementelor. Se obţine astfel tabloul pag. 82. Coloanele verticale conţin elemente asămănătoare din punct de vedere chimic şi pentru a ţinea şi mai bine samă de acest fapt, se deosebesc grupele verticale în subgrupe *a* şi *b*.

Regula de deplasare. Soddy, Fajans şi *Russell* au căutat să stabilească o legătură între transformările α şi β ale substanţelor radioactive şi locurile din sistemul periodic. O asemenea legătură a fost stabilită de dînşii şi este cunoscută sub numele de *legea de deplasare*. Ea se formulează în următoarele 2 propoziţii, pentru înţălegerea cărora trebue să avem în vedere coloanele verticale din tabloul aşezării periodice, precum şi numerile de ordine.

1) Cînd o substanţă emite raze α, elementul rezultat ocupă în sistemul periodic un loc ce se află la a doua coloană spre stînga şi în aceiaşi linie orizontală sau are numărul de ordine cu 2 unităţi mai mic decît substanţa din care rezultă.

Sistemul periodic al elementelor

Perioada	Seria	Grupa I a	Grupa I b	Grupa II a	Grupa II b	Grupa III a	Grupa III b	Grupa IV a	Grupa IV b	Grupa V a	Grupa V b	Grupa VI a	Grupa VI b	Grupa VII a	Grupa VII b	Grupa VIII	Grupa 0
			1. H 1,008														2. He 4,00
I	1	3. Li 6,94		4. Be 9,0		5. B 10,90		6. C 12,00		7. N 14,008		8. O 16,00		9. F 19,00			10. Ne 20,2
II	2	11. Na 23,00		12. Mg 24,32		13. Al 27,1		14. Si 28,3		15. P 31,04		16. S 32,07		17. Cl 35,46			18. Ar 39,9
III	3	19. K 39,10		20. Ca 40,07		21. Sc 45,10		22. Ti 48,1		23. V 51,0		24. Cr 52,0		25. Mn 54,93		26. Fe 27. Co 28. Ni 55,84 58,97 58,68	
	4	29. Cu 63,57		30. Zn 65,37		31. Ga 69,9		32. Ge 72,5		33. As 74,96		34. Se 79,2		35. Br 79,92			36. Kr 82,92
IV	5	37. Rb 85,5		38. Sr 87,64		39. Y 88,7		40. Zr 90,6		41. Nb 93,5		42. Mo 96,0		43.—		44. Ru 45. Rh 46. Pd 101,7 102,9 103,7	
	6	47. Ag 107,88		48. Cd 112,4		49. In 114,8		50. Sn 118,7		51. Sb 120,2		52. Te 127,5		53. I 116,92			54. X 130,2
	7	55. Cs 132,8		56. Ba 137,4		57. La 139,0		58. Ce 140,25									
V	8									73. Ta 181,5		74. W 184,0		75.—		76. Os 77. Ir 78. Pt 190,9 193,1 195,2	
	9	79. Au 197,2		80. Hg 200,6		81. Tl 204,0		82. Pb 207,2		83. Bi 209,0		84. Po (210,0)		85.—			86. Em (223,0)
VI	10	87.—		88. Ra 226,0		89. Ac (227)		90. Th 232,1		91. Pa (230)		92. U 238,2					

2) Substanţa rezultată după o transformare β ocupă un loc cu o coloană mai spre dreapta sau numărul de ordine al substanţei rezultate este cu o unitate mai mare decît numărul de ordine al substanţei din care derivă. Să considerăm cîteva transformări.

Actinium B (210), care este bivalent şi are numărul de ordine 82, trece prin radiaţii $\beta\gamma$ în *Ac C*, care este trivalent ca *Bi* şi căruia îi revine numărul de ordine 83. Tot aşa *Th X* (număr de ordine 88) bivalent ca Ra, prin emisiune de raze α trece în *Th Em* cu numărul de ordine 86.

Se vede de aici că felul razelor emise determină poziţia elementului nou în sistemul periodic, în care se reflectează în primul rînd proprietăţile chimice ale elementelor ; felul radiaţiei determină cu alte cuvinte, natura chimică a elementului rezultat.

Se evidenţiază, în măsură mai largă, însemnătatea numerilor de ordine la baza clasificării periodice şi se pune deci din nou problema : *ce reprezintă aceste numere de ordine.*

Ar fi prea mult dacă am intra în detalii asupra împrejurărilor în cari s'au descoperit diferitele elemente radioactive. E o întreagă literatură, care denotă însemnătatea metodei radioactive şi ingeniositatea omului de ştiinţă în cercetări. Cetitorul doritor de detalii le poate afla din cărţile şi datele ce le vom indica la sfîrşit. Ni vom mărgini să amintim numai următoarele :

Uraniul a fost considerat multă vreme ca un element unitar. *Geiger* şi *Nuttall* au stabilit că *U* trimete 2 feluri de raze α, cari se deosebesc prin *parcursul* lor : unele cu parcurs 2,7 cm., altele cu parcursul 3,1 cm. Ei au făcut atunci ipoteza că în *U* avem de-a face cu 2 elemente radioactive, pentru cari se determină valorile τ din relaţia stabilită de *Geiger* între *parcursuri* şi timpurile de transformare pe $^1/_2$ (vezi pag. 68). Uraniul apare aşa ca un amestec a două *isotope*, dezignate prin simbolurile U_I (Uran I) şi U_{II} (Uran II). Aceste două Urane isotope aparţin Grupei VI-a. Cantitatea de U_{II} se poate determina, în raport cu a U_I, din proporţionalitatea dintre valorile τ şi cantităţile lor, de oarece aceste două elemente stau în echilibru radioactiv. Avem

$$\frac{U_I}{U_{II}} = \frac{4{,}5.10^9}{2{,}6.10^6}$$

adică cantitatea de U_I (cu $\tau = 4{,}5.10^9$ ani) este de aproape 1730

de ori mai mare decît a U_{II} (cu $\tau = 2{,}6.10^6$ ani). Cantitatea de U_{II} fiind foarte mică şi pondul lui atomic, fiind cu 4 unităţi mai mic (234) decît a Uraniului I (238,2) urmează că pondul atomic al Uranului I este practic 238,2 cît s'a găsit pentru *U*, amestic isotopic de U_I şi U_{II}.

Pe de altă parte Actiniul se găseşte totdeauna în mineralele de Uran; cercetările experimentale făcute de *O. Hahn* şi *Lise Meitner* au arătat că *Ac* are o durată scurtă, căci timpul transformării pe $^1/_2$ ar fi t = 20 ani. Pe de altă parte *Boltwood* şi mai în urmă *St Meyer* şi *Hess* au arătat că între radioactivitatea *U* şi a *Ac* este un raport constant, ceia ce denotă şi raportul constant al cantităţilor lor. Între *U* şi *Ac* trebue să existe un echilibru radioactiv şi *Ac* trebue să se găsească printre elementele cari iau naştere din dezagregarea U. *Seria* **Ac** *apare în acest caz ca o serie ramificată a* **U** [1]). Se pune întrebarea: cari elemente radioactive fac legătura între U şi Ac?

Proprietăţile chimice şi electrochimice ale *Ac*, care se separă din Pechblendă o dată cu pămînturile rari, îi fixau în sistemul periodic locul din grupa III-a la numărul de ordine 89, cu un pond atomic de circa 228—226. Dacă voim să ne dăm sama de posibilităţile de producere a *Ac*, avem la îndămînă legea de deplasare a lui *Soddy, Fajans, Russell*. Prin o transformare α ar fi posibil să rezulte *Ac* dintr'un element de la numărul de ordine 91, grupa V-a; acel element ar fi isotop cu UX_2 (numit şi *Brevium*, din causă că n'are lungă durată) şi ar face parte din *Pleiada Brevіului*. Printr'o transformare β ar fi putut rezulta *Ac* dintr'un element al grupei II, cu numărul de ordine 88, adică dintr'un element aparţinînd pleiadei Radiului.

Pe vremea cînd se făceau aceste cercetări singurul element cunoscut în grupa V-a era *Uran* X_2 ori *Brevium*, care însă nu trimete raze α. In ce priveşte ipoteza a doua, singurul element din seria *U* este numai *Ra*, care, cum ştim, nu dă *Ac*. Toate încercările făcute de a obţinea *Ac* din *Ra* au rămas fără rezultat

Rămînea să se facă o nouă ipoteză, anume că *Ac* ar rezulta dintr'un element încă necunoscut. In 1911 *Antonoff* descoperise UY ($\tau = 25$ oare) care se produce din amestecul isotop U_I şi U_{II}, ca un produs de ramificare şi aparţine pleiadei Tho-

1) Părerea emisă de *Rutherford* în 1909.

riului, grupa IV-a. *Soddy, Hahn* şi *Lise Meitner* fac ipoteza că UY trece într'o substanţă, din cari prin emisiuni radioactive se formează apoi *Ac*.

Prin transformări β din UY s'ar obţine o substanţă isotopă cu UX_2 aparţinînd grupei V-a. Dacă această substanţă ar da naştere la *Ac*, ar trebui să fie de lungă durată, căci altfel, ar trebui să se formeze în scurt timp *Ac* din Uran.

Otto Hahn şi *Lise Meitner*, conduşi de asemenea consideraţii, au cercetat în Pechblendă şi în resturile rămase în fabrici după ce materialul a fost supus la operaţiile pentru extragerea Uraniului şi Ra, dacă nu există un element stabil aparţinînd grupei V-a. Prin tratare cu acid tantalic, ei reuşiră să separe o substanţă, care emite raze α şi se transformă în *Ac*. Substanţa fu numită *Protactinium* (*Pa*). Are o viaţă relativ lungă 12000 de ani. Independent de aceste lucrări, *Soddy* şi *Cranston* aratară că prin încălzirea Pechblendei în condiţii determinate în curent de C Cl_4, partea volatilă conţine *Pa*; în sublimatul produs, ei constatară producerea succesivă a *Ac*.

Fajans, din a cărui carte despre Radioactivitate (1922) am luat numeroase detalii, exprimă părerea că U_{II} (nu U_I), trece în UY şi că seria de transformări ar fi deci

$$\underset{VI}{U_1} \xrightarrow{\alpha} \underset{IV}{UX_1} \xrightarrow{\beta} \underset{V}{UX_2} \xrightarrow{\beta} \underset{VI}{U_{II}} \xrightarrow{\alpha} \underset{IV}{I_0}$$

$$\underset{IV}{UY} \xrightarrow{\beta} \underset{V}{Pa} \xrightarrow{\alpha} \underset{III}{Ac}$$

In schema de mai sus, se indică felul radiaţiei α ori β, care serveşte la transformările radioactive, indicîndu-se, sub fiecare element grupa din sistemul periodic, căreia îi aparţine elementul radioactiv.

Isotopia

Cercetările radioactive au condus la multe rezultate neaşteptate. Unul din cele mai surprinzătoare este, de sigur, fenomenul *isotopiei*. Chimiştii se deprinseseră cu gîndul că fiecărui element îi corespunde un pond atomic determinat şi că două elemente deosebite au şi ponderi atomice deosebite. Tabelele de mai sus au aratat că există *pleiade* de corpuri simple, cari au aceleaşi proprietăţi chimice şi cari deci trebue să ocupe acelaş loc (ἴσος = acelaş, τόπος = loc) în sistemul periodic, presentînd a-

celaş număr de ordine. Ponderile atomice ale elementelor isotope sînt *diferite*. Pe de altă parte există elemente cu acelaş pond atomic (Ra C şi Ra C', sau Ra E şi Po etc...) dar cu proprietăţi chimice deosebite. Din studiul radioactivităţii se vede limpede că nu pondul atomic determină proprietăţile chimice şi fizice ale corpurilor şi că deci, din acest punct de vedere, idea fundamentală, care a condus pe *Mendelejeff* la stabilirea sistemului periodic, trebue *corectată*.

Nu numai proprietăţile chimice sînt aceleaşi la elementele isotope—şi din causa aceasta două isotope n'ar putea fi separate din amestecul lor, pe cale chimică—dar şi spectrele sînt aceleaşi. Aşa spectrul elementelor Ra G (206) şi al *Pb* (207,2), sînt complect identice în partea ultravioletă ca şi în regiunea razelor vizibile [1]).

Tabelele arată că dezagregarea Uraniului ar conduce la *Ra G*, element de pond atomic 206, avînd proprietăţile *Pb*. De asemenea dezagregarea *Th*, după teoria dezagregării, ar trebui să conducă la un *Thorium D* (208), cu proprietăţi identice cu ale *Pb*. Avem deci mijlocul de a verifica *teoria dezagregării atomilor*. Există, cum vedem, după această teorie trei feluri de Plumb: un plumb cu pond atomic 206 (Ra G), altul cu pond atomic 208 (Th D) şi plumbul obicinuit (207,2). Aceste 3 feluri de *Pb* chimiceşte nu se pot separa. In 1914 *Hönigschmid* a separat din o pechblendă [2]) africană, liberă de *Th* prin metodele de separare a Plumbului, un plumb, de pond atomic 206,05, rezultat verificat şi de alţi experimentatori, cari l-au extras din Bröggerită, Cleveită, norvegiane. Separînd plumb din *Thorită* (din Ceilan, Norvegia) cari aveau puţin U în comparaţie cu Th, acelaş experimentator găsi (1917) un plumb de pond atomic *207,9*. Teoria dezagregării a fost astfel confirmată, pînă în cele mai neaşteptate ale ei consecinţe.

Densităţile celor două feluri de *Pb* sînt deosebite. Pentru *Pb* (207,2) avem d=11,337; pentru un Pb (206,2) avem d=11,288.

Volumele lor atomice sînt egale

$$\frac{207,2}{11,337} = \frac{206,3}{11,288} = 18,28$$

1) Vezi *Fajans* pag. 104, diferenţele la spectre.

2) Acest Plumb separat din mineralele de Uraniu, trebue să fie un amestec de Ra G şi Ac D.

Plumbul obicinuit ar fi un amestec al celor 2 isotopi de mai sus Pb (206) şi Pb (208) [1]). Cu modul acesta, un element considerat pînă acum unitar, cum este *Pb*, apare ca un amestic de *isotope*.

Teoria isotopiei, confirmată la Plumb, a pus o nouă problemă: oare alte elemente nu sînt şi ele amesticuri de isotope? De fapt şi celelalte elemente ale sistemului periodic arată o variaţie de 4 unităţi a pondului atomic, cînd trecem de la un element la altul cu numărul de ordine mai mare ori mai mic cu 2. Aşa de la Li (7) la B (11); F (19) şi Na (23) Na (23)—Al (27), Al (27)—P (31), C (12)—O (16) etc...

Chestiunea fu urmărită experimental în două direcţii: pe de o parte s'au imaginat metode experimentale pentru a se arata existenţa isotopiei şi la unele din elementele obicinuite, iar pe de alta s'au încercat chiar *separări de isotope*. Vom descri pe scurt ambele serii de lucrări.

Metoda razelor-canal şi existenţa isotopilor.

Am amintit de metoda devierei razelor-canal (la pag. 27) printr'un cîmp magnetic. Metoda fu perfecţionată de *Aston*. Particule încarcate pozitiv sînt deviate mai întăi într'un *cîmp electric*; deviaţia atîrnă de sarcina electrică *e* a particulei, de masă *m* şi repegiunea *v* a ei, şi este proporţională expresiunei

$$\frac{e}{mv^2}$$

Pentru particule cari au acelaş $\frac{e}{m}$, putem avea diferite valori a lui *v*, aşa încît în cîmpul electric particulele cu acelaş $\frac{e}{m}$ sufăr un fel de dispersiune. Astfel dispersate particulele sînt supuse unui cîmp magnetic, care le deviază proporţional cu

$$\frac{e}{mv}$$

Mărimea şi direcţia cîmpului magnetic sînt aşa alese, încît

1) *Boltwood* întăi (1905) a exprimat părerea că productul ultim al dezagregărei seriei U-Ra ar fi un element analog cu *Pb*. Numai aşa se explica faptul că se găseşte *Pb* în toate mineralele de *U* şi că, în mineralele mai vechi, cantitatea de *Pb* este mai mare. Teoria isotopiei la Plumb fu dată de *Fajans* şi *Soddy*. *Russel* a exprimat întăi părerea că *Radium G* are alt pond atomic decît *Pb* obicinuit.

razele cu *acelaş* $\frac{e}{m}$ se întîlnesc pe placa fotografică în acelaş loc. Particulele cu $\frac{e}{m}$ diferit, se întîlnesc pe placă în locuri diferite. Dacă în tabloul de discarcare am pus un gaz care este un amestic de isotopi, cari au mase deosebite *m*, va trebui să avem pe placa fotografică mai multe imagini, după valorile raportului $\frac{e}{m}$. Nu intrăm în detaliile extrem de interesante ale metodei experimentale.

Aston a recunoscut că *O*, *H* şi *C* sînt elemente *unitare*, adică nu presintă isotopi. El a confirmat rezultatul obţinut mai înainte de *J. J. Thomson*, că în gazul *Neon*, din aer, există doi isotopi, un Ne (20) şi altul Ne (22). Mai departe *Aston* a reuşit să arăte că în *Cl* avem un amestic de isotopi, Cl (35) şi Cl (37), Avem atunci 2 feluri de molecule de *HCl*, care în razele canal dau $HCl^+(36)$ şi $HCl^+(38)$; tot aşa a găsit că există ioni $Cl^+(35)$ şi $Cl^+(37)$ precum şi $Cl^{++}(35)$ şi $Cl^{++}(37)$, precum şi CO Cl^+ (cu Cl_{35}) şi CO Cl^+(cu Cl_{37}). Mai departe, *Kr* arată 6 isotopi etc.

Metoda poate fi aplicată la substanţele gazoase, fie sub formă de *element* ori de combinaţii; în cazul din urmă, discarcarea electrică, are şi acţiune de discompunere, care pune în libertate unii atomi.

Pentru substanţele solide a fost întrebuinţată altă metodă. Aceste substanţe sînt puse pe anodă şi transformate în particule anodice fie prin încălzirea anodei, fie prin discărcări *(Gehrke* şi *Reichenheim*, vezi pag. 28). In felul acesta fu cercetat *Li (Aston* şi *G. P. Thomson)* K, Na, Cs, Rb *(Aston)*, *Be (G. P. Thomson)*. *Dempster* a cercetat *Li* şi *Mg*, întrebuinţînd un electrometru în locul plăcii fotografice.

Rezultatele le arătăm în tabela care urmează, în care redăm *pondul atomic*, aşa cum îl întrebuinţază obicinuit chimia, apoi *masele atomice* ale isotopilor, precum şi numărul isotopilor la fiecare element.

Număr de ordine	Element.	Pond atomic	Numărul isotopilor	Masa atomică
1	Hidrogen	1.008	1	1.008
2	Helium	4.000	1	4,000
3	Lithium	6.94	2	6,7
4	Beriliul	9.02	1	9
5	Bor	10.82	2	10, 11
6	Carbon	12.00	1	12
7	Azot	14.008	1	14
8	Oxigen	16.00	1	16
9	Fluor	19.00	1	19
10	Neon	20.2	2 (ori 3)	20, 22 (21)
11	Natriu	23.0	1	23
12	Magnesiu	24.32	3	24, 25, 26
14	Silicium	28.3	2 (ori 3)	28, 29 (30)
15	Phosphor	31.04	1	31
16	Sulf	32.07	1	32
17	Clor	35.46	2	35, 37
18	Argon	39.9	2	40, 36
19	Potasiu	39.10	2	39, 41
20	Calciu	40.07	2	40, 44
26	Fer	55.85	2	56, 54
28	Nichel	58.68	2	58, 60
30	Zinc	65.37	4	64, 66, 68, 70
33	Arsenic	74.96	1	75
34	Seleniu	79.2	6	80, 78, 76, 82, 77, 74
35	Brom	79.92	2	79, 81
36	Krypton	82.92	6	84, 86, 82, 83, 80, 78
37	Rubidiu	85.5	2	85, 87
50	Staniu	118.7	7 ori 8	120, 118, 116, 124 119, 117, 122, (121)
51	Stibiu	121.8	2	121, 123
53	Iod	126,92	1	127
54	Xenon	130.2	9	126, 124, 129, 132, 131 134, 136, 128, 130
55	Cesium	132.8	1	133
80	Mercur	200.6	3 (?)	197-200, 202, 204

Tabela trebue înţăleasă în felul următor: în coloana *pond atomic* este pondul atomic, întreg ori fracţionat, cum este dat de analise şi metodele obicinuite de determinare. Se arată apoi în coloana corespunzătoare numărului isotopilor iar sub numirea de *masă atomică* se înţelege numărul care arată de cîte ori masa

atomului unui isotop, este mai mare decît a atomului de Hidrogen. La *Xenon* avem de exemplu o pleiadă formată din 9 isotopi; în coloana ultimă, cele 9 numere întregi represintă masele atomice 126, 124 etc...

Se constată că masele atomice raportate la H = 1 sînt numere întregi. Ponderile atomice fracţionare ca la *B*, *Ne*, Mg, Si etc... se explică prin aceia că ceia ce se considera pînă acum ca un element, de fapt este un amestic de *isotopi*.

Am mai amintit că în literatură se obicinueşte să se numească isotopele şi *feluri de atomi*. La *Li* avem 2 *feluri de atomi*, de mase 6 şi 8; la *Mg* 3 feluri de mase atomice 24, 25 şi 26 etc.

De oarece la multe amestecuri de isotope cum e la *Cl*, *Pb* etc... analisa chimică conduce totdeauna la acelaş *pond atomic*, tragem de aici concluzia, că isotopii se găsesc la aceste elemente necontenit în *aceleaşi proporţii*, ceia ce denotă că amesticul lor s'a făcut în epoce anterioare solidificărei scoarţei globului terestru, în stare de gaz ori lichidă. Mai mult decît atît: de oarece *Fe* şi *Ni* au acelaş pond atomic, fie că au origine *meteorică*, fie că se găsesc în pămînt, însamnă că amesticul de isotopi s'a făcut uneori, chiar la formarea sistemului nostru solar.

Experienţe relative la separarea isotopilor

In metoda devierei razelor anodice, descrisă în capitolul precedent, am văzut că avem de fapt o separare a isotopelor; dacă în locurile unde acestea ating placa fotografică, s'ar aduna cantităţi apreciabile de substanţă, s'ar realiza efectiv o separare a lor. Pentru moment, cantităţile cari provoacă înegrirea plăcei fotografice, în diferite puncte, sînt aşa de mici, că nu pot fi luate în samă. Pînă acum, cum am văzut, s'au preparat în stare de puritate relativă isotopii Plumbului. Voim să trecem în revistă sforţările făcute pentru separarea altor feluri de atomi.

Metodele întrebuinţate caută să se folosească de deosebirea de masă la isotope.

La aceiaşi temperatură repegiunea de difusiune variază cu masa, conform teoriei cinetice. Incercări făcute în acest sens n'au dat rezultatele dorite. Nici metoda de centrifugare n'a înregistrat succese.

Hevesy şi *Brönsted* au reuşit să separe prin evaporare din

mercur licid fracţiuni de mercur, cari au altă densitate decît mercurul de la cari plecaseră.

In faţa unei mase de mercur de 40°—60° ei puneau o placă de steclă răcită cu aer licid. Intre mercur şi steclă făceau un vid înaintat. Din masa licidă se vor evapora molecule mai mici în număr mai mare, decît moleculele de pond molecular mai mare. Mercurul distilează şi se depune în formă solidă pe placa de steclă. Distilînd necontenit mercur, cei doi experimentatori amintiţi, au constatat că mercurul licid ramas avea o densitate din ce în ce mai mare; din contra sublimatul, fiind topit, arată densitate mai mică. Notînd densitatea mercurului obicinuit cu 1, densităţile celor două fracţiuni erau

1,00023 la fracţionea grea;
0,99974 „ „ uşoară.

Metoda lui *Hevesy* şi *Brönsted* pentru evidenţiarea isotopilor Cl (35) şi Cl (37) vom arata-o mai tîrziu după ce vom expune ideile actuale relative la structura atomilor şi vom da teoria isotopiei.

CAP. VIII.

Structura atomilor. Atomul lui Bohr.

Expunerea mai departe a fenomenelor radioactive este mai luminoasă şi capătă mai mult interes, cînd o facem în lumina concepţiei actuale a structurei atomului. De aceia trecem acum la expunerea acestei concepţii.

Structura atomtlor

In introducere am arătat la pag. 17 şi 42 că discoperirile, din ultimele decenii, din domeniul fisicei au dus la concluzia că *atomii sînt alcătuiţi din mase electrice.*

O scurtă revizuire a principalelor fenomene cari au dus la această concepţie şi au fixat-o în liniile ei generale, se impune.

Dalton dăduse la iveală primele tabele, din care se constată că ponderile atomice raportate la H = 1 erau numere întregi. De aici ipoteza lui *Prout* (1915) şi *Meinecke* (1917) că atomii diferitelor elemente au la baza structurei lor o materie unică.

Determinările ulterioare au aratat că ponderile atomice raportate la H = 1 nu sînt numere întregi; dar fenomenul isotopiei şi cercetarea maselor *diferitelor feluri de atomi*, au aratat că ori decîteori am avut un pond atomic fracţionar, ni explicăm aceasta prin faptul, că elementul din natură este un amestic de *isotope*. Structura elementelor se reduce în ultima analiză la un *număr determinat de feluri de atomi şi masele atomice, raportate la H = 1 sînt numere întregi*, adică multipli ai atomilor de H.

Ipoteza lui *Prout* revine deci pe planul întăi sprijinită şi de faptul, că în definitiv, în sistemul periodic, avem o dovadă de structură unitară a materiei (pag. 9).

Fenomenul *Zeeman* arată că originea luminei emisă de corpuri, trebue căutată în *electroni cari oscilează*, iar fenomenul *Doppler-Fizeau*, studiat la razele anodice, de *Stark*, arată că lumina aceasta este legată şi de mişcarea *atomilor*. Atunci, combinînd ultimele două concluzii, scoatem încheerea că *electronii oscilanţi fac parte din atomi.*

Discărcările prin gazuri arată şi ele natura complexă a atomului.

Legea lui *Moseley* conduce la aceiaşi concluzie.

Dacă notăm cu ν_1 şi ν_2 frequenţele pentru razele X, dintr'o serie oarecare şi dacă N este numărul de ordine, am văzut că avem

$$\sqrt{\nu_1} = a\,(N_1 - b)$$

$$\sqrt{\nu_2} = a\,(N_2 - b)$$

Ceia ce dă

$$\sqrt{\nu_1} - \sqrt{\nu_2} = a\,(N_1 - N_2)$$

Cînd trecem în sistemul periodic de la *un element la cel următor*, avem $N_1 - N_2 = 1$ şi deci

$$\sqrt{\nu_1} - \sqrt{\nu_2} = a$$

adică frequenţa este influenţată în chip constant pentru $N_1 - N_2 = 1$, ceia ce trebue să provină din faptul *că schimbările atomilor, cînd trecem de la un element la altul sînt de aceiaşi natură.*

Dar legea lui *Moseley* ni permite să tragem şi o altă concluzie. De oarece *frequenţa* atîrnă de *numărul de ordine* şi nu de *masa atomului*, sîntem în drept să admitem că între părţile constitutive ale unui atom, există în interiorul atomului *forţe predominante*, deosebite de cele de atracţie newtoniană.

Atunci concluzia definitivă este că structura atomilor trebue căutată în *masele electrice* din cari ei se compun. Aceste mase electrice în mişcare presintă *masă de origină electromagnetică* şi aceasta constitue *masa atomilor.*

J. J. Thomson şi *Rutherford* s'au ocupat de modul de distribuţie al maselor electrice din interiorul atomilor. După dînşii electronii se mişcă în jurul maselor positive, cari ar alcătui un *nucleu* în interiorul atomului. Pe cînd însă *J. J. Thomson* (1904) admitea că nucleul positiv are o întindere mare, cît este volumul atomului şi că electronii în mişcarea lor îl pot strabate, *Rutherford* imaginează un *sîmbure* ori *nucleu* positiv, de volum foarte mic, în comparaţie cu volumul atomului. Electronii se mişcă în jurul nucleului positiv, fiind atraşi de masele pozitive, conform legilor lui *Coulomb.*

Rutherford a fost condus la această ipoteză, prin lucrările (1911) ce le-a făcut relativ la mişcarea particulelor α prin aer şi metale.

Am aratat că se poate fotografia drumul unei particule α prin aer încarcat cu vapori de apă, supus unei detente adiabatice. Particula α în drumul ei ionizează aerul şi în jurul ionilor se condensează vaporii, dînd *negure* opace cari pot fi fotografiate. Figura 13, arată două drumuri de particule α.

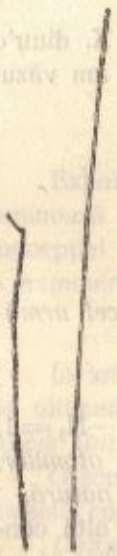


Fig. 13.

Dar acţiunea aceasta ionisantă se constată şi la particulele β şi în genere la electroni aruncaţi prin aer cu diferite repegiuni. Se constată că ionizarea aerului sub influenţa electronilor se face în chip deosebit, după repegiunea electronului. Cînd repegiunea este mică, electronul ionizează mai multe particule; cînd repegiunea este mare, el ionizează mai puţine. Figurile 14 arată acest lucru, fig. *a* pentru un electron cu repegiune mare şi *b* pentru altul cu repegiune mică.

Din figurile acestea întrerupte şi formate din puncte, se constată că o particulă β poate străbate o mare distanţă, fără să întîlnească molecule de aer şi să le ionizeze. Scoatem încheerea că electronii din atomi ca şi celelalte mase electrice constituante, se găsesc la distanţe mari unii de alţii în interiorul atomului; numai aşa pot fi străbătuţi de particule β, cari-şi urmează drumul dreptliniar, fără deviare, cum se vede din *a*, unde punctele de condensare a vaporilor sînt în linie dreaptă. Acelaş lucru din *b*.

Cea mai mare parte din volumul unui atom este *vid*.

Se ştie că razele X ionizează şi ele gazurile prin cari trec. Metoda fotografierei, după sistemul *Wilson*, aratată mai sus, aplicată la ionizarea prin raze X, arată că din atomi rezultă atît particule β ori electroni, cît şi ioni pozitivi; se condensează picături, atît în jurul ionilor,



Fig. 14.

cît şi a electronilor produşi prin acţiunea ionizantă a razelor X asupra moleculelor. Din fotografii se vede drumul electronilor; el se prezintă sub formă de linii scurte cari-şischimbă des direcţia, ceia ce dovedeşte, că particulele β rezultate din ionizare se lovesc de multe molecule, pe cari le ionizează la rîndul lor, aşa că ionizarea aerului se datoreşte în cea mai mare parte acţiunii ionisante a puţinilor electroni produşi în acţiunea primară a razelor X.

Fotografiile drumurilor particulelor α dau linii (fig. 13), cari se deosebesc uşor de a electronilor. Interesant este faptul, că drumurile unor particule α, după ce urmează cîtva timp linia dreaptă, sufăr deviare, uneori mai slabă (c), alte ori bruscă (d) din figura 13. Rutherford explică fenomenul în modul următor: dacă particula α poate străbate printre electroni şi masele positive în linie dreaptă, înseamnă că ea se află la distanţe aşa de mari de aceste mase, încît drumul ei nu este influenţat; între masele electrice sînt deci spaţii mari, cea mai mare parte a atomului este vid. Cînd însă particula se apropie prea mult de un nucleu positiv, acţiunea de respingere poate să fie aşa de mare, încît particula poate fi deviată, iar dacă mersul particulei este central, ea poate fi chiar respinsă.

Fenomenele expuse mai sus nu pot fi explicate, dacă atribuim atomilor cum a făcut *J. J. Thomson*, distribuirea simetrică a maselor positive şi negative în volumul atomului. Ele pot fi explicate însă prin structura ce-o admite *Rutherford* pentru atomi, formaţi din mase positive constituind nucleul şi electroni, cari se învîrtesc în jurul acestui nucleu. Între nucleu şi electroni, distanţele sînt enorme, aşa că cea mai mare parte a atomului este vid.

Ciocnirea a două molecule, aşa cum o admite teoria cinetică, se explică uşor. Să admitem că un atom se aproie de altul, cum este în cazul gazurilor; regiunile superficiale ale celor doi atomi fiind formate din electroni, îndată ce atomii s'au apropiat suficient, electronii încep a se respinge; de asemenea se resping nucleele. Cu cît distanţa este mai mică, cu atît repulsiunea este mai mare şi ea poate deveni aşa de mare, încît îndepărtează atomii, unul de altul.

Metoda fotografică expusă mai sus a permis lui *Rutherford* să scoată şi altă încheere. Aplicînd legea lui *Coulomb* relativă la forţele de respingere între două mase electrice, *Rutherford* a

calculat la ce distanţă trebue să se găsască o particulă α de un nucleu, pentru a fi respinsă şi a se întoarce îndărăt. A găsit că fenomenul ar avea loc, dacă particula ar fi la distanţa 10^{-12} cm. de nucleul unui atom de aur şi la 10^{-13} cm. de nucleul unui atom de Hidrogen. Atunci dimensiunile acelor nuclee sînt mult mai mici de 10^{-12} cm. şi 10^{-13} cm. In definitiv, razele electronilor, ca şi a nucleelor centrale sînt enorm de mici, ceia ce explică de ce structura atomului este aşa de *lacunară*, prezentînd un *vid* aşa de pronunţat. Aşa se explică că particulele α pot trece prin tuburi de steclă cu păreţii mici, fără să strice stecla; căci atomii din părete presintă în mod *natural* goluri, prin cari miliardele de atomi de Helium încarcaţi pozitiv pot trece. Numai nucleele atomice opun rezistenţă la trecerea acestor particule electrizate şi deci dimensiunile acestor nuclee sînt enorm de mici.

Dar dacă aceasta este structura unui atom, atunci scoatem încheerea că la un atom *neutru*, trebue să avem tot atîţa electroni, cîte mase positive se găsesc în nucleul central.

Odată cu chestiunea aceasta se pune o nouă problemă: la atomii diferitelor metale, cîte mase positive se găsesc în nuclee?

Rutherford a căutat să rezolve problema, lăsînd să cadă un fascicol de raze α perpendicular pe foiţi metalice subţiri. La spintariscop se arată că fascicolul care esă este lărgit, că deci acest fascicul a suferit un fel de dispersiune. Experimental s'a putut stabili că dispersiunea aceasta este cu atît mai mare cu cît pondul atomic al metalului este mai mare. *Rutherford* supuse fenomenul unui calcul matematic [1]; anume el a căutat să calculeze „probabilitatea ca o particulă α aruncată cu o repegiune iniţială v perpendicular pe o foiţă de aur să fie deviată de un unghiu determinat". Calculul se poate face ştiind numărul de atomi de aur pe cmc, precum şi masa electrică a particulei α. Deviaţia atîrnă de *masa positivă* a nucleului atomului de metal. *Geiger* şi *Marsden* [2]) executînd măsurători în laboratorul lui *Rutherford* şi lucrînd cu diferite metale, au găsit că *numărul maselor elementare positive din nucleul atomic al diferitelor metale era aproximativ egal cu jumătatea pondului atomic.*

1) Vezi Nota 5 de la sîrşit.
2) Phil. Mag. XXV (1913) pag. 605.

In 1911 *Barkla* [1]) calculase, cu ajutorul difuziunei razelor X prin electroni, numărul de electroni conţinut în atomi şi-l găsise iarăşi egal cu aproape jumătatea pondului atomic.

Cu modul acesta s'a putut arata experimental că prima cerinţă a teoriei structurei atomului, egalitatea maselor positive cu a celor negative, este satisfăcută.

Rămîne să se vadă ce legătură este între numărul maselor positive şi numărul de ordine; această legătură trebuea să existe; aflarea ei era fundamentală pentru teoria structurei atomului, mai ales în urma discoperirei *legei lui Moseley.*

Teoria atomului lui *Rutherford* arata că ceia ce variază de la atom la atom este masa pozitivă centrală; ea este totdeauna un multiplu exact al masei elementare şi deci variaţia de la atom la atom se face tot prin multipli ai masei elementare. Pentru a pune în acord această concluzie cu legea lui *Moseley*, în 1913 *van der Broek* enunţă propoziţia fundamentală: *numărul maselor elementare libere din nucleu este egal cu numărul de ordine al elementului.*

Calculele de mai sus ale numărului de quante electrice din nucleu (*Geiger* şi *Marsden*) confirmau în mod imperfect ipoteza lui *van der Broek*. In 1920 *Chadwick* reia calculele acestea prin metoda lui *Rutherford* şi confirmă complect propoziţia lui *van der Broek* [2]).

Ni găsim deci în faţa următoarelor rezultate:

a) Pe cînd dimensiunile atomilor sînt de mărimea 10^{-8} cm, calculele prin metoda lui Rutherford arată că nucleul pozitiv are dimensiuni variabile cu atomul, de la 10^{-16} cm. la *H*, pînă la 10^{-13} cm. la atomi mai mari, aşa încît cea mai mare parte din volumul atomului este *vid.*

b) In jurul nucleului central se mişcă electronii pe drumuri cuprinse între nucleu şi pînă la distanţa 10^{-8} cm, sau chiar mai mult, de la nucleu. Intr'un atom neutru numărul electronilor acestora este egal cu al maselor pozitive libere din nucleul central.

c) Numărul maselor pozitive libere din nucleul central este egal cu numărul de ordine. In atomul de *H* avem o masă po-

1) Phil. Mag. XXI (1911) pag. 648.
2) *Millikan*, pag. 335 (1926).
J. Chadwick Phil. Mag. 40, pag. 734 (1920).

sitivă centrală liberă şi în jurul ei se învîrteşte un electron; în atomul de *He* avem 2 mase pozitive libere şi 2 electroni, cari se învîrtesc în jurul ei etc... la *Li* avem în nucleul central 3 mase pozitive libere, în jurul cărora se învîrtesc 3 electroni etc...

d) Dacă din cauze diferite, un electron este îndepartat din configuraţia unui atom neutru, acest atom rămîne încarcat pozitiv şi anume cu valoarea unei mase elementare; în modul acesta se formează *ionul pozitiv monovalent*. Dacă din configuraţie dispar 2 electroni, atomul trece într'un *ion pozitiv bivalent* etc. Din *H* putem avea deci numai un Cation monovalent; din *He* din contra un ion monovalent şi altul *bivalent; ionul pozitiv bivalent al He* este particula α.

Ionii negativi aşa cum îi cunoaştem din teoria disociaţiei electrolitice rezultă în alt mod. Cînd un atom neutru poate primi în grupa electronilor încă un electron, el se încarcă cu o masă negativă şi devine *ion monovalent negativ*, sau *anion monovalent*. Dacă în grupa electronilor se fixează 2 electroni, avem un *anion bivalent* etc.

Electronii cari se mişcă în jurul nucleului central, determină cum vedem formarea ionilor şi deci multe din proprietăţile chimice ale elementelor. Aceşti electroni se numesc *electroni exteriori*, sau *electroni de valenţă*.

e) Emiterea de particule β în radioactivitate, ne sileşte să admitem că electronii aruncaţi sub formă de raze β, nu provin din electronii exteriori. In adivăr, prin emitere de raze β, se obţine din transformarea radioactivă *nu un ion pozitiv*, ci un *element nou*, un corp care are proprietăţi total deosebite de a elementului, din care a provenit. Pentru a ţinea samă de aceste fapte, s'a admis că există şi electroni în nucleu, sau electroni *nucleari*. Aceştia neutralizază un număr egal de quante pozitive. Cu modul acesta în nucleu există un număr de mase pozitive *libere* egal cu numărul de ordine. Indată ce un electron, din diferite cauze, a părăsit nucleul, numărul maselor pozitive creşte cu 1 şi deci şi numărul de ordine al elementului rezultat este cu o unitate mai mare.

f) Masa electromagnetică a unui electron în mişcare a putut fi calculată. Dacă v este repegiunea electronului, dacă a este raza acestui electron presupus sferic, avem, pentru cazul, cînd v este mic în comparaţie cu repegiunea luminei

$$m_0 = {}^2/_3 \frac{e^2}{a}$$

In formulă m_0 este masa electromagnetică a electronului iar e este quanta de electricitate (Vezi Nota 4 de la sfirşit). Formula de mai sus permite să calculăm raza a, cînd cunoaştem $\frac{e}{m_0}$ şi e. Se găseşte aşa

$$a = 1{,}9 \times 10^{-13} \text{ cm}$$

pentru electronul negativ. Pentru atomul pozitiv cu masa circa de 2000 de ori mai mare se calculează pentru rază o valoare de 2000 de ori mai mică.

Cum se vede raza electronului pozitiv ar fi de circa 10^{-16} cm [1]). Am dat cifrele acestea numai pentru a satisface curiozitatea cetitorului. Nu toţi se împacă însă cu aceste rezultate. Nu trebue să uităm că cifrele lui *Rutherford* relative la dimensiunile nucleului se rapoartă la metale cu pond atomic mare.

De oarece ni ocupăm cu cifrele relative la masele elementare electrice, mai amintim că puterea electrică între un atom de electricitate pozitivă şi electronul aşezat la distanţa 10^{-8} cm. de centrul celui d'intăi, poate fi calculată conform legilor lui *Coulomb* din

$$\frac{e}{r^2} = \left(\frac{4.7 \times 10^{-10}}{10^{-8}} \right)^2 = 2 \times 10^{-3} \text{ Dyne.}$$

Deci cu puteri mai mari de 2×10^{-3} dyne putem îndeparta electronii de nucleu. Dacă electronul se găseşte chiar lîngă nucleu (10^{-13} cm), puterea electrică ce trebue învinsă este de mărimea

$$2 \times 10^{-3} \left(\frac{10^{-8}}{10^{-13}} \right)^2 = 2 \times 10^{-3} \times 10^{10} \text{ dyne}$$

sau 20 kgr.

Indepărtarea electronilor nucleari cere deci puteri cu mult mai mari. De aceia nucleele formate din mase pozitive şi electroni nucleari constitue sisteme foarte stabile, aşa cum întîlnim la atomi, în genere.

Modelul de atom a lui Bohr [2]). In 1913 *Bohr* dezvoltă mai

1) K. A. Hoffman, Lehrbuch der anorg. Chemie pag. 713 (1924).

2) *Niels Bohr*, profesor în Kopenhaga. Ideile lui se găsesc redate în broşura ce a publicat în 1925 sub titlu „*Ueber den Bau der Atome*" Berlin, J. Springer. El redă aici în chip elementar formularea din 1913.

departe modelul de atom a lui *Rutherford*, în aşa fel încît el deveni punctul de plecare pentru teoria liniilor spectrale. Vom reda în chip cu totul sumar vederile lui *Bohr*, mărginindu-ne la expresiunea simplă a atomului lui.

O dată cu formularea atomului-model propusă de dînsul, *Bohr* introduce cîteva ipoteze, în parte în dezacord cu fizica clasică, dar cari au condus la rezultate considerate ca „unul din cele mai frumoase succese ale fizicei teoretice.

După *Bohr* electronii se învîrtesc în jurul nucleului central, în tocmai ca planetele în jurul soarelui. Un atom poate fi comparat deci cu un sistem solar.

Drumurile descrise de electroni sînt elipse. Pentru uşurarea înţălegerei, mulţi autori înlocuesc elipsele cu *cercuri*. Tot pentru simplificare se neglijază acţiunile pe cari electronii în mişcarea de rotaţie le-ar exercita unii asupra altora.

Iată acum ipotezele ce le introduce *Bohr*:

1) Electronii se pot mişca numai pe anumite *orbite stabile*; un asemenea electron prezintă deci o *stare staţionară*. Cînd execută asemenea mişcări pe orbitele stabile electronul *nu exercită acţiune magnetică* şi nici *nu emite radiaţii electromagnetice* [1]). Aceste admisiuni sînt în contrazicere cu teoria electromagnetică; ele sînt însă justificate nu numai prin succesul teoriei lui *Bohr*, dar chiar de unele fapte experimentale [2]). Pe fiecare drum un electron posedă o *anumită energie*, sau fiecare drum este *caracterizat printr'o anumită valoare a energiei*.

2) Un electron numai atunci radiază, cînd sare de pe o orbită stabilă pe alta. Intr'un atom complicat electronii se găsesc pe drumuri stabile, avînd fiecare o anumită rază; cu alte cuvinte electronii se găsesc la diferite distanţe de nucleu. Am văzut că electronii exteriori condiţionează proprietăţile *ionilor* corespunzători elementului. După *Bohr*, spectrele elementelor sînt în legătură cu schimbările de poziţie ale aceloraşi electroni exteriori. Un electron, prin absorbţiune de energie, poate trece de pe un drum stabil pe altul mai îndepărtat; cînd el se întoarce pe drumul d'întăi emite energia ce-o absorbise şi dă astfel naştere la radiaţii. Şi anume, dacă schimbările se fac pe liniile stabile îndepărtate, avem radiaţii luminoase. Dacă se fac însă pe linii apropiate de nucleu, avem radiaţiile caracteristice ale spectrului de raze X.

1) La pag. 17 am afirmat că *oscilările* maselor electrice sînt cauza luminei emise, aşa cum se admitea în fiecare clasică.

2) *Einstein* şi *de Haas*, Verh. der deutsch. pnysik. Gesellschaft XVII. pag. 152 (1915). Vezi şi *Grimsehl* vol. II pag. 242 (1920).

De oarece masa unui electron este mică, cum am văzut circa $\frac{1}{1800}$ din acea a atomului de Hidrogen tragem concluzia că *masa atomului se datoreşte în cea mai mare parte masei electricităţii sale pozitive* şi deci este legată de *masa pozitivă* a nucleului.

Cu privire la radioactivitate şi în legătură cu fenomenele radioactive, modelul de atom *Bohr-Rutherford*, permite să tragem următoarele concluzii:

Particulele α, de masă mare, sînt aruncate de *nucleu*.

Particulele β sînt electroni aruncaţi tot din nucleu. Am văzut în adivăr, că dacă s'ar îndepărta un electron exterior, rezultatul ar fi obţinerea *unui ion pozitiv*.

Fenomenele radioactive se petrec deci în *nucleu*; cele chimice au loc numai cu electronii exteriori.

In nucleu deci avem şi mase pozitive şi negative; acestea din urmă neutralizază o parte din masele pozitive nucleare, aşa încît numai *excesul de mase pozitive* din nucleu sau *quantele pozitive libere* corespund numărului de ordine, aşa cum a enunţat acest lucru *van der Broek* (1913), numărul de ordine al elementului fiind determinat de numărul de quante pozitive elementare libere din nucleu.

Legea de deplasare a lui *Russell*, *Soddy* şi *Fajans* apare ca o consecinţă imediată a atomului lui *Bohr*.

Dacă din nucleu a fost expulzat un electron, rămîne o masă pozitivă liberă şi atomul nou rezultat are deci un număr de ordine cu o unitate mai mare, decît atomul, din care a luat naştere.

După cele ce preced, în atomul de Hidrogen avem în nucleu o masă pozitivă, numărul de ordine al *H* fiind 1; în nucleul atomului de *He*, cu numărul de ordine 2 avem două mase pozitive libere etc.

Cînd din nucleu este expulsată o particulă α, care cum am văzut este încarcată cu *2 mase pozitive*, numărul maselor pozitive rămase libere în nucleu scade cu 2 unităţi şi prin urmare şi numărul de ordine scade cu 2 unităţi etc.

Legea de deplasare în transformările radioactive este deci

pe deplin explicată. Teoria prevede şi cazurile complicate cînd din nucleu ar fi expulzate în acelaş timp şi particule α şi particule β. Dacă odată cu o particulă α sînt expulzate şi 2 mase β din nucleu, numărul de ordine *rămîne neschimbat*; dar *masa* atomului a suferit o schimbare. De oarece numărul de ordine rămîne neschimbat, electronii exteriori se găsesc în acelaş număr atît la elementul, care a suferit schimbarea radioactivă, cît şi la cel rezultat din această schimbare. Prin urmare cele 2 elemente au aceleaşi proprietăţi chimice şi acelaş număr de ordine; masa lor este însă *diferită*. In felul acesta se explică fenomenul *isotopiei*, precum şi alte fapte mai complicate întîlnite în radioactivitate (*Fajans*, pag. 78).

Cum vedem ipotezele lui *Bohr* legate de atomul model al lui, sînt extrem de bogate în consecinţe, confirmate pe deplin de experienţă. Inainte de a le urmări mai de aproape, vom căuta să fixăm mai clar ideile lui *Bohr*, aplicîndu-le la atomul de Hidrogen.

Teoria lui Bohr şi atomul de H

Atomul de *H* are în nucleu *o singură masă pozitivă*; în jurul ei se învîrte *un* electron; de oarece electronul nu cade în nucleu, tragem concluzia că atracţia este echilibrată de puterea centrifugă, ca în cazul pămîntului şi al lunei, sau al soarelui şi al unei planete. Natural electronul urmează în această mişcare o orbită şi, după fizica clasică, ar urma să dee loc la o emisiune continuă de energie radiantă. Din cauza rezistenţei ce întîmpină în mişcare, ar trebui ca repegiunea lui să scadă; puterea centrifugă scăzînd, ar urma ca electronul să se apropie de centru, iar frequenţa energiei emise să crească. Spectrul obţinut ar trebui să fie *continuu* şi să fie dat de atomii de Hidrogen în chip normal, fără excitare. Experienţa arată însă că atomii de *H* nu emit radiaţii, decît după ce au fost ionizaţi, prin diferite excitări; în acest caz electronul a fost îndepărtat din atom; cînd el revine la atom, unindu-se cu ionul, are loc emisiunea de raze, cari alcătuesc un *spectru de linii*.

Cînd electronul a fost expulzat din atomul de *H* rămîne numai *nucleul*, aşa încît *ionul de H reprezintă cea mai mică masă electrică pozitivă*, ce-a fost constatată pănă acum. Acesta-i *electronul pozitiv*, sau *protonul*, cu o masă de 1800 de ori mai mare decît a electronului (negativ).

Pentru a calcula cantitativ spectrul Hidrogenului *Bohr* admite că electronul se poate mişca pe o serie de orbite stabile, pe cari de o camdată, le admitem *circulare*; fie *a* raza unui cerc, adică distanţa electronului la centrul de greutate, aşezat în centrul *nucleului*; razele nucleului şi ale electronului au fost apreciate mai înainte şi ele sînt foarte mici. Dacă notăm că E masa pozitivă din nucleu, cu *m* masa electronului, cu *e* masa sa electrică, cu *v* repegiunea, puterea cu care electronul este atras spre centru este $\frac{Ee}{a^2}$, iar reacţia centrifugă $\frac{mv^2}{a}$; scrim

$$\frac{Ee}{a^2} = \frac{mv^2}{a} \qquad (1)$$

ceia ce dă

$$mv^2 = \frac{Ee}{a} \qquad (2)$$

Fie ν numărul de rotaţii pe Sec. sau *frequenţa* mişcării electronului; avem

$$\nu \cdot 2\pi a = v \qquad (3)$$

Masa electrică *E* din nucleu produce la distanţa *a* potenţialul $\frac{E}{a}$; ca să ducem electronul de la distanţa *a* la infinit, ar trebui să se execute lucrarea mecanică $\frac{Ee}{a}$ contra puterei electrice. Acestei lucrări mecanice îi corespunde o energie consumată. Acoperim această energie parţial prin forţa vie $\frac{mv^2}{2}$ a electronului, aşa că acesta la infinit are forţa vie zero; după (2) avem

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{Ee}{2a} \qquad (6)$$

Forţa vie acoperă numai jumătate din energia $\frac{Ee}{a}$; cealaltă jumătate trebue *absorbită* şi ea se numeşte *energie de ionizare*. Din contra cînd electronul, plecat de la infinit, din repaos, cade pe orbita de raza *a*, energia potenţială scade de $\frac{Ee}{a}$, puterea electrică executînd lucrare mecanică. Din această energie, o jumătate apare sub formă de energie actuală $\frac{mv^2}{2} = \frac{Ee}{2a}$, iar cealaltă

jumătate se emite sub formă de *energie radiantă*, $\frac{Ee}{2a}$. In definitiv se vede că numai jumătate din $\frac{Ee}{a}$ este absorbită, ori emisă în procesele considerate mai sus.

Variaţiile acestea de energie au loc oricare ar fi temperatura la care se găseşte atomul, deci şi la zero absolut. In acest sens se vorbeşte în literatură de energie la *0* absolut. Orbitele stabile ale electronului sînt cercuri. Cercurile acestea le notăm cu 1, 2, 3, ... i, ... mergînd de la nucleu spre periferia atomului.

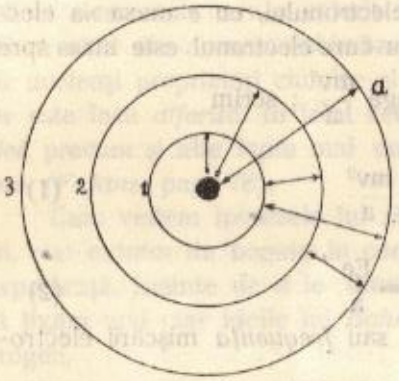


Fig. 15.

Considerăm 2 orbite stabile, a n^o şi a m^o, cu $n > m$; fie a_n şi a_m razele lor. Cînd electronul trece de pe orbita *n* pe *m*, se emite energie şi valoarea ei este

$$\frac{Ee}{2\,a_m} - \frac{Ee}{2\,a_n} = \frac{Ee}{2}\left(\frac{1}{a_m} - \frac{1}{a_n}\right) \qquad (11)$$

Bohr aplicînd teoria quantelor, admite că energia emisă este o quantă $h\nu$ şi scrie

$$h\nu = \frac{Ee}{2}\left(\frac{1}{a_m} - \frac{1}{a_n}\right) \qquad (12)$$

Dacă am cunoaşte valorile a_m şi a_n, am putea afla prin calcul pe ν.

Este deci nevoe să fixăm legea, după care se face variaţia razelor orbitelor stabile. Calculul poate fi condus în modul următor:

Aducînd electronul de la infinit pe cercul de rază *a*, energia potenţială a lui scade de

$$\frac{Ee}{a}$$

Dacă el avea la infinit energia potenţială *W*, pe cercul de rază *a* energia lui potenţială este numai

$$W - \frac{Ee}{a} \qquad (13)$$

Energia totală a lui se va obţinea adunînd energia lui potenţială cu cea actuală, adică vom avea

$$\text{energia totală} = W - \frac{Ee}{a} + \frac{mv^2}{2} \qquad (14)$$

Ţinînd samă de (6) avem

$$\text{energie totală} = W - \frac{Ee}{a} + \frac{mv^2}{2} = W - \frac{Ee}{a} + \frac{Ee}{2a} = W - \frac{Ee}{2a} \qquad (14)$$

Aducînd electronul de la infinit pe cercul de rază *a*, energia lui a scăzut cu

$$W - \text{energia totală} = W - W + \frac{Ee}{2a} = \frac{Ee}{2a}$$

Se vede că aceasta este *energie emisă* şi că expresiunea ei este

$$\frac{Ee}{2a} = \frac{mv^2}{2} \qquad (15)$$

ceia ce am găsit *de altfel* şi mai înainte.

Aceiaşi cantitate reprezintă *energia absorbită* cînd electronul merge de pe cercul de rază *a* la infinit. Energia aceasta absorbită măsură deci energia de ionizare.

Bohr admite că variaţiile de energie potenţială se fac prin quante întregi, adică avem

$$\frac{Ee}{a} = i\,h\,\nu \qquad (16)$$

Urmează că pentru energia cinetică avem

$$\frac{Ee}{2a} = \frac{mv^2}{2} = \frac{i\,h\,\nu}{2} \qquad (17)$$

Pentru un cerc de rază a_i vom avea deci, notînd cu v_i = repegiunea electronului

$$mv_i^2 = \frac{Ee}{a_i} = i\,h\,\nu \qquad (18)$$

De oarece

$$v_i = 2\,\pi\,a_i\,\nu \qquad (19)$$

avem

$$mv_i^2 = \frac{Ee}{a_i} = i\,h\,\nu = \frac{i\,h\,v_i}{2\,\pi\,a_i} \qquad (20)$$

ceia ce conduce pe de o parte la

$$v_i = \frac{2\,\pi\,Ee}{i\,h} \qquad (21)$$

iar pe de alta la

$$a_i = \frac{Ee}{mv_i^2} = \frac{i^2 h^2}{4 m \pi^2 Ee} \qquad (22)$$

Expresiunile (21) şi (22) dau valorile lui v_i şi a_i pentru un sistem alcătuit din un nucleu central, în care este concentrată masa pozitivă *E*, în jurul căreia se învîrteşte un singur electron. Ele sînt expresiuni generale şi se vede că razele orbitelor, cari corespund la număr întreg *i* de quante, cresc cu i^2. Cercul de raza cea mai mică este acel corespunzător valorii $i = 1$; al doilea cerc corespunde la $i = 2$ şi se vede că are o rază a_2 de 4 ori mai mare decît a cercului i=1.

La Hidrogen, trebue să facem $E = e$ pentru $i = 1$ în

$$a_1 = \frac{h^2}{4 m \pi^2 e^2} \qquad (23)$$

cu

$$\frac{Ee}{a_1} = h \nu \qquad (24)$$

Nucleul cu electronul pe drumul $i = 1$, cu raza a_1, alcătueşte atomul de *H* numit *normal*. Cînd electronul vine de la infinit pe cercul acesta 1 (raza a_1), energia potenţială variază de *o quantă* de energie, $h\nu$; cercul se zice *monoquantic*. Formula (23) permite calculul lui a_1.

Introducînd valorile cunoscute pentru cantităţile din membrul II se obţine

$$a_1 = 0,523 \times 10^{-8} \text{ cm.}$$

deci diametrul

$$d = 2\, a_1 = 1,06 \times 10^{-8} \text{ cm.}$$

în bun acord cu teoria cinetică, care pentru molecula de *H* dă

$$d = 2,2 \times 10^{-8} \text{ cm.}$$

Pentru $i = 2$, avem cercul *diquantic*, căci

$$\frac{Ee}{a_2} = 2 h \nu$$

Se vede că raza lui este *4* a_1 şi în genere formula (22) arată că razele cercurilor variază ca patratele numerilor întregi

$$1^2, 2^2, 3^2, \ldots$$

Cercurile stabile sînt deci acelea cari corespund la numere întregi de quante de energie.

Expresiunea (12) poate fi acum calculată. Pentru *H*, avem

$$a_m = \frac{m^2 h^2}{4 \pi^2 \mu e^2}$$

$$a_n = \frac{n^2 h^2}{4 \pi^2 \mu e^2}$$

unde μ este masa electronului (am notat μ în loc de *m*). Atunci (12) trece în

$$h \nu = \frac{2 \mu \pi^2 e^4}{h^2} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

şi frequenţa ν are expresiunea

$$\nu = \frac{2 \mu \pi^2 e^4}{h^3} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \qquad (25)$$

Utilizînd încă expresiunea

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

putem avea lungimea de undă λ; în această formulă *c* este repegiunea luminei. Avem

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{2 \pi^2 \mu e^4}{c h^3} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \qquad (26)$$

Cu ajutorul formulelor (25) şi (26) putem calcula fie frequenţa ν, fie lungimea de undă λ.

Introducînd datele numerice avem

$$\frac{2 \pi^2 \mu e^4}{c h^3} = \frac{4 \times 10^8}{3647,2} = 109673$$

pe cînd *Paschen* a găsit experimental numărul 109678.

Formula (26) trece astfel în

$$\frac{1}{\lambda} = 109673 \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \qquad (27)$$

Să facem în această formulă $m = 2$; avem

$$\frac{1}{\lambda} = 109673 \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right) \qquad (28)$$

Dînd lui *n* succesiv valorile 3, 4, 5... se obţine seria lui *Balmer*

(pag. 12). Făcînd în (27) m = 3 şi dînd lui *n* valorile 4, 5, 6... se obţin radiaţiile infraroşe din seria lui *Paschen*; cu m = 1 şi n = 2, 3,... avem seria *ultravioletă* a lui *Lyman*. Cum vedem se obţine seria lui *Balmer* cînd un electron cade de pe o orbită exterioară pe orbita 2; seria lui *Paschen* cînd electronul cade de pe o orbită exterioară pe orbita 3 şi seria lui *Lyman*, cînd electronul cade pe orbita 1. Cînd electronul cade de pe 3 pe 2 avem radiaţia H_α; căderea de pe *4* pe 2 dă pe H_β etc... din seria *Balmer*. De fiecare dată energia radiată este $h\nu$.

Teoria prevede că putem avea atomi de *H* cu electronul pe orbita 1, atomi cu electronul pe orbita 2, etc... Asemenea atomi ar constitui modificaţii diferite ale atomului de *H*. Dacă aceste modificaţiii n'ar trece repede unele în altele şi dacă le-am putea repara ele ar apărea ca modificaţii alotropice ale atomului de *H*, cu proprietăţi fizice şi chimice diferite. Experienţa a arătat că la temperatura ordinară ca şi la temperaturile cele mai înalte, avem foarte puţini atomi de Hidrogen cu $n > 1$.

Numeroase fapte sînt în acord cu teoria dezvoltată mai sus. Hidrogenul normal (m = 1) nu absoarbe radiaţiile seriei *Balmer* (m = 2), pentrucă H normal nu are electroni pe orbita 2. Ionizînd atomul de *H*, prin excitare cu *ioni* ori *electroni* aruncaţi cu repegiune mare, se disfac nu numai moleculele de *H* în atomi, dar şi atomi de *H* se disfac în electron şi ionul de *H* pozitiv. La reunirea lor, electronii pot cădea pe drumurile stabile 1, ori 2, ori 3 etc... prevăzute de teorie şi atunci se pot observa liniile prevăzute teoretic, chiar la temperaturi joase.

Atomul de *H* apare astfel ca o *combinaţie chimică* între *electronul pozitiv* (reprezentat prin nucleul pozitiv al atomului de H) şi *electronul negativ*. Acest atom poate fi disfăcut în conponente la o temperatură foarte înaltă. Legătura dintre cele 2 conponente este extraordinar de puternică şi *Nernst* [1]) apreciază la 300.000 cal căldura lor de combinare, într'un atom-gr.

Electronul negativ aflător la distanţa $0{,}532 \times 10^{-8}$ cm. de centru, înconjoară nucleul de $\nu = 6{,}2 \times 10^{15}$ ori pe Sec.

De mult interes este să se reprezinte şi molecula de H (H_2) ţinînd samă de modelul lui *Bohr* pentru atomul de H. După *Bohr*

1) Theoretische Chemie pag. 327, 819 (1926). *Boutaric*, pag. 132.

cele două nuclee pozitive se resping între dînsele, iar electronii se mişcă pe un inel al cărui plan este perpendicular pe linia moleculelor, pe care o tae la mijloc. Alăturat este redat modelul atomului de *H* cu dimensiunile lui şi tot odată modelul moleculei de H.

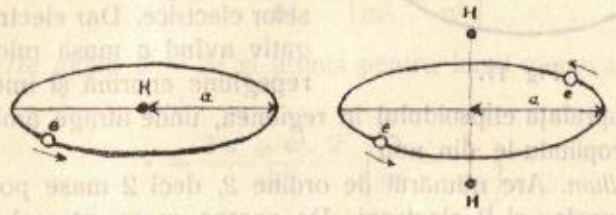


Fig. 16.

Modelul atomului de H. H = nucleul e = electronul $a = 0{,}532 \times 10^{-8}$ cm. raza cercului pe care se învîrteşte electronul.

Modelul moleculei de H. Cei 2 electroni *e e* se găsesc la 180^0 departare unghiulară unul de altul şi inelul are raza $a = 0{,}506 \times 10^{-8}$ cm (Debye).

Cei doi electroni în mişcarea lor pe inel ţin prin atracţiile lor electrostatice nucleele H — H la o anumită distanţă de mărimea 10^{-8} cm. Datele numerice calculate de *Debye* sînt aproximative şi legate de ipotezele ce au fost la baza acelor calcule. Interesul enorm ce-l deşteaptă acest model al moleculei H_2 este că în locul valenţei dintre cei doi atomi trebue să ne închipuim *un inel* al electronilor şi că deci avem pentru prima dată o explicare a valenţei pe baza unor puteri fizice bine definite, în special în ce priveşte acţiunile *homeopolare* [1]), ţinînd samă de teoria quantelor.

In legătură cu acestea a fost tratată şi o altă problemă, acea a ionului *monovalent* H_2^+; este ionul care rămîne, cînd un electron dispare din molecula H_2. După *Pauli jr.* trebue să ne închipuim modelul acestui ion în felul următor: cele două nuclee positive trebuesc considerate ca fiind în repaos, alcătuind astfel un sistem solid, în jurul căruia se mişcă electronul ce-a mai rămas, pe un elipsoid de revoluţie, în a cărui focare sînt nucle-

1) P. Bogdan, Electrochimia pag. 108 (1928). *Nernst*, Theor. Chemie pag. 328 (1926).

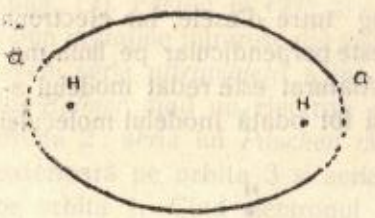


Fig 17.

ele pozitive. Cînd electronul se găseşte în regiunile a şi a_1 sistemul este nestabil, şi cele două nuclee caută să se depărteze în urma acţiunei de respingere a maselor electrice. Dar electronul negativ avînd o masă mică, are o repegiune enormă şi imediat intră pe suprafaţa elipsoidului în regiunea, unde atrage ambele nuclee, apropiindu-le din nou.

Helium. Are numărul de ordine 2, deci 2 mase pozitive libere în nucleu şi 2 electroni. De oarece masa atomului de *He* este de 4 ori mai mare decît a atomului de *H*, trebue să admitem că în nucleu sînt 4 mase pozitive şi 2 electroni nucleari. Cei 2 electroni externi se mişcă pe 2 cercuri şi calculul energiei ce trebue să cheltuim, ca să-i îndepărtăm din atom, conduce la valori foarte mari. De aceia gazul este indiferent din punct de vedere chimic.

Atomul de *He* poate fi ionizat în două moduri: dacă se îndepărtează ambii electroni, rămîne ionul de *He* bivalent, identic cu particula α, cum am văzut mai înainte.

Din atomul de *He* se poate îndepărta însă numai un electron; rămîne atunci un *ion de He* monovalent. Sistemul atomic al acestui ion constă dintr'un sîmbure central, cu masa de 4 ori mai mare decît a atomului de H, şi un electron, mobil în jurul nucleului. Sistemul prezintă deci mare analogie cu acel al atomului de *H;* ionul monovalent de *He* va prezenta deci o serie de linii spectrale analoage cu a Hidrogenului, cu diferenţa provenită de la faptul că nucleul *He* este de patru ori mai greu decît atomul de Hidrogen. Energia absorbită pentru a produce ionizarea va fi diferită de la un sistem la celalt, aşa încît liniile unui sistem vor prezenta o uşoară deplasare faţă de cele corespunzătoare a celuilalt sistem. Deplasarea poate fi calculată şi ea corespunde observaţiei.

In adivăr în formula (12) trebue să punem

$$a_m = \frac{m^2\ h^2}{4\pi^2\ \mu\ Ee}$$

şi

$$a_n = \frac{n^2\ h^2}{4\pi^2\ \mu\ Ee}$$

ca să obţinem

$$\nu = \frac{2\pi^2\ \mu\ E^2 e^2}{h^3}\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

Pentru *He* avem $E = 2e$ şi atunci pentru ionul monovalent He^+ avem

$$\nu = \frac{2\pi^2\ \mu\ e^4 \cdot 2^2}{h^3}\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

şi în genere pentru un element cu numărul de ordine N, avem *(Bohr)*

$$\nu = \frac{2\pi^2\ \mu\ e^4}{h^3} N^2 \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

Constanta din formula pentru H şi anume

$$R = \frac{2\pi^2\ \mu\ e^4}{h^3}$$

se menţine, dar este înmulţită cu N^2. La ionul de *He*, ea este înmulţită cu 4. aşa că liniile formează serii analoage cu acelea de la *H*, atît numai că ele se găsesc deplasate faţă de acelea ale *H* potrivit faptului că la Hidrogen avem

$$\nu = R\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

pe cînd la ionul monovalent de *He*, avem

$$\nu = 4\ R\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

Un progres simţitor şi din multe puncte de vedere hotărîtor a fost realizat de *Sommerfeld*, care considerînd variaţiile de masă ale electronului, cînd se mişcă pe o elipsă, a reuşit să dee samă de numeroase detalii ale spectrului *H*. De oarece repegiunea electronilor în atomi este aproape de acea a luminei, variaţiilor de repegiune pe elipsă li corespund variaţii de masă. *Sommerfeld* consideră variaţiile acestea punînd la contribuţie teoria relativităţii şi pune la îndămînă metode nouă teoretice pentru

cercetare. Redarea acestor probleme ar eşi din cadrul preocupărilor, ce ne-am impus în acest volum şi de-aceia trimetem, pentru detalii, pe cetitor la volumul lui *Sommerfeld* (Atombau und Spektrallinien); detalii se mai găsesc în *Nernst* pag. 202-207 şi *Millikan*, cartea citată pag. 262.

Constituţia atomului la celelalte elemente

Incepînd cu elementul corespunzător la numărul de ordine 3 *(Li)* şi sfîrşind cu *U* (număr de ordine 92) elementele au un nucleu format din un număr de mase pozitive libere egal cu numărul de ordine; în atomul neutru, în jurul acestui nucleu se găsesc electronii în număr egal cu al maselor pozitive libere.

Pentru rezolvirea chestiunei structurei atomului, se pune problema aranjării acestor electroni. In cazul cel mai simplu al *H* şi *He* am văzut ce răspuns s'a dat acestei probleme, cu ajutorul teoriei quantelor. Teoretic nu s'a putut rezolvi problema pentru cazurile mai complicate, aşa încît este nevoe să dăm în această privinţă numai sumare indicaţii.

Dacă din punct de vedere teoretic problema este foarte complicată în cazul mai multor electroni, s'a căutat să se vadă ce *indicaţii* ni dau în privinţa aranjamentului, proprietăţile fizice şi chimice ale elementelor.

Datorăm lui *Bohr*, în această privinţă, numeroase observaţii de cea mai mare însemnătate.

Incercările lui *Bohr* începute în 1913 au dus în ultimii ani 1921—1923 la fixarea unor aranjamente, aşa cum se indică în tabelele prezentate de dînsul [1]), sforţările lui tinzînd să explice sistemul periodic al elementelor.

El a ţinut samă atît de proprietăţile chimice cum se arată în sistemul periodic cît şi de spectrele elementelor, atît cele luminoase, cît şi acelea ale razelor X. Ionizarea elementelor, proprietăţile magnetice, coloarea etc. au fost utilizate cu scopul de a zmulge secretul aranjamentelor electronilor. Natural în acest scop dezvoltările quantice şi relativistice a lui *Sommerfeld* au fost puse larg la contribuţie.

1) *Nernst*, pag. 211 (1926), *Niels Bohr*, Ueber den Bau der Atome, Berlin (1924) Editura Springer. *Millikan*, pag. 272.

In cele ce urmează vom urmări în trăsături generale problema, aşa cum o dezvoltă *W. Kossel* [1]).

Bohr recunoscuse rolul important ce-l joacă un inel de 8 electroni, aşa cum el pare că se găseşte în atomul de *Neon*. Acest inel ar prezenta o mare stabilitate şi ar explica de ce gazurile nobile sînt indiferente din punct de vedere chimic. El pune în legătură împrejurarea aceasta, cu faptul că există 8 grupe verticale şi cu constatarea că numărul 8 joacă un rol important în variaţiile valenţelor [2]).

Pentru a nu repeta diferitele considerente, vom expune chestiunea aşa cum o dezvoltă *Kossel* în cartea citată.

Am arătat mai înainte că pentru un electron, cae s'ar învîrti în jurul unui nucleu format din *N* mase pozitive libere, radiaţiile ar fi date de formula lui *Bohr*

$$\nu = R\,N^2\left(\frac{1}{m^2}-\frac{1}{n^2}\right)$$

formulă verificată la ionul de He^+.

In formulă avem N = numărul de ordine şi pentru constanta R avem valoarea

$$R=\frac{2\pi^2\,\mu\,e^4}{h^3}$$

Mai departe ştim că *Moseley* a găsit

$$\sqrt{\nu} = a\,(N-b)$$

ceia ce se poate scri

$$\nu = a^2\,(N-b)^2$$

Pentru linia α din seria *K* valorile constantelor fixate experimental conduc la formula

$$\nu=\frac{3}{4}\,R\,(N-1)^2=R\,(N-1)^2\left(\frac{1}{1^2}-\frac{1}{2^2}\right)$$

Linia α a seriei *K* este cea mai accentuată, corespunzînd unei însemnate energii de radiaţie.

Din formula de mai sus se vede că această linie rezultă din trecerea unui electron de pe drumul 2 pe 1 şi pentru elementele la cari *N* este mare, se vede că electronul se mişcă într'un cîmp electric egal aproape acelui corespunzător masei libere pozitive întregi din nucleu (în acest caz 1 este mic faţă de N).

1) Valenzkräfte und Roentgenspektren Springer Berlin, 1924.
2) *Alfred Stock*, Ultrastrukturchemie, Springer Berlin (1920) pag. 70-71.

De asemenea linia cea mai tare din seria L este α şi radiaţia corespunzătoare este dată la diferitele elemente de o formulă

$$\nu = \frac{3}{36} R\,(N-7{,}4)^2 = R\,(N-7{,}4)^2\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{3^2}\right)$$

Radiaţia este produsă de trecerea unui electron de pe drumul 3 pe 2; dar factorul $(N-7{,}4)^2$ arată că acum mişcarea nu se face complect în cîmpul celor N mase pozitive din nucleu, ci avem un număr de mase scăzut cu 7,4 unităţi.

Se scot de aici două concluzii:

1) radiaţiile K_α şi L_α se datoresc trecerei electronului pe cercurile cele mai apropiate de nucleu (de pe 2 pe 1 la K_α şi 3 pe 2 la L_α);

2) în cazul radiaţiei K se vede efectul a $N-1$ mase pozitive, adică aproape a tuturor celor N mase pozitive libere, pe cînd la radiaţia L, avem un efect al unui număr de mase scăzut cu 7 unităţi $(N-7)$.

Rezultă de aici că procesul pentru radiaţiile L facîndu-se pe drumurile (3, 2) mai depărtate de nucleu, se găsesc între nucleu şi electronul nobil, care dă radiaţia α din seria L o serie de electroni intermediari, cari scoboară masa nucleului de la N la $N-7{,}4$.

Cantitatea *7,4* care se scade din N fu numită de *Sommerfeld caracteristica masei nucleare*. Determinînd-o şi la alte radiaţii această *caracteristică* alcătueşte un excelent mijloc pentru orientare în aranjarea interioară a electronilor în atomi.

Cu cît electronul este mai depărtat de nucleu, cu atît se va resimţi mai puternic influenţa electronilor intermediari; dacă considerăm atunci cazul extrem al unui electron departat de restul atomului, acest rest va lucra către exterior, deci asupra acelui electron, ca o masă *unică* pozitivă. In aşa fel restul lucrează ca un ion monovalent pozitiv. La o oarecare depărtare masele electrice ale acestui rest vor lucra ca şi cum ar fi concentrate în centrul nucleului şi acţiunea lor asupra electronului izolat va fi aceiaşi ca a nucleului atomului de *H*. După acest model de atom a lui *Bohr*, ar trebui să avem, pentru orbitele departate de atom, linii spectrale ale unui element analoage cu liniile Hidrogenului. Liniile seriilor corespunzătoare la valori m şi n mari, vor putea deci fi redate de expresiuni, cari nu s'ar deosebi de a spectrului Hidrogenului. Acest fapt fusese semnalat de mult de *Paschen*. Prin urmare *ionii* obţinuţi prin îndepărtarea unui electron, lucrează în exterior ca mase concentrate într'un punct.

Cum se vede din dezvoltările de mai sus, în interiorul atomului aproape de nucleu, îşi arată efectul aproape întreaga masă a nucleului; în exterior din contra restul ce rămîne din atom, după îndepărtarea unui electron, se reduce la masa pozitivă 1, care îşi exercită influenţa, ca şi cum ar fi într'un punct.

Modelul de atom arătat explică şi fenomenele de *fluorescenţă* sub acţiunea razelor X, discoperite şi studiate de *Barkla*.

Dezvoltările de mai sus arată că într'un atom cu număr de ordine mare, avem electronii aşezaţi în zone, în jurul nucleului.

Zona cea mai apropiată este acea care serveşte la producerea seriei *K*, prin faptul că un electron cade în această zonă, din celelalte mai departate.

Vine apoi zona a doua, a radiaţiilor *L*, apoi a radiaţiilor *M* etc. Aşezarea electronilor în zone concentrice în jurul nucleului rezultă şi din variaţia *periodică* a proprietăţilor elementelor, aşa cum o cunoaştem din sistemul periodic.

Considerînd elementele în ordinea numerilor de ordine, dăm la $N=3$ peste *Li* care este un metal alcalin. El eliberează uşor un electron, pentru a trece în ion monovalent; eliberarea acestui electron trebue să se facă din zona superficială, căci ionizarea se face uşor şi ea nu influenţază spectrele razelor X, cari cum ştim se datoresc zonelor interioare. După Li $(N=3)$ avem Be $(N=4)$, care dă ion bivalent; eliberarea celor doi electroni trebue să se facă tot din zona superficială. Atomul de *Be* ni-l închipuim format prin adăogirea unei mase pozitive la nucleu şi în acelaş timp a unui electron pe zona exterioară a atomului de *Li*.

Mergînd în ordinea crescîndă a numerilor de ordine, putem să ne dăm samă de formarea unui atom din cel precedent. Electronii exteriori îi adăogăm aşa la zona superficială, pînă la elementul *Ne* $(N=10)$. Pentru formarea elementului următor Na $=11$ adăogăm acum un electron pe o altă zonă; cu al 11-lea element, care e un metal alcalin, începem o nouă zonă şi continuăm operaţiile la elementele următoare, aglomerînd electroni pe zona exterioară, pînă la Ar $=18$; acum zona exterioară se închee şi cu elementul alcalin următor $K=19$ începem o altă zonă etc... O zonă exterioară poate primi un maximum de electroni cîţi se găsesc în această zonă la un *gaz nobil*. Se vede deci rostul acestor gazuri nobile în sistemul periodic, ceia ce se arată şi prin şirul următor al elementelor. Numărul de lîngă elemente, sînt numerile de ordine.

1. H							2. He
3. Li	4. Be	5. B	6. C	7. N	8. O	9. F	10. Ne
11. Na	12. Mg	13. Al	14. Si	15. P	16. S	17. Cl	18. Ar
19. K	20. Ca	21. Sc	22. Ti	23. V	24. Cr	25. Mn	26. Fe

Cu fiecare perioadă nouă trebue să înceapă o nouă zonă. Electronii de pe zona exterioară a unui element *nobil* alcătuesc împreună cu restul atomului *sisteme stabile*.

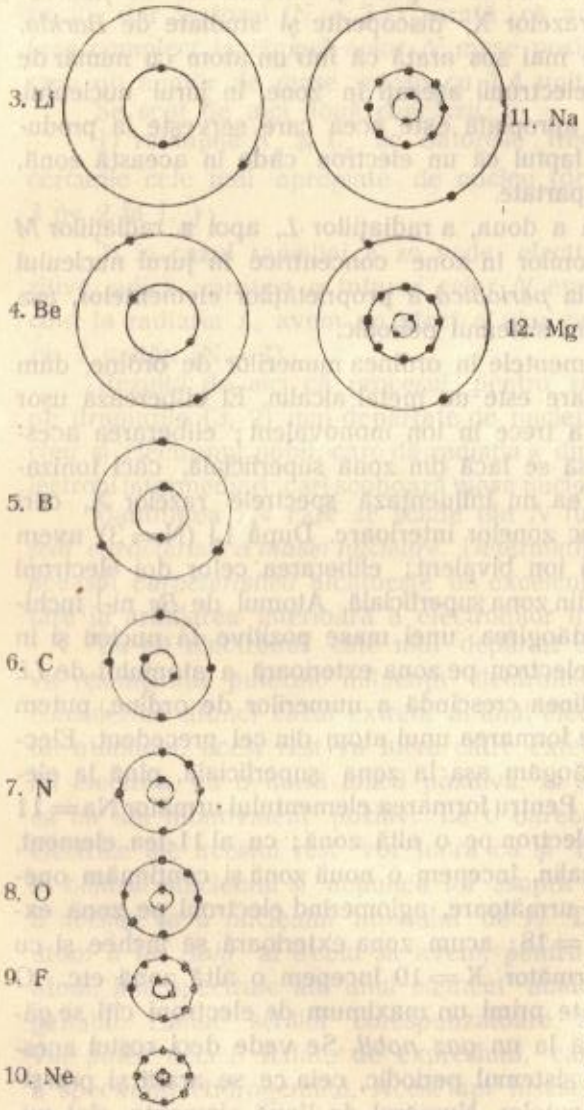


Fig. 18.

Ca să putem ţinea samă de distribuirea electronilor pe aceste zone, s'a propus următoarele aranjamente pentru elementele notate mai jos.

In centru trebue să ne închipuim nucleul. Imediat vine zona întâia cu 2 electroni, cum îi avem în He. Cu *Li* începe o nouă zonă, pe care se găseşte un electron; la *Be* avem pe zona exterioară 2 electroni şi a. m. d... până la *Ne*, care are pe zona exterioară 8 electroni şi la care avem un sistem stabil. Cu elementul următor *Na* 11, avem o nouă zonă cu un electron; la *Mg* 12, pe zona exterioară doi electroni etc. Din cauza atracţiei nucleare, care devine din ce în ce mai

puternică, cu cît creşte numărul de ordine, cercurile de la 3 la 10 sînt făcute din ce în ce mai mici. La *Na* cercul exterior este pe o zonă tot aşa de întinsă, ca la *Li*, căci aici îşi exercită acţiunea numai o masă pozitivă interioară.

Zona exterioară a *Ar* are tot 8 electroni, acelaş lucru la Fe.

De oarece aranjamentele cu 8 electroni în zona exterioară sînt cele mai stabile, se vede imediat că electronii din diferitele elemente *tinzînd, prin schimbări, să treacă în forme stabile*, vor căuta să *iee aranjamentul gazului nobil apropiat*. Această concluzie este confirmată de fapte.

Li pierzînd un electron devine *ion*, cu configuraţia *He*, adică cu doi electroni pe zona întâia ca la *He*. Tot aşa *Be* prin pierderea celor 2 electroni exteriori trece în configuraţia *He*; etc...

Na pierzînd un electron, trece în configuraţia *Ne*; *Mg* tot aşa prin pierderea a 2 electroni, *Al* prin pierderea a 3 electroni;... *F* din contra, înmagazinează un electron şi trece în configuraţia *Ne*, cu 8 electroni în zona exterioară. Ionul de $O^{=}$ are şi el 8 electroni în zona exterioară etc...

Ionizarea *S, Cl, K, Ca* etc. conduce la configuraţia *Ar*. Dacă configuraţiile atomilor se schimbă în felul acesta, asta însamnă că în toate elementele trebue să avem în jurul nucleului zona de radiaţie *K*, care e acea întîlnită la He; zona de 8 electroni de la *Ne* este zona seriei *L* şi a. m. d.

Configuraţiile arată că apariţia seriilor K, L, M, trebue să se facă treptat. De exemplu radiaţia K_γ ar rezulta din trecerea unui electron din zona 4-a pe zona 1-a. Din dezvoltările de mai sus se vede că zona a 4-a începe cu Potasiul şi experimental s'a constatat că linia K_γ nu apare înainte de Potasiu.

Probleme numeroase s'au pus cu privire la aranjamentele amintite mai sus şi observaţii experimentale în legătură cu dînsele tind să clarifice din ce în ce chestiunea aranjării electronilor în atomi. Ar fi să trecem de cadrul cuvenit unei publicaţii, ca cea prezentă, dacă am căuta să le atingem. De aceia ne oprim cu dezvoltările aici.

Modelul de atom dezvoltat în paginile precedente permite să explicăm fenomenele observate de *Rutherford* la trecerea unei particule α prin gazuri ori corpuri solide. Am văzut că cea cea mai mare parte a atomului este *vid*, întrucît electronii şi nucleele au diametri foarte mici.

Intre nucleu şi electroni distanţa este deci enorm de mare, în comparaţie cu diametrul unui nucleu şi deci în comparaţie cu diametrul particulei α. O asemenea particulă trece deci prin *atom*, fără să fie deviată din drumul ei. Dacă particula întîlneşte un electron, ea este neutralizată *parţial* şi trecută în ionul de He^+; dacă acest ion întîlneşte în drum alt electron, el este total neutralizat şi dă naştere la *atomul neutru de He*, care nu mai are repegiunea enormă dreptliniară a particulei α. In acest moment s'a atins *parcursul* pentru această particulă, a cărei existenţă încetează astfel *brusc*. Probabilitatea ca o particulă α să întîlnească un nucleu, este şi mai mică, de oarece nucleele sînt şi mai puţin numeroase şi au raze şi mai mici decît electronul. Deci numai rar de tot s'ar putea întîmpla ca particula să se apropie de un nucleu; atunci ea este respinsă şi aşa se explică schimbarea bruscă de drum a unor particule α.

CAP. IX.

Consecinţe de ordin chimic

1) Se constată că spectrelor de înaltă frequenţă nu le corespund linii de absorbţie. Am arătat că *Barkla* studiind radiaţiile emise de un corp, pe care am lăsat să cadă raze X, a constatat că radiaţiile emise de acest corp au caracterul de *fluorescenţă*.

Modelul de atom a lui *Bohr* explică aceste fenomene. La spectrele optice, caracterizate atît prin emisiunea, cît şi absorbţiunea aceloraşi linii, avem de-a face cu mişcări ale electronilor de la suprafaţa atomului, cari se pot mişca liber spre exterior (absorbţie) şi tot aşa de liber pot cădea din afară pe un drum superficial (emisiune). De oarece emisiunea de raze *Roentgen* se face pe drumurile din interior, imediat vecine nucleului, cînd electronul cade de pe un drum pe drumul 1, ori 2 etc..., mişcarea contrară care ar da loc la absorbţie nu se poate face cu aceiaş uşurinţă. In adivăr pentru ca să aibă loc absorbţia corespunzătoare emisiunei de pe un drum, de exemplu 2, pe 1, ar trebui ca electronul prin absorbţie de energie să se mişte de pe 1 pe 2. Dar o asemenea mişcare este împiedicată de împrejurarea că zonele vecine sînt ocupate deja de electroni. Numai atunci poate avea loc absorbţie, cînd energia absorbită poate ridica electronul din interior pînă îl scoate dincolo de suprafaţa exterioară a atomului. Cînd deci se absoarbe multă energie, mulţi electroni es din atomi sau sînt rîdicaţi în zonele superficiale.

De aceia cînd sub acţiunea energiei luminoase, mulţi electroni sînt ridicaţi în zonele superficiale, sistemul *excitat*, este *foarte activ din punct de vedere chimic*. De aceia lumina determină combinarea Cl_2 cu H_2; de aceia lumina atacă *Cl Ag* etc... Probabil acelaş proces de activare are loc la asimilarea CO_2 în părţile verzi ale plantelor etc...

2. Electronii din zonele superficiale fiind mai depărtați de nucleu, sînt mai slab uniți în atom, decît electronii din zonele interioare. Cînd vin în apropiere doi atomi, ca K și Cl, de caracter chimic polar, tendința de formare de sisteme stabile de electroni pe zonele superficiale se arată prin trecerea unui electron de la *K* la *Cl*; cum am văzut rezultă astfel *ioni* (K^+ și Cl^-) cu sisteme de electroni stabile, ca la gazurile nobile; acești *ioni* prin acțiunea lor electrostatică, formează molecula (Cl^-K^+). Prin urmare afinitatea chimică la combinațiile *heteropolare* se explică prin această acțiune electrostatică. Dar exemplul moleculei de H_2 ca și al ionului monovalent H_2^+, arată că și legăturile homeopolare pot fi reduse la atracții electrostatice; în acest caz prin deplasarea unuia sau mai multor electroni, pot rezulta sisteme comune ambilor atomi, cari țin nucleele apropiate. Am văzut că la H_2 s'a explicat legătura atomilor, prin formarea unui inel comun, care ține sub acțiunea electrostatică a sa cele două nuclee. Dar am arătat și o altă explicare, acea a electronului, care se învîrtește repede în jurul nucleelor și nu le lasă să se depărteze. E un model *dinamic*.

Datorim lui *W. Kossel* numeroase dezvoltări cu privire la acțiunile *heteropolare*. Le redăm pe scurt în cele ce urmează.

1) Am accentuat tendința atomilor de a trece prin încorporare ori cedare de electroni, în sisteme *stabile*, analoage cu a gazurilor nobile. Din Cl + Na se formează ionul de *Na* (cu 8 electroni exteriori, ca la Ne) și ionul de *Cl* (tot cu 8 electroni exteriori, analog Argonului). Puterea de atracție electrostatică între cei doi ioni astfel formați ține uniți ionii in moleculă sau în cristal. Indată ce punem ionii aceștia într'un mediu de constantă dielectrică mare, cum este apa, puterea de atracție este așa de slăbită, încît are loc disociația electrolitică. Ionii aceștia, cu configurația electronică analoagă gazurilor nobile, sînt extrem de stabili și de aceia *ionii aceștia nu atacă apa*, așa cum fac atomii de *Na*, de exemplu.

2) Tendința de formare a sistemelor stabile cu 8 electroni se vede și la elementele, cari în sistemul periodic ocupă cele 1—4 locuri înainte de un gaz nobil, Asemenea elemente Cl, S, P etc... sau F, O, N, sau Br, Se, As etc... iau electroni de la atomii de *H*, produc sisteme ca a gazurilor nobile și împreună cu ionii de *H* dau naștere la combinații gazoase PH_3, SH_2, ClH,

NH_3, Br H, $Se H_2$, $As A_3$, sau cu volatilitate accentuată FH, H_2O etc...

Din contra la elementele din grupa întăi sau a doua cari au pe învălișul exterior 1 ori 2 electroni, sistemul este așa de puțin stabil, încît ele dau ușor electroni chiar Hidrogenului și formează astfel *hidruri*, cum este *Li H*, cu ion pozitiv de *Li* (Li^+) și negativ de *H* (H^-).

3) Se știe că valența elementelor față de Hidrogen, este deosebită de acea ce se constată în combinațiile cu *O*. Așa *Cl* în *H Cl* este monovalent; în Cl_2O_7 are valența 7. Tot așa *P* în PH_3 este trivalent, pe cînd în P_2O_5 etc... este pentavalent. In combinațiile cu H, aceste elemente iau electroni de la H; în cele cu O, din contra cedează electroni Oxigenului, trecînd totdeauna în sistemul stabil cu 8 electroni. Un electron ca *N* are cum am văzut, 5 electroni pe învălișul exterior; el mai poate lua de la atomii de *H* încă 3 electroni, pentru a trece în ionul N^{+++}_{+} de configurația Neonului; față de *H* deci *N* este trivalent. Din contra *N* poate ceda Oxigenului cei 5 electroni, rămînînd ion pentavalent, cu configurația Heliului. Adunînd valențele avem

$$3 + 5 = 8$$

In genere valența pentru H adunată cu cea pentru *O* dă ca sumă *8*.

4) Pe lîngă schimbul de electroni cari au loc, așa cum l-am arătat, cînd un atom vine în cîmpul altuia, *Kossel* ia în considerare și atracțiile și respingerile ce pot avea loc între ionii astfel formați și ajunge la unele concluzii remarcabile.

Așa în combinațiile

NH_3	OH_2	F H
PH_3	SH_2	Cl H
$As H_3$	$Se H_2$	Br H
$Sb H_3$	$Te H_2$	I H

volumele atomice cresc cînd mergem la elemente, în serie verticală, de sus în jos; apropierea dintre ionii N și H_3 fiind mai mare, decît între ionii *Sb* și H_3, combinația NH_3 e mai stabilă decît *Sb* H_3 și în genere stabilitatea scade în linie verticală de sus în jos la aceste combinații.

Din contra în linie orizontală, combinațiile sînt redate schematic

fig. 19 de unde tragem concluzia, că stabilitatea va atîrna şi de masele electrice ale ionilor centrali şi în consecinţă legătura va fi cu atît mai slabă, cu cît mergem mai spre dreapta: aciditatea

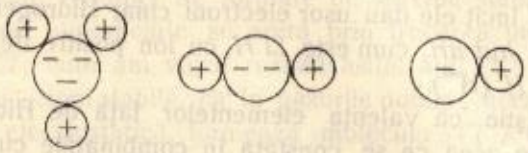


Fig. 19.

creşte în adivăr de la stînga la dreapta, combinaţiile F H, Cl H etc... disociază uşor ionii de *H*, trecînd în acizi. Natural puterile electrice atîrnă şi de constanta dielectrică a disolvantului [1]).

Dar *Kossel* face un pas mai departe: masele pozitive ale unui ion format prin îndepărtare de electroni, sau cele negative ale unui ion format prin încorporare de electroni, hotărăsc *valenţa* atomului, căci aceasta atîrnă de *numărul de electroni* îndepărtaţi ori încorporaţi.

Numărul de electroni schimbaţi în felul acesta *determină valenţa*. Un ion rezultat va avea masa electrică activă către exterior, cu atît mai mare, cu cît valenţa este mai mare. Puterea de atracţie a unui asemenea *ion* se excercitează în mod egal în jurul său, oricare ar fi direcţia, aşa că *liniile* cari de obiceiu reprezintă valenţa, nu trebuesc considerate decît ca expresia *numerică* a legăturilor dintre ioni, anume *cîţi* ioni de un fel se leagă de un număr determinat de ioni de altfel. Liniile reprezentative ale valenţei, nu trebue şi nu pot exprima nici direcţia puterei electrostatice şi nici mărimea ei.

Pentru a fixa ideile, considerăm un *ion* de N trivalent; el poate fixa 3 ioni de H; rezultă aşa combinaţia saturată, neutră NH_3.

Dar ionul de *N* din NH_3 continuă să exerciteze acţiunea lui electrostatică şi asupra ionilor altor combinaţii neutre, cum ar fi HCl; combinaţia saturată NH_3 o reprezentăm prin

$$\begin{array}{l} -H \\ N-H \\ -H \end{array}$$

cele 3 linii reprezentînd *valenţele principale* ale ionului *N*. Din

1) P. Bogdan, Electrochimie pag. 106—107 (1928).

acţiunea NH_3 asupra *HCl* rezultă clorura de amoniu, pe care *Kossel* o scrie

$$\begin{array}{l} -H \\ N-H \\ -H \\ \ldots\ldots H-Cl \end{array}$$

ca să arăte că se stabileşte o nouă legătură între ionul de *N* şi *ionul de H din HCl*, ion de H care e o componentă a moleculei neutre *HCl*. Legătura nouă a *N* cu *H* din *HCl* o numeşte *Kossel valenţă secundară*. Din momentul alipirei celui de-al patrulea ion de H, rezultă grupa complexă, pozitivă, *amoniul*,

$$(NH_4)^+$$

pe cînd ionul de *Cl*, rămas, este ţinut de puteri electrostatice legat de ionul de amoniu. Că în clorura de amoniu al patrulea ion de *H* este fixat la *N*, reesă din întreaga comportare chimică a grupei NH_4^+, care apare în electroliză ca un *cation* monovalent, şi trece în sărurile de amoniu de la un anion la altul, ca un ion metalic.

Tot aşa ionul trivalent *Au* în $Au\ Cl_3$ poate lucra asupra celeilalte componente a moleculei neutre *HCl* şi avem

$$Au\ Cl_3 + Cl\ H = (Au\ Cl_4)\ H$$

sau

$$Pt\ Cl_4 + 2\ Cl\ H = (Pt\ Cl_6)\ H_2$$

După cum în NH_4^+ cei patru atomi de *H* nu se deosebesc întru nimic între dînşii, din punct de vedere al unirei cu *N*, tot aşa cei patru atomi de *Cl* în grupa $Au\ Cl_4^-$, ca şi cei 6 din

$$Pt\ Cl_6^=$$

sînt toţi egali. In felul acesta *Kossel* cade peste considerentele lui *A. Werner*, care în dezvoltarea *teoriei complexelor*, accentuase, că acţiunea atomului central din complex se exercitează în mod egal în jurul său şi nu în *direcţii anumite*.

Din acest punct de vedere se explică de ce mai cu samă elementele cu volum atomic mic, şi cari dau ioni cu masă electrică mare formează combinaţii complexe: elementele tri- ori tetravalente cu volum atomic mic [1]), cum sînt *Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt* se arată mai potrivite pentru formarea de complexe hidrate şi amine. Ionul metalic central lucrează asupra Oxigenului din OH_2 şi a Azotului din NH_3 şi din punct de

1) După înşirarea lui *Lothar Meyer*, cum se găseşte de exemplu în *K. Hofmann* Lehrbuch der anorg. Chemie pag. 386 (1924).

vedere al formărei complexelor, se constată că *N* este superior *O*, pentru că *N* are 3 mase negative, iar *O* numai două.

In aceiaşi ordine de idei, $O^{=}$ din H_2O lucrează asupra H^+ din alte corpuri: multe din acestea dau H^+ care trece cu apa în complex, formînd *ioni hidrataţi de H;* astfel de corpuri disolvite în apă formează *acizii.*

$$n\ H_2\ O + H\ Cl = H^+(H_2\ O)n + Cl^-$$

Din contra $N^{\equiv}$ din NH_3 ia apei un H^+, căci ionul $N^{\equiv}$ are 3 mase electrice, pe cînd cel de $O^{=}$ numai două:

$$NH_3 + HOH = (NH_4)^+\ OH^-$$

De oarece volumul atomic al *P* este mai mare decît al N, constatăm la *P* mai puţin tendinţa de a forma PH_4^+, iar la *As* şi *Sb* de loc.

In NH_3 licid, ca şi în apă, corpurile dizolvite trebue să prezinte tendinţa disocierei electrolitice [1]).

5) Atracţiile şi respingerile electrostatice explică şi cazurile mai complicate. Considerăm seria *hidroxizilor* la elementele din prima perioadă:

$$Na\ (OH)\quad Mg\ (OH)_2\quad Al\ (OH)_3\quad Si\ (OH)_4\quad PO\ (OH)_3$$
$$SO_2\ (OH)_2\qquad Cl\ O_3\ (OH)$$

In aceste combinaţii avem de deosebit: 1) un *ion central* Na, Mg, Al, etc..., 2) ioni de *O* în jurul ionului central, apoi 3) ioni de H.

Posibilitătea de disfacere a uneia din moleculele de mai sus va atîrna:

a) de legătura dintre ionii centrali şi cei de O;

b) de legătura dintre ionii de *O* şi cei de H.

Se poate să se disfacă *O* de ionul central şi atunci combinaţia dă ioni de OH^-; dar se mai poate ca ionii de O să rămînă uniţi la ionul central şi să se disfacă numai ioni de H^+. In cazul întăi vom avea formare de baze, în cazul al doilea de acizi.

Hotărîtoare în privinţa discompunerei sînt puterile electrostatice.

Ionii centrali sînt toţi pozitivi; prin separare de electroni rezultă ionii

$$Na^+,\ Mg^{++},\ Al^{+++},\ Si^{++++},\ P^{+++++},\ S^{++++++}$$
$$Cl^{+++++++}$$

1) P Bogdan, Electrochimia pag. 111 (1928).

Masa electrică pozitivă creşte de la *Na* la *Cl;* dar odată cu dînsa creşte şi legătura dintre ionul central şi ionii de *O*, aşa că formarea de OH^+ este cu atît mai grea, cu cît mergem de la *Na* la *Cl.* Dar cu cît mergem de la *Na* la *Cl* la atracţia dintre *O* şi H^+ se suprapune acţiunea electrostatică de respingere dintre ionul central şi ionul H^+. Acţiunea de respingere a ionului H^+ creşte de la *Na* la *Cl* şi deci cu cît mergem în serie în această direcţie, se separă mai mulţi ioni de *H,* corpul ia caracter acid din ce în ce mai pronunţat, pe cînd Na OH, Mg $(OH)_2$ sînt baze. Asta însamnă că la Na OH, lucrarea mecanică ce se cere pentru a separa OH^+ de ionul central Na^+ este mai mică, decît lucrarea mecanică ce s'ar cere pentru separarea H^+ de grupul Na O; din contra la Cl O_3 OH lucrarea mecanică de separare a OH^- este cu mult mai mare decît pentru separarea unui H^+. La elementele de la mijloc valorile lor sînt prea puţin deosebite şi de aceia la Al $(OH)_3$ putem avea dubla posibilitate de reacţiune pe de o parte cu acizii —Al $(OH)_3$ find bază—, pe de alta cu bazele, cînd Al $(OH)_3$ îşi arată caracterul acid, formînd *aluminaţi.*

Am redat aşa pe scurt dezvoltările lui *Kossel.* Cetitorul doritor de detalii, le va putea afla din cartea lui *Kossel, Valenz-Kräfte und Roentgenspektren,* Berlin, Iulius Springer (1924), ca şi din *K. Hofmann,* Lehrbuch der anorg. chemie, pag. 718 (1924).

CAP. X.

Compoziţia atomilor. Discompunerea artificială a atomilor. Ponderi atomice. Stabilitatea elementelor.

In cap. VII am arătat că elementele din natură se reduc în definitiv la un număr limitat, a căror *mase atomice* sînt multipli exacţi ai masei atomului de *H* şi că ponderile atomice fracţionare se explică prin aceia că unii isotopi formează amesticuri de compoziţie constantă.

Aceste rezultate confirmă în totul *ipoteza lui Prout* şi am arătat cum actualmente atomii sînt consideraţi ca alcătuiţi dintr'un *nucleu* pozitiv, în jurul căruia se mişcă electronii.

Experienţele ce le descrim acum arată, că se poate reduce compoziţia atomilor la un element fundamental, în înţălesul ipotezei lui *Prout*.

Amintim în primul loc că în atomul de *He* am avea 4 mase pozitive şi 4 electroni, din cari 2 nucleari, Admiţînd că masa este de natură electromagnetică, ar urma ca masa atomică a *He* să fie egală cu acea a 4 atomi de *H*, iar valoarea ei numerică $4 \times 1{,}008 = 4{,}03$. In realitate masa atomului de *He* este 4, aşa că la condensarea a 4 atomi de *H* pentru a forma atomul de *He* are loc o pierdere de masă 0,03 din pondul atomic al H. Acestei mase îi corespunde, conform cu formula lui *Einstein* (pag. 16) o *scădere enormă de enegie*. Ar trebui unui nucleu de *He* să-i dăm o energie egală cu de 3 ori energia celei mai repezi particule α cunoscută, pentru a disface acest nucleu în quantele elementare cunoscute. Se vede atunci de ce *nucleul* de *He* prezintă o aşa de mare *stabilitate*.

De oarece *He* rezultă din alţi atomi în multe procese radioactive, sîntem în drept să admitem că în aceste elemente atomii de *H* se găsesc condensaţi parţial sub formă de nuclee de *He*.

Din cele dezvoltate mai înainte ar urma că la baza structurei tuturor atomilor ar fi *quanta elementară pozitivă*, adică nucleul Hidrogenului. Ar fi deci posibil, ca din atomii elementelor să poată fi disfăcut *nucleul de H*, sau *atomul de electricitate pozitivă*.

In 1919 *Rutherford* a publicat rezultatele a numeroase cercetări experimentale, din cari se vede că din atomi de *N* se pot disface nuclee de H, cînd bombardăm atomii de *N*, cu particule α, Discoperirile acestea, cunoscute sub numele de *discompunerea artificială a atomilor* [1]), alcătuind un moment deosebit de important, în dezvoltarea ideilor cu privire la structura materiei, vom căuta să le expunem mai în detaliu.

Am urmărit la pag. 58 drumul unei particule α prin aer, după procedeul *Wilson*.

O asemenea partică strabate atomii şi numai în puţine cazuri, ajungînd aproape de nucleu, sufere o deviare mare din drumul ei dreptliniar. Probabilitatea ca o particulă α se lovească un nucleu este foarte mică, din cauză că cea mai mare parte din volumul unui atom este vid. Cînd o particulă α loveşte un nucleu, nu numai particula sufere deviare din drumul ei, dar şi nucleul ciocnit capătă o repegiune, care este cu atît mai mare, cu cît masa acestui nucleu lovit este mai mică. In special nucleele atomilor de *H* vor suferi o creştere mare de repegiune, dată fiind micimea masei lor; în ciocnirea centrică, repegiunea căpătată de un nucleu de *H* lovit de o particulă α, cu masă de patru ori mai mare, ar trebui să fie 1,6 cît acea a particulei α.

In 1914 *Marsden* a studiat parcursul acestor nuclee de *H* lovite de particule α; particulele α proveneau de la Em. de Radiu, închisă într'un tubuşor cu păreţi foarte subţiri; parcursul lor în *H* de presiunea atmosferică, era de 24 cm; cu spintariscopul *Marsden* a constatat scînteeri chiar la 80 cm. Măsurînd deviarea în cîmp electric şi magnetic, *Marsden* a putut fixa că particulele, cari treceau de distanţa 24 cm. şi produceau scînteeri chiar la 80 cm., aveau masa 1, şi erau încarcate pozitiv cu o quantă, adică erau nuclee de *H*.

In 1915 *Marsden* şi *Lantsberry* variază experienţa, lăsînd să treacă particule α printr'o pătură foarte fină de ceară; nucleele de *H* lovite de particulele α căpătau repegiuni aşa de mari, că erau *scoase* din molecule şi continuîndu-şi drumul prezentau

1) *Nernst*, Theoret. Chemie pag. 491 (1926).

parcursuri tot aşa de mari, ca şi cînd erau produse de raze α ce loveau Hidrogenul gazos.

Mai mult decît atît: o lamă de *Ni* acoperită cu *Ra C* şi încălzită la 150° pentru a-i alunga vapoarea de apă şi *H* eventual oclus, emitea particule de *H* de parcurs mare, ca şi cum acest *H* ar proveni din dezagregarea atomilor de *Ra C*. Se putea trage concluzia că în dezagregarea radioactivă se separă nu numai *He* ci uneori şi *H*. Faptul prezenta o importanţă aşa de mare, încît *Rutherford* [1]) căută să-l controleze mai de aproape. El constată că şi un tub umplut proaspăt cu *Ra Em* (fără *Ra C*) emitea particule de *H* cu parcurs mare. *Rutherford* credea că asemenea particule ar putea fi datorite şi la *H* oclus. El studie atunci influenţa gazurilor interpuse între lama de *Ni* cu *Ra C* şi spintariscop.

Cînd în spaţiul intermediar era vid, ori CO_2, O_2, sau chiar O_2 saturat cu vapori de apă la 20°, observă la spintariscop mai puţine scînteeri, decît atunci cînd spaţiul era plin cu aer uscat.

In altă serie de încercări, el punea spintariscopul la 3 cm. de lama metalică şi între dînsele punea foi metalice aşa de groase, că reţineau complect particulele α ale *Ra C;* scînteerile la spintariscop puteau proveni deci numai de la nuclee de *H*. *Rutherford* atribui efectul intens în cazul aerului, prezenţei N_2 şi întrebuinţînd ca gaz azotul chimic pur, obţinu scînteeri cu 25% mai multe decît în aer. Prin încercări deosebite *Rutherford* se convinse că nucleele de *H* de parcurs mare se produc prin ciocnirea particulelor α de moleculele gazului întrebuinţat şi că în cîmp magnetic deviarea particulelor de *H* era tot aşa de mare, fie că ele proveneau din ciocnirea H_2 ori a N_2 cu particula α.

Prin bombardarea cu particule α, s'a reuşit aşa dară să se *separe nuclee de H din nucleul atomului de N.*

Ca detalii putem aminti că nucleele de *H* eliberate din atomii de Azot, au un parcurs pînă la 42 cm. de aer, pe cînd parcursul nucleelor de *H* din combinaţiile de *H* ori din *H* gazos, produse de razele α de la *Ra C*, au un parcurs de cel mult 28 cm. aer.

Rutherford şi *Chadwick* cercetară efectele bombardării cu raze α la numeroase elemente, în cea mai mare parte în stare

1 *Fajans*, Radioactivität pag. 84. Din această broşură am luat faptele expuse aici.

solidă. Pentru a elimina cu totul un eventual efect al dezagregării *H* oclus, ei interpuneau între spintariscop şi substanţa bombardată o foiţă de mica, care oprea toate particulele de *H*, cu parcurs mai mic de 32 cm. aer. Scînteerile spintariscopului în aceste condiţii nu pot fi datorate nucleelor de *H* obţinute din atomii de H, ci numai la nuclee de *H* provenite din dezagregarea artificială a nucleelor atomice ale substanţelor bombardate. S'a constatat aşa că prin bombardare se obţin nuclee de *H* din atomii următoarelor elemente, la cari indicăm şi pondul atomic

B (11), F (19), Na (23), Al (27), P (31)

Nucleele de *H* rezultate din bombardarea *Al* au un parcurs de 80 cm. aer, posedînd o energie cinetică mai mare decît a particulelor α cari le disfăcuseră. S'a conchis atunci că parte din ele provin din dezagregarea spontană a nucleelor atomilor de *Al*.

Prin discompunerea artificială, făcută după voinţă, se constată astfel că rezultă din nucleele acestor elemente nuclee de *H*, ceia ce dovedeşte că *H este unul din constituenţii atomilor acestor elemente.* La substanţele radioactive de pond molecular mare, dezagregarea dădea ca constituent *He*.

Gazurile O_2, CO_2, SO_2 nu dau nuclee de *H* prin bombardare cu particule α; din contra la elementele Li, Be, C, Mg, Si, S, Cl, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Cu, Sn, Au, bombardate cu particule α, n'au putut fi observate cu siguranţă particule de parcurs mai mare de 32 cm.

Ponderile atomice ale elementelor O, C, S... la cari în mod hotărît n'au fost observate particule de H, sînt multipli de 4, pe cînd la elementele cari prin dezagregare artificială dau nuclee H, ponderile atomice se pot exprima prin

$$4n - 2 \text{ ca la azot}$$

sau

$$4n - 3$$

unde n este un număr întreg.

La aceste din urmă trebue să admitem în structura atomilor atît nucleul de *He* cît şi al H, pe cînd la O, C, S... trebue să admitem numai structură de *He*.

Masa atomică a unui element atîrnă, în prima linie, de masa pozitivă din nucleu, masa unui electron fiind mică în comparaţie cu acea a unei quante pozitive, aşa cum se întîlneşte în ionul de *H*. Masa atomică va trebui să fie deci proporţională maselor

pozitive H^+, ceia ce este în acord cu ideia lui *Prout*. Dacă la substanţele din natură întîlnim ponderi atomice fracţionare, se explică acest fapt, atît prin amestic de isotope, cum am văzut, cît şi prin influenţa electronilor în mişcare. Cînd aceşti electroni au repegiuni aproape de acea a luminei, masa electronului devine şi ea apreciabilă, aşa că electronii cu repegiuni mari din atomi exercitează o influenţă simţită în ce priveşte pondul atomic. In afară de aceste cauze, trebue să mai considerăm şi variaţia de masă datorită energiei *nucleelor de H condensate*.

După teoria relativităţii unei energii E îi corespunde o masă *m* dată de relaţia

$$m = \frac{E}{c^2}$$

unde c = repegiunea luminei.

In atomi avem, cum am văzut, energie potenţială şi actuală, Energia totală a lor se menţine şi cînd atomul ar fi la O°= absolut. Ea se numeşte *energie la punctul zero* şi se poate calcula din formula de mai sus. Pentru 1 gr. de substanţă (m = 1) avem

$$E = c^2 = 3^2 \times 10^{20} \text{ ergi} = 9 \times 10^{20} \text{ ergi}$$

ceia ce dă aproximativ 10^{13} Kgr/m. Dacă nucleele H^+ s'ar condensa fără pierdere de energie, atunci energia unui atom ar fi proporţională cu numărul nucleelor de H^+ aflătoare în atomi. Am văzut însă că la condensarea a 4 atomi de H pentru a forma atomul de *He*, are loc o scădere a masei de la $4 \times 1{,}008$ la 4,00. Aceasta însamnă că o dată cu condensarea are loc o scădere de energie, care se poate calcula şi care este egală cu $0{,}008 \times 9 \times 10^{20}$ ergi pentru fiecare gr. atom de H condensat, ceia ce face 174 miliarde de calorii mici.

Inţălegem atunci că prin condensarea atomilor de *H* în atomi de pond mare, pot să aibă loc enorme degajări de energii şi corespunzătoare scăderi a masei.

Mai înţălegem atunci şi stabilitatea nucleului He^{++}_{+}, care apare în radioactivitate snb formă de particule α; mai înţălegem, în sfîrşit, că asemenea nuclee de He^{++}_{+} alcătuesc componentele multor atomi, din care cauză diferenţele multor ponderi atomice la unele elemente sînt 4, cum este cazul la C = 12, O = 16, Ne = 20, Mg = 24, Si = 28, S = 32, luînd numerile întregi şi neglijînd fracţiile.

Masele atomice ale elementelor cu atomii formaţi din nu-

Biblioteca Institutului Agronomic Iaşi

clee de He^{++}_{+} nu pot fi multipli ai masei atomului de *H*; de asemenea nu putem avea o masă atomică multiplă a celei a *H*, nici atunci, cînd în compoziţia atomului intră şi nuclee de *H* şi nuclee de *He* şi cînd numărul acestor din urmă este mare.

Constatarea energiei enorme, pe care am numit-o *energie la punctul zero*, avînd valoarea 10^{13} Kgr. m. pentru 1 gr., explică însă şi alte fapte de observaţie, anume *stabilitatea atomilor* la cele mai multe din elementele cunoscute pe de o parte, iar pe de alta celalt fapt bine constatat, că fenomenul radioactivităţii spontane nu poate fi influenţat nici prin temperaturile ce le realizăm noi, nici prin energiile electrice. In procesele de formare a atomilor, ca şi acelea de dezagregare a lor, energiile cari intră în joc sînt aşa de mari, încît acelea ce le întrebuinţăm ori le constatăm la schimbările moleculare sînt enorm de mici, în comparaţie cu cele d'intăi.

Un gr. de *Ra* dezvoltă pe oră 138 calorii mici; ca acest gram, prin dezagregare, să ajungă la 0,5 gr., trebuesc, cum am văzut, circa 1730 ani, în care timp gramul de *Ra* ar da circa 2 milioane de calorii mari. In comparaţie cu această cifră, amintim că arderea unui gr. de *H* dezvoltă 34,4 Calorii mari. „Omul, cu mijloacele limitate ce le are la îndămînă. n'ar putea imita, ceia ce execută natura spontan la Ra şi la celelalte elemente radioactive".

Indată ce întrebuinţăm energii mai mari decît cele chimice, o influenţare a atomilor este posibilă şi bombardarea cu particule α, de masă mare şi de repegiuni enorme, 10^9 cm./Sec. a permis, cum am văzut o dezagregare a unor atomi.

Fenomenul radioactivităţii a aratat că sînt unele elemente, cu o viaţă foarte lungă. Am văzut că perioada pentru dezagregare pe jumătate la *U* este de circa 5 miliarde de ani. De aceia elementul apare practic, ca un element constant. Este posibil ca şi elementele considerate acum ca nefiind radioactive, să aibă de fapt o viaţă foarte lungă şi de aceia ni apar ca elemente stabile. Elemente cari se găsesc pe pămînt, există şi în stele cu temperaturi între 6000°—12000°.

In transformările obicinuite ale materiei, adică în *limitele variaţiilor de energie, aşa cum le cunoaşte chimia*, se constată deci că părţile de materie, pe cari le numim *atomi*, prezintă o mare stabilitate, căci ei se conservă şi se arată practic ca părţi stabile, cari nu se mai disfac, în părţi mai mici.

Dezvoltările de mai înainte au îndreptățit pe *F. Paneth* să precizeze noțiunile de element așa cum arătăm mai la vale.

După *Paneth*, un *element chimic* este caracterizat prin aceia că masa pozitivă liberă din nucleele atomilor lui este aceiași; atomii ar putea să se deosebească însă între dînșii prin masa materială.

Cînd însă au toți și aceiași masă materială și aceiași masă electrică în nucleu, avem de-a face cu un *element pur*. Masele acestora sînt multipli aproape exacți ai atomului de H. La un *element pur* avem deci un singur fel de atomi.

Dacă însă avem de-a face cu mai multe feluri de atomi, cum este cazul la amestecuri de isotope, avem în fața noastră un *element mixt*.

Elementele chimice cunoscute pînă azi, sînt în parte *elemente pure*, cum sînt H, He, Be, C, N, O etc., în parte *elemente mixte*. cum este Li, B, Ne, Si, Cl etc.

Natura materiei

Căutînd să redăm pe scurt constatările făcute pînă acum în paginile precedente, vedem că știința modernă a reușit să stabilească:

1) Că materia e discontinuă;

2) Că e alcătuită din mase electrice pozitive și negative.

In ce privește discontinuitatea, se vede că dezvoltările Sec. 19 și începutul secolului 20, au împins această discontinuitate cu mult mai departe, decît ș'o închipuia *Dalton* la începutul Sec. 19. Atomii erau considerați atunci ca sisteme omogene, continui și cari nu pot fi discompuse în părți mai mici. Spațiuri libere s'ar găsi numai între atomi.

Cercetările ingenioase și precise științifice au înlocuit concepția aceasta cu acea a atomului format dintr'un *nucleu* pozitiv de rază care atinge la cel mai mare atom mărimea 10^{-12} cm., în jurul căruia se învîrtesc electroni de rază 10^{-13} cm. la distanțe de circa 10^{-8} cm. Raza unui atom este deci de 10000 de ori mai mare decît 10^{-12}. Spațiul între nucleu și suprafața exterioară a atomului ar fi liber, fără mase electrice. Discontinuitatea a fost deci împinsă pînă în interiorul atomului. Pentru a da o idee de această discontinuitate să ne închipuim nucleul reprezentat prin o sferă de 10 cm diametru; electronul ar fi reprezentat prin o

sferă de 1 cm. diametru și centrul acestei sfere s'ar găsi la distanța de 1000 de metri de centrul sferei ce reprezintă nucleul. Cea mai mare parte din atom este deci vid. Intr'un bloc de *Pt* de 1 mc volumul ocupat de masele electrice ar fi deci mai mic decît un mm^3.

In tot spațiul acesta vid există tensiuni datorite atracțiilor electrostatice dintre masele electrice.

Materia este alcătuită din quante electrice așezate după anumite norme și cari se mișcă după anumite legi. Cu modul acesta în locul numeroaselor elemente din cari s'ar alcătui toate corpurile, știința a întronat o singură necunoscută, acea a cărei masă materială ar *corespunde energiei totale a maselor electrice în mișcare*, după formele relativității.

Pentru motive didactice, introducerea pas cu pas în domeniul cunoștințelor noastre, a reclamat ca să se considere separat *materia* și *energia*. S'a considerat ca materie tot cea ce prezintă *inerție* la variație de mișcare și tot ce este *atras*, adică tot ce este *greu*.

La aceste două atribute caracteristice ale materiei, s'a mai adăogat încă unul, *întinderea*, materia ocupînd loc în spațiu. Prin modul de cercetare și de considerare al fenomenelor spiritul nostru ș'a creat el singur o dificultate deosebit de mare, considerînd *materia* ca ceva deosebit de *energie*.

Din cele precedente se vede că deosebirea fundamentală între materie și energie dispare și că *materia este una din formele energiei electrice, este alcătuită din electricitate*.

Considerînd energia absorbită ori degajată, care însoțește transformările chimice, constatăm că masa materială corespunzătoare ei, după formula relativității

$$m = \frac{E}{c^2}$$

este foarte mică. Cînd 2 gr. de *H* prin ardere se unesc cu 16 gr. de *O*, căldura dezvoltată este de circa 68800 cal, sau $E = 68800 \times 4{,}19 \times 10^7$ ergi. Am luat acest exemplu, căci aceasta este una din reacțiile cari se fac cu cea mai mare variație de energie. Masa corespunzătoare acestei energii ar fi

$$m = \frac{68800 \times 4{,}19 \times 10^7}{9 \times 10^{20}} = 3 \times 10^{-3} \text{ gr.}$$

sau

$$m = 3 \times 10^{-6} \text{ mgr.}$$

Transformările chimice, oricît de puternice ar fi ele, nu aduc variaţii apreciabile de *masă* şi ele se fac aşa, că ne îndreptăţesc să admitem că *masa nu variază*. Chiar masa solară, nu sufere variaţie, cu toată enorma energie radiată.

Energia la punctul zero, datorită maselor electrice în mişcare după anumite norme, din cauza atracţiilor, este enorm de mare. Ea se prezintă în parte sub formă de energie actuală parte sub formă de energie potenţială. Faţă cu această energie totală, energiile cari însoţesc transformările chimice sînt aşa de mici, încît variaţiile de masă corespunzătoare acestor din urmă sînt neglijabile şi masa corespunzătoare energiei la punctul zero, rămîne practic constantă.

Pentru a reliefa şi mai bine enorma cantitate de energie la punctul zero, *Nernst*, servindu-se de teoremul căldurii, a calculat, că dacă am putea realiza temperaturi de 10^{10}—10^{12} grade, ar avea loc [1]) la „multe elemente sau macar la unele din ele disfacerea nucleului, la unele chiar cu atîta violenţă, încît s'ar produce explozii". Temperaturile ce au fost cercetate pînă acum nu întrec 10^4 grade.

Constatările de mai sus arată, că transformările chimice se fac cu conservarea masei, adică ele se supun *legii conservării materiei.*

---

1) *Nernst*, Teoretische Chemie, pag. 491 (1926).

CAP. XI.

Aplicaţii

I. *Proprietăţile isotopilor. Întrebuinţarea lor*

Am văzut că din punct de vedere teoretic la isotopi suma algebrică a maselor electrice din nucleu este aceiaşi; de aceia ei au acelaş număr de *mase pozitive libere* şi deci şi acelaş număr de ordine. Putem admite însă că structura nucleelor poate să difere de la un isotop la altul. De oarece isotopii se asamănă atît de mult între dînşii din punct de vedere chimic, trebue ca electronii de valenţă să fie nu numai în acelaş număr, dar să prezinte şi distribuiri analoage la isotopi. Deosebirile în structura nucleelor se arată la emisiunea de particule α şi β. Analogia distribuirii electronilor exteriori face că spectrul vizibil şi ultraviolet este acelaş la isotopi. Din cauza diferenţei în structura nucleelor, ne-am putea aştepta şi la diferinţi *mici* în ce priveşte unele linii ale spectrelor, ceia ce pare că se şi confirmă experimental la spectrele de *Pb* (206) şi *Pb* (207,2) la linia 4058 Angströmi, precum şi la cei 2 isotopi ai *Cl*.

Distanţa de la electronii exteriori la centrul nucleului trebuind să fie aceiaşi la isotopi, urmează că voluuul atomic trebue să fie acelaş. Dar, de oarece ponderile atomice diferă, urmează ca densităţile isotop lor trebue să fie diferite. La *Pb* această cerinţă este satisfăcută, cum se vede din tabela următoare:

la *Pb*	(206,805),	avem densitatea	11,273	şi Vol. atom.	18,281
„ Pb	(206,34)	„ „	11,288	„ „ „	18,280
„ Pb	(207,2)	„ „	11,337	„ „ „	18,276

Densitatea ar putea servi deci la fixarea pondului atomic al isotopilor.

Am văzut că isotopii nu se pot separa prin cristalizare fracţionată. Asta însamnă că sărurile lor au aceiaşi solubilitate, a-

dică în volume egale de soluţii saturate, trebue să avem acelaş număr de molecule-gr. Dar pondul molecular fiind diferit la sărurile de isotopi (din cauza diferenţei de pond atomic), urmează că greutăţile a volume egale de soluţii saturate trebue să fie diferite, adică densităţile acestor soluţii trebue să fie diferite. *Fajans* şi *Lembert* au găsit pentru soluţiile saturate de azotaţi de *Pb* următoarele date:

Densitatea la 24°,45 de $(NO_3)_2$ Pb (207,20) este 1,4445
" " " " $(NO_3)_2$ Pb (206,59) " 1,4359

De asemenea s'a găsit că la 25° se dizolvă în 1000 gr. apă 1,7993 gr. mol. de $(NO_3)_2$ Pb (207,19) şi 1,7989 gr. mol. de nitrat de Pb (206,34). Densitatea soluţiilor saturate de săruri poate fi şi ea utilizată la fixarea ponderilor atomice ale isotopilor. *Brönsted* şi *Hevesy* au utilizat metoda aceasta pentru a arata existenţa isotopilor Cl (35) şi Cl (37) în *HCl*, trecînd acidul în *Cl Na*.

Determinări experimentale au arătat că punctele de topire ale isotopilor sînt egale, de exemplu, atît la *Pb* (207,2) şi Pb (206,34) cît şi la săruri de-a lor, clorura de Pb. Din contra avem deosebiri în ce priveşte volatilitatea. ceia ce a permis lui *Brönsted* şi *Hevesy* să separe doi isotopi ai Mercurului, cum am văzut mai înainte.

Intrebuinţarea isotopilor radioactivi la rezolvirea unor probleme ştiinţifice

Prin cîteva exemple vom arăta în ce mod au fost utilizate proprietăţile isotopilor la rezolvirea unor probleme a căror soluţiune ar fi fost altfel grea.

1) *Solubilitatea cromatului de Pb.*

Scuturînd cromatul de Pb cu apă şi evaporînd un volum mare de soluţie saturată, am putea determina, solubilitatea substanţei, prin cintărirea restului solid. Metoda s'a arătat nepractică de oarece erorile foarte mari întrec greutatea cromatului ce trebue cintărit.

Se procedează [1]) atunci în felul următor: Se amestică cu *Pb* cantităţi mici a unui isotop, de exemplu *Th B*. Se măsoară radioactivitatea unei cantităţi oarecare din acest amestic. Amestic metalic este transformat în cromat şi cu acesta se saturează apa. Evaporînd cîţiva cm. c. de soluţie saturată, putem şti din radioactivitatea depozitului solid cît cromat de *Pb* s'a dizolvat, de oarece din măsurarea acestei radioactivităţi calculăm întăi cantitatea de *ThB* şi din cunoştinţa acesteia apoi cantitatea de *Pb* şi deci de cromat de Pb.

2) *Discoperirea Hidrogenului bismutat (Bi H_3) şi a hidrurei de Pb (Pb H_2).*

Combinaţia Bi H_3 nu putuse fi preparată, de oarece nu se cunoşteau exact condiţiile în care ea se formează. Problema fu studiată şi rezolvită de *F. Paneth* şi elevii lui, cari se folosiră de excesiva sensibilitate a metodei electrometrice în determinarea cantităţilor mici de substanţă radioactivă. El adaogă la un aliaj de *Bi* şi *Mg* un isotop radioactiv al *Bi*, anume *Th C*. Tratînd aliajul cu H Cl, el constată că odată cu H_2 se dezvolta un gaz radioactiv, care era combinaţia *H* cu Th C. De oarece *Bi* este isotop cu *Th C*, sigur se formează şi Bi H_3. Urmărind formarea gazului şi studiind condiţiile favorabile de producere, el reuşi să prepare gazul Bi H_3 din *Bi*.

Prin aceiaşi metodă a arătat el că se formează *Pb* H_2.

3) Amestecînd în soluţie cantităţi equimoleculare de Cl_2 *Pb* a unui *Pb* inactiv şi cu azotat de *Pb* a unui *Pb*, care conţinea *Radioplumb*, recristalizînd apoi clorura de *Pb*, s'a constatat că atomii de *Radioplumb* s'au împărţit în chip egal între ionii de *Cl* şi cei NO_3. Rezultate asămănătoare s'au obţinut la disolvire de cantităţi equimoleculare de Cl_2 Pb şi nitrat de *Pb* în Piridină, de formiat de *Pb* şi acetat de *Pb* în apă de Plumboacetat şi Plumbiacetat în acid acetic cristalizabil. In cazul ultim se schimbă deci între dînşii ionii *Pb* bivalent şi *Pb* tetravalent.

Din contra nu are loc schimb de ioni de *Pb*, cu atomi de *Pb* din combinaţii, cari nu-s disociate electrolitic. Aşa este cazul cînd dizolvim Pb Cl_2 şi Pb $(C_6H_5)_4$ în Piridină, acetat de *Pb* şi Pb $(C_6H_5)_4$ în alcool etilic cu apă. Se poate scoate de aici încheerea, că schimbul de atomi între molecule este legat de existenţa disociaţiei electrolitice la ambele combinaţii.

4) De multe ori precipitatele iau cu dînsele săruri din soluţiile, în cari s'au format. In special se observă fenomenul cînd precipitatul format este amorf. Studiul lui este foarte dificil. Adăo-

1) *Hevesy* şi *Róna*, Zeit. für physik. Chemie 89, 294 (1915).
Hevesy şi *Zechmeister* Berichte deutsch. chem. Geselsch. 53, 410 (1929).

gînd însă un isotop radioactiv se poate urmări [1]) cantitatea de sare luată de precipitat (*Hevesy* şi *Paneth*). In special s'a căutat să se urmărească experimental ideile dezvoltate de *Langmuir*, cu privire la absorbţia substanţelor la suprafaţa corpurilor solide. Cercetările lui *Paneth* şi *Thimann* au arătat că o serie de coloranţi Ponceau, albastru de Metilen, verde de metil, etc... se fixază la suprafaţa cristalilor formînd o pătură alcătuită numai dintr'un rînd de molecule (pătură monomoleculară). Ca substanţă solidă întrebuinţau cristali fini de diamant. In colaborare cu *Al. Radu*, *Paneth* [2]) a găsit că aceiaşi coloranţi, albastru metilen, verde de metil, se aşază în pătura monomoleculară la suprafaţa pulberilor de cărbune animal, mangal din tei, cărbune de zahar...; de asemenea este adsorbit în pătura monomoleculară $(NO_3)_2$ Pb. Din contra unele fibre de matasă artificială (acea prin procedeul nitro, ori din soluţii de Cu) *absorb* mai mult; matasa din acetat absoarbe albastru de metilen B în pătură monomoleculară.

5) Metoda aceasta originală s'a arătat foarte preţioasă la rezolvirea unei probleme, pe care *Maxwell* a numit-o „difuziunea în sine însuşi". Problema se pune în felul următor: într'un cilindru plin cu CO_2 gazos, să ne închipuim că am *marcat* cu anumite semne moleculele din păturile de jos ale cilindrului. Acestea prin *difuziune* se împrăştie în restul gazului, iar în locul lor vin moleculele nemarcate. Am putea efectua marcarea aceasta a moleculelor, dacă am cunoaşte un isotop radioactiv al *C* ori al *O*, care ar intra în compunerea moleculelor de la partea inferioară a cilindrului. Urmărind radioactivitatea în diferitele pături ale gazului, am putea şti atunci cît de departe au pătruns moleculele radioactive printre cele inactive.

O problemă de „difuziune în sine" se punea în cazul separărei isotopilor *Hg* în lucrarea lui *Brönsted* şi *v. Hevesy*. Cum ştim trec din *Hg* în vid moleculele isotopului de masă atomică mai mică, de oarece atracţia exercitată asupra lor este mai mică. Dar atunci licidul devine mai bogat în isotop mai greu, care rămîne la suprafaţa licidului. Pentru a putea urmări distilarea ar trebui să ştim dacă este nevoe de o bună agitare a licidului sau dacă *difuziunea* isotopilor în masa licidului, este suficientă, pentru a

1) *Nernst*, pag. 578, 582, 788 (1926).
2) *Paneth* ş. *Al. Radu*, Berichte der deutsc. Chem. Ges 57, pag. 1221 (1924).

aduce la suprafaţă isotopul mai uşor. Se punea întrebarea, se poate urmări o asemenea difuziune experimental? *Gróh* şi *v. Hevesy* au rezolvit problema în cazul Plumbului.

Intr'un tub ei au pus Plumb obicinuit topit licid; peste dînsul au pus alt Plumb căruia i-am adăogat, ca indicator, un isotop al Plumbului, Ra D. Urmărind difuziunea acestui Ra D, ei obţinură repegiunea de difuziune a *Pb* topit în Plumb topit [1]).

II. *Acţiuni biologice ale substanţelor radioactive*

Ca de obiceiu, primele observaţii în această direcţie, se datoresc întîmplării.

Pierre Curie lasă să lucreze un preparat slab radioactiv asupra pielei unui braţ al său timp de 10 ore; rana rezultată s'a vindecat numai după 4 luni.

Acţiunea se arată de obiceiu prin o pată roşă pe piele la locul unde a stat preparatul de *Ra*. Intr'o experienţă, s'a lăsat să lucreze Br_2 Ra timp de 3 oare asupra pielei braţului; numai după 3 zile a apărut pata roşietică. Rana, care urmează ţine uneori cîteva luni pînă să se vindece.

In Institutul pentru medicina experimentală din *Petrograd* s'au făcut cercetări sistematice, relative la acţiunea fiziologică a radiaţiilor emise de *Ra*, asupra broaştelor, şoarecilor şi epurilor de casă de către *London* [2]).

Broaştele erau puse în flacoane la fundul cărora era apă; gîtul flaconului comunica cu un balonaş, în care era preparatul de Radium. Acesta lucrează prin *Emanaţia* lui, care se amesteca cu aerul din flacon; odată cu acesta emanaţia ajungea în organele de respiraţie! Acţiunea Emanaţiei este stricătoare: după 2 săptămîni broasca moare. Broasca moartă este radioactivă şi emite radiaţii α β γ. Pusă pe o placă fotografică învălită în hîrtie, o acţionează şi pe placă apare figura broaştei.

Şoricei albi supuşi la tratament cu *Ra*, arătau după cîteva zile greutate la respiraţie şi apoi mureau prin asfixie.

Asupra epurilor acţiunea pare mai lentă. In experienţele sale *London* utiliză doi epuri şi o epuroaică, pe care-i puse într'o cuşcă; de acoperişul ei a legat în interior o cutiuţă cu

1) Ann. der Physik 4), 63, 85 (1920).
2) *Centnerszwer*, Das Radium und die Radioactivität pag. 33, Teubner (1921) Din această broşură am luat datele relative la acest capitol.

26 mgr. de Br_2 Ra. In primele două săptămîni nu se observă nimic deosebit. La a 16-a zi apărură pete roze pe piele, părul căzu din acele locuri şi apoi apărură umflături, cari trecură în ulceraţii pe spinare, O schimbare fu observată şi în dispoziţia animalelor, cari deveniră apatice. Se mişcau numai cu ajutorul labelor de dinainte. In primile luni epuroaica fătă de 3 ori. Dorinţa de relaţii sexuale dispăru apoi şi ea. Greutatea animalelor crescu în tot acest timp; după opt luni începu să scadă şi greutatea merse scăzînd, pînă ce animalele se stinseră din viaţă.

Au fost întreprinse experienţe cu scop de a vedea, în ce chip influenţază radiaţiile *Ra* asupra diferitelor organe. S'a constatat că mai ales sistemul nervos şi organele genitale sînt mai sensibile la aceste acţiuni.

Danysz a arătat că *Ra* are influenţă dezastroasă asupra organelor centrale ale sistemului nervos, asupra crierului şi a măduvei spinării; după 3 ceasuri de tratament se observă o încecezire a acestor organe. Dacă acţiunea *Ra* este de durată mică la început se constată o excitare neobicinuită, căreia îi urmează o obosală complectă. Autorul broşurei, din care luăm detaliile acestea exprimă speranţa, că se vor putea face interesante studii, supunînd la acţiunile *Ra*, *regiuni anumite* ale crierului şi observînd reacţia sufletească în legătură cu acele acţiuni locale. Cu modul acesta s'ar putea face cercetări cu privire la distribuirea diferitelor funcţiuni sufleteşti în crier.

Prin razele γ ale *Ra* are loc o influenţare a organelor genitale, ca şi prin razele X. Fură supuşi acţiunei repetate a razelor diferiţi cobai; de fiecare dată expunerea ţinea 75 minute. Se constată că *Ra* lucrează şi asupra barbaţilor, ca şi a femeilor, ducînd la sterilitate. După cîteva oare spermatoizii îşi pierd mobilitatea, ba chiar dispar din spermă, care devine apoasă. La femei ovulele mor.

Bohn a observat că ovulul nefecundat se poate dezvolta, fiind supus în prealabil acţiunii radiaţiilor *Ra*, aşa că am avea a face cu adevărate procese de *partenogenesă artificială*.

Aschkinass şi *Caspari* au constatat că razele au acţiune *bactericidă*, făcîndu-le să lucreze asupra bacteriilor de *Choleră*, tifus; *Danisz* a constatat şi el acţiune bactericidă. Ea nu este însă generală. Datele în ce priveşte acţiunea asupra bacteriilor de tuberculoză *nu sînt sigure*. Interesantă este constatarea că *Ra*

are, se pare, o acţiune contrară asupra bacteriilor *fotogene*, a căror activitate creşte sub acţiunea *Ra*.

Acţiunea aceasta a *Ra* asupra organismelor e foarte complicată. Uneori se pare că trebue considerată o acţiune chimică: *lecitina* ar suferi o dedublare.

Mulţi autori atribue aceste acţiuni influenţei radiaţiilor Radiului asupra fermenţilor din organism. Este posibil chiar, ca, sub acţiunea lor să se nască otrăvuri, a căror cantitate ar atîrna de intensitatea radiaţiilor şi de timpul de expunere. La început aceste otrăvuri ar lucra ca *escitante*; acţiunea lor prelungită ar produce apoi moartea celulelor.

Intre elementele radioactive am notat şi *K* care emite radiaţii β. După *Zwaardemaker* [1]) acest element joacă un rol important în experienţele de supra vieţuire a inimei prin circulaţie artificială cu licidul artificial *Ringer-Loche*, în compoziţia căruia intră 8—9 gr. Cl Na, 0,15 bicarbonat de Na, 0,24 Clorură de Calciu, 0,42 Clorură de Potasiu, 1 gr. glucoză şi 1000 gr. apă. După *Zwaardemaker*, licidul acesta nu întreţine viaţa dacă din compoziţie lipseşte *K*. Inlocuind *K* prin alt element radioactiv *Rb*, *Po*, *U*, *Th*, *Ra* licidul dădea aceleaşi rezultate ca şi în cazul cînd avea *K*.

Medicina a căutat să utllizeze acţiunile biologice [2]) ale Ra, în scopul vindecării unor anumite boale. In acest scop trebue ţinut samă de următoarele împrejurări.

1) Din razele α, β, γ... razele α au cea mai mică putere de pătrundere, fiind absorbite foarte uşor în pereţii tuburilor ori a capsulelor, ce conţin preparatul de Ra. De aceia acţiunea lor în tratamentul cu Ra este neglijabilă.

Razele β pătrund în ţăsuturile omeneşti mai adînc 7—8 mm; pentru părţile mai adînci, au acţiune numai razele γ. Acţiunea acestor din urmă e considerată de unii în felul următor: razele γ pătrunzînd în interiorul organismului sînt absorbite de atomi, cari sînt ionizaţi: rezultă de aici *electroni liberi* şi aceştia ar fi agenţii direcţi asupra ţăsuturilor.

Pentru ţăsuturile mai adînci acţiunea fiind datorită razelor γ, este indiferent dacă luăm aceste raze de la tuburi *Roentgen* (Coolidge), ori de la lampa cu *Quartz*, ori preparate de *Ra*.

1) Vezi D-na *Elena Lupu*, Note şi informaţiuni, *Revista Adamachi* VIII pag. 94 (1922).
2) *Maurice Curie*, pag. 265 şi urmatoare (1925), de asemenea pag. 244.

2) Preparatele de Ra au avantajul că în volum mic prezintă o energie mare şi că manipularea lor este mai uşoară; ele pot fi chiar introduse în organism.

3) Trecînd radiaţiile prin lamele metalice de diferite grosimi, se poate *doza* acţiunea lor după voinţă.

4) Efectele acţiunii nu se arată imediat; de multe ori acţiunea lor se resimte tîrziu.

5) Ţăsuturile sănătoase sînt mai rezistente decît cele bolnave la acţiunea razelor. Intrebuinţînd razele în *doză potrivită*, celulele bolnave sînt distruse, pe cînd cele sănătoase sînt cruţate.

Detalii de tratament ca şi de modul de acţiune trebue căutate în tratatele speciale medicale [1]).

Amintim numai că tratamentul cu *Ra* a dat bune rezultate în unele cazuri de artrite, nefrite, boli de piele ca lupus, ulcere superficiale.

De asemenea în unele afecţiuni nervoase şi mai ales în tratamentul cancerului.

Substanţele radioactive se administrează uneori în inhalaţii alteori în băuturi, alteori în sfîrşit în injecţii.

In timpurile din urmă industria substanţelor radioactive a avut de înregistrat progrese mari, cari au permis să se prepare cantităţi mai mari de substanţe radioactive. In special mineralele de *Thorium* se arată bogate în substanţe radioactive; o tonă de *Monazită*, care are 5% Th O, conţine 5,4 mgr. *Mesothorium*. Preparatele de *Mesothorium* din comerţ emit radiaţii β γ, datorite mai ales substanţei radioactive *Mesothorium II*. Se alege cantitatea aşa ca radiaţia γ emisă de preparat să fie echivalentă cu acea emisă de 1 mgr. Ra. Preparatul acesta se găseşte în comerţ sub numele „1 mgr. Mesothorium"; el înlocueşte cu succes preparatul echivalent de Ra având avantajul că este mai eftin decît *Ra*.

Radioactivitatea preparatelor proaspete de Mesothorium creşte în trei ani pînă ajunge la un maximum; de aici înainte

1) *London* E S., Das Radium in der Biologie und Medicin, Leipzig.
E. Sommer, Emanation und Emanationstherapie. München.
P. Lazarus, Handbuch der Radiologie und Therapie, Wiesbaden.
Maurice Curie, Le Radium et les radio-éléments (1925).
Friedr Dessauer, Radium, Mesothorium und harte X-Strahlung.
Ernst Runge, Praktikum der gynäkolog, Strahlentheraphie, pag. 216 (1921).
Louis Wickham, Paul Degrais, Radiumtherapie (1912).

ea scade, aşa că după 10 ani ea este tot aşa de mare ca şi la început; după 20 de ani este redusă la $^1/_2$, ajungînd în urmă la valoarea radioactivităţii *Ra* conţinut în preparat, de care Mesothorium nu poate fi eliberat.

Th şi *Ra* se găsesc răspîndite în toate felurile de pămînturi şi de roci; rocile primare au 3×10^{-12} gr. de *Ra* şi $2{,}6 \times 10^{-5}$ gr. *Th* pentru fiecare gr. de rocă. Se vede deci că *Th* este mai răspîndit, decît *Ra*; de aceia preparatele de *Th* sînt ceva mai eftine.

Ambele elemente sînt răspîndite şi în rocile sedimentare. Din această cauză Emanaţia de *Ra* ca şi cea de *Th* o întîlnim pretutindeni.

Elster şi *Geitel* au observat că aerul din grote, din pivniţe este foarte ionisat; tot aşa este ionizat şi aerul absorbit din pămînt prin tuburi. Radioactivitatea acestui aer scade aşa că aproximativ după 4 zile este redusă la jumătate. Asta însamnă că în acest aer este *Ra Em*, care provine din *Ra* răspîndit pretutindeni.

Dacă întindem un fir metalic ţinut la —2000 volţi, într'o pivniţă, se depun pe acest fir productele de dezagregare ale Emanaţiei. Precipitatul se arată în adevăr radioactiv. Un precipitat radioactiv se poate obţinea şi cînd expunem firul ţinut la —2000 volţi în aer. Precipitatul radioactiv de pe fir se arată compus nu numai din productele de dezagregare ale *Ra Em* ci şi a *Th Em*. Emanaţiile de *Ra* şi *Th* fiind aşa de răspîndită, nu-i de mirare că ele se găsesc în apele ce trec prin pămînt; unele izvoare naturale sînt foarte bogate în emanaţie. Depozitele din aceste ape sînt uneori aşa de bogate în *Ra*, încît pot fi exploatate. Cercetările radioactive au putut arata că cele mai cunoscute *ape minerale*, de cari de vreme îndelungată se serveşte omul în localităţile balneare, sînt radioactive. Aşa se explică acţiunea tămăduitoare a apelor minerale de băut ca şi a celor întrebuinţate la băi. De asemenea se explică de ce acţiunea lor este mai intensă la locul de captare, decît transportate departe; în cazul ultim radioactivitatea lor scade.

De oarece în aceste ape substanţa radioactivă este *emanaţia* de *Ra* şi *Th*, s'au făcut încercări pentru utilizarea *directă* a Emanaţiei produsă *artificial* şi dizolvită în apă. Soluţiile [1]) con-

1) Un litru de apă dizolvă 300 cmc. de Emanaţie la temp. ordinară Emanaţia este mai solubilă în alcool şi toluol.

centrate astfel preparate sînt apoi utilizate în tecnica *inhalaţiilor* (Wiesbaden, Gastein, etc). Avem astfel un capitol nou, acel al *Emanoterapiei*.

Radioactivitatea apelor minerale ori a felurilor de pămînt se exprimă în unităţi internaţionale, numite *Curie*. Un gr. de *Ra*, în echilibru radioactiv cu Emanaţia, poate întreţinea un curent de $2{,}75 \times 10^6$ Unităţi Electrostatice sau *0.92 Miliamperi* la saturaţie: radioactivitatea acestui preparat a fost luată ca unitate şi s'a numit *Curie* [1]). Pentru radioactivităţi mici cum este a aerului, ori a apelor minerale se întrebuinţează o unitate numită „*Unitatea-Mache*", care întreţine un curent egal cu $\frac{1}{1000}$ parte din unitatea electrostatică. Atunci 1 *Mache* este egal cu $3{,}64 \times 10^{-10}$ Curie.

Sub numirile acestea *Curie* şi *Mache* se înţăleg uneori în literatură şi cantităţile corespunzătoare de *Emanaţie*.

Activitatea diferitelor preparate radifere se măsoară, comparîndu-le cu acea a unui *etalon* depus la Biuroul internaţional de măsuri şi greutăţi de la Paris. Acest etalon constă din 21,99 mgr. $Ra\,Cl_2\,2H_2O$, din preparatul, de care s'a servit Doamna Curie pentru determinarea pondului atomic al *Ra*. Activitatea acestui preparat-tip este aproape constantă: într'un secol ea ar scădea mai puţin de 1%. Laboratoriile celelalte au tuburi cu sare radioactivă, cari au fost comparate cu tubul-tip de la Paris. Există astfel etaloane radioactive secundare la Institutul de Radium (Paris), National Physical Laboratory (Londra), Bureau of Standards (Washington), Physikalisch-technische Reichsanstalt (Berlin), Institutul de Radium al Universităţii (Viena).

Aceste institute eliberează certificate relative la preparalele de Radium, ce le-au fost supuse spre examinare [2]).

Tratamentul industrial al compuşilor *Uraniului* a luat o dezvoltare întinsă, nu numai în scopul extracţiei substanţelor radioactive, ci şi din cauză că numeroşi compuşi ai *U* au întrebuinţări în practică. Aşa avem stecla de U; apoi oţel cu *U*, întrebuinţări în ceramică etc. In ultimul timp întrebuinţarea s'a întins şi în

1) *Maurice Curie*, Le Radium et les Radio-éléments, pag 282 şi 330 (1925). Un microcurie de Emanaţie de *Ra* dă un curent de 6,2 U. E. S. cînd Emanaţia e în echilibru radioactiv cu produsele precipitate din ea şi un curent de 2.75 U. E. S. cînd Ra Em nu-i în contact cu precipitatele.

2) *Maurice Curie*, cartea citată pag. 108—264.

domeniul agriculturei, avînd în vedere influenţa radierei asupra germinaţiei, apoi asupra microorganismelor [1]).

III. *Concluzii cari interesează Geologia.*

Datele relative la valorile lui τ, *perioada* caracteristică fiecărui element radioactiv, au putut fi calculate cu multă preciziune. Ele permit să apreciem timpul strecurat de la data formării unor roci şi pînă astăzi, adică *vîrsta* rocelor, în cari se găsesc elementele radioactive. Acest calcul îl facem, punînd în prealabil ipoteza, că în tot acest timp, radioactivitatea şa urmat cursul ei normal, şi că n'a fost *alterată* de influenţe necunoscute, cari ar fi putut interveni în acest interval de timp. Aprecierea *vîrstei* geologice, o putem face în modul următor:

a) In mineralele de *U*, după teorie, productul ultim este *Radioplumb*, *Ra G*.

Cu cît un mineral este mai vechiu, cu atît cantitatea de *Pb* trebue să fie mai mare şi deci raportul

$$\frac{Pb}{U}$$

trebue să fie cu atît mai mare, cu cît roca, în care se găseşte mineralul de *U* este mai veche. *Boltwood* a găsit în adevăr, că acest raport păstrează aceiaşi valoare, în cazul cînd mineralile uranifere au aceiaşi vîrstă geologică, şi că el creşte cu vîrsta mineralului. O apreciere numerică a vechimei mineralului o putem face în felul următor: am stabilit relaţia

$$\tau = \frac{0.693}{\lambda}$$

care dă perioada τ a Uraniului în funcţie de $\lambda =$ constantă radioactivă. La Uraniu s'a găsit $\tau = 5{,}2 \times 10^9$ ani. Însămnătatea constantei

$$\lambda = \frac{0.693}{\tau} \qquad (1)$$

reesă din relaţia fundamentală

$$\frac{dN}{dt} = \lambda N \qquad (2)$$

1) *Maurice Curie*, cartea citată pag. 309 şi următoare.

care integrată conduce la

$$\frac{1}{t} \lg \frac{No}{N} = \lambda \qquad (3)$$

Exprimînd timpul în ani, relaţia (2) arată, că pe fiecare an se transformă radioactiv fracţia λ dintr'un gr. atom de *Ur*. De oarece acest λ este o cantitate constantă, ar trebui

$$t_1 = \frac{1}{\lambda} \text{ ani}$$

ca 1 gr. atom de Uraniu să se transforme într'un gr. atom de *Pb*. Se vede că

$$t_1 = \frac{1}{\lambda} = \frac{\tau}{0.693} = \frac{5{,}2 \times 10^9}{0.693} = 7.5 \times 10^9 \text{ ani}$$

Intr'un timp t s'au transformat Pb gr. atomi de Uraniu în Pb gr. atomi de Pb şi au mai rămas N gr. atomi de Uraniu; avem

$$No = N + Pb$$

Notăm cantitatea de Uraniu rămasă cu $U = N$; ţinînd samă de (3).
avem

$$\frac{1}{t} \log \frac{U + Pb}{U} = \frac{1}{t} \log \left(1 + \frac{Pb}{U}\right) = \lambda$$

Cînd raportul $\frac{Pb}{U}$ este mic în comparaţie cu 1, ceia ce se întîlneşte în natură, avem

$$t = \frac{1}{\lambda} \frac{Pb}{U} = \frac{Pb}{U} \times 7{,}5 \times 10^9 \text{ ani} \qquad (4)$$

Cunoscînd raportul $\frac{Pb}{U}$, aşa cum îl găsim din analiza chimică, avem valoarea t, adică vechimea meneralului. In tabloul următor [1]) se dă raportul $\frac{Pb}{U}$ la cîteva minerale, exprimat în *Pb* la 100 de Uran

1) După *Lawson* şi *Holmes*. Din Dr. Lotze, Jahreszahlen der Erdgeschichte, Kosmos-Stuttgard, pag. 65 (1622).

Mineral	Localitate	Pb la 100 gr. Uran	vechimea în ani
1) Uraninit	Glastonbury Connecticut Statele Unite	4,1	320 milioane
2) Uraninit	Carbonifer Carolina de Nord Statele Unite		
	Intre Praecambrium şi Carbonifer	4,8	370 milioane
3) Zircon Pyrochlor Biotit	Brevig Norvegia Devoniam mijlociu	4,4 %	340 milioane
4) Uraninit	Branchville Connecticut Statele Unite		
	Silurian inferior	5,1 %	400 milioane
5) Uranin şi Bröggerit	Regiunea *Moos* Norvegia sudică	12 % şi	
	Praecambrium mijlociu	chiar 14 %	1000 milioane
6) Uraninit Cleveit	Avendal Norvegia	18 %	1300 milioane
	Praecambrium mijlociu		
7) Uraninit	Morogoro Africa răsăriteană	9,3 %	700 milioane
8) Zircon Biotit	Africa răsăriteană portugheză	15 %	1100 milioane
9) Zircon	Mozambic Mozambic		
	Din granituri cu aspect de gneiss	21 %	1500 milioane

In aplicarea formulei (4) trebue să avem în vedere că *Pb* şi *U* sînt exprimaţi în gr. atomi. Dacă ar fi exprimaţi în *gr.*, aşa cum sînt datele analitice din tablou, trebue să transformăm formula în

$$t = \frac{\frac{Pb}{\text{Pond atomic Pb}}}{\frac{U}{238}} \times 7{,}5 \times 10^9 = \frac{Pb}{U} \frac{238 \times 7{,}5 \times 10^9}{\text{Pond atom. Pb}}$$

şi să se pună pentru Pond atomic al *Pb* valoarea găsită în Pb din mineral. Datele fiind aproximative, putem scri

$$t = \text{vechimea} = \frac{\text{Pb grame}}{\text{U gr.}} \frac{238}{207} \times 7{,}4 \times 10^9$$

ceia ce conduce la

$$t = \text{vechimea ani} = \frac{\text{gr. Pb}}{100\ \text{Ur}}\ 8{,}6 \times 10^9 \text{ ani}$$

Aceasta este metoda *Plumbului* pentru calcularea vechimei.

2) *Metoda Heliului.* Dezagregarea radioactivă pune, cum ştim, în libertate *He*. Dacă gazul rămîne absorbit în mineral, cantitatea lui trebue să fie cu atît mai mare, cu cît mineralul este mai vechiu. Ca să se producă un cmc. de *He* dintr'un gr. de *U* ar trebui 10.000.000 de ani. Plecînd de la acest număr se vede că din cantitatea de *He* din minerale se poate calcula vechimea mineralului. Aşa s'au găsit următoarele date obţinute cu ajutorul metodei *He*:

Zircon, diluvian,	de la Vezuv	0,1	milioane ani
„	pliocen, Neoseland,	1,56	„ „
„	miocen, Auvergne	6,1	„ „
Limonită,	Carbonifer, Anglia	137	„ „
Zircon,	devonian, Brevig, Norvegia	46,1	„ „
Thorianită,	silurian, Ceilan	242,0	„ „
Zircon,	Praecambrium superior, Ceilan	267	mil. ani
Zircon,	Praecambrium inf. Canada	600	„ „

In genere metoda *He* dă numere mai mici. Probabil la captarea gazului au loc pierderi. Probabil de asemenea, că de multe ori o parte din gaz a putut eşi din rocă. Datele obţinute prin metoda *He* sînt aprox. $^1/_3$ din cele obţinute prin metoda *Pb*.

3) O a treia metodă este acea a *cercurilor pleochroite* din minerale. Ele se pot produce şi artificial; în minerale au rezultat din bombardamentul cu particule α, emise de incluziuni radioactive. După puterea de pătrundere a particulelor α, aceste cercuri au raze uneori mai mari, alie ori mai puţin mari. Vrîsta devonianului ar fi de 400 milioane ani *(Rutherford* şi *Jolly)*.

Datele obţinute pe aceste căi nu contrazic pe cele geologice, obţinute fie prin *metoda sedimentării* 250—320 milioane de ani, ca şi prin metoda determinării duratei proceselor geologice, după perioada glacială. Pentru vechimea Cambriului se găsesc numere cuprinse între 200—600 milioane de ani.

ANEXE

Nota 1

Maxwell odată cu teoria electromagnetică a luminei, arataze că energiei radiante, care se propagă prin *vid* sub formă de unde electromagnetice, îi corespunde o *presiune de radiare* (1865) şi că undele electromagnetice se propagă cu o repegiune egală cu acea a luminei. In 1888 *Hertz* reuşi să măsure experimental această repegiune pe care o găsi în adevăr egală cu acea a luminei.

In 1876 *Bartoli* a dat o dovadă teoretică despre existenţa presiunei de radiare, luînd ca punct de plecare legea II-a a termodinamicei. Ne închipuim un spaţiu vid, în care se propagă în *toate* direcţiile energia radiantă. In cmc. există energia *u*, pe care o numim *densitate de radiare.*

Intr'un volum *V* avem atunci energia $uV = U$. Cît timp temperatura spaţiului vid rămîne neschimbată, atît *u* cît şi *U* sînt constante. Cînd temperatura se ridică, energia *u* creşte şi ea, aşa că avem u = funcţiune numai de temperatură = f (T). Radiaţiile, cari străbat spaţiul vid prezintă toate lungimele de undă imaginabile. Să ne închipuim că în interiorul spaţiului acesta pe care ni-l închipuim cilindric şi limitat de păreţi prin cari energia radiantă nu poate trece, împingem un *piston*, format dintr'o *substanţă impermeabilă* pentru energia radiantă. Odată cu mişcarea aceasta noi comprimăm energia într'un volum mai mic, densitatea ei creşte şi deci temperatura creşte. Dacă mişcarea pistonului s'ar face fără consumare de lucru mecanic exterior, am reuşi să transportăm prin acest mecanism căldură de la temperatura joasă la temperatura înaltă, fără consumare de lucru mecanic exterior, ceia ce contrazice legea II-a a termodinamicei. Sîntem deci siliţi să admitem, că odată cu mişcarea pistonului se exe-

cută din exterior lucru mecanic, cu alte cuvinte că trebue să învingem o presiune, care este *presiunea de radiare*. Existenţa ei apare astfel ca o urmare necesară a legei II-a. Experimental acestă presiune fu evidenţiată de *Nichols, Hull, Lebedew* [1]).

Relaţiile elementare, cari se întîlnesc la teoria condensatorilor electrici, permit să stabilim relaţiunea de mărime între presiunea de radiaţie p şi densitatea energiei de radiaţie u. Ne închipuim un condensator plan; armăturile sînt supuse la o diferenţă de potenţial care determină un cîmp electric uniform, de mărimea H. Presiunea electrostatică are valoarea

$$\frac{H^2}{8\pi}$$

şi tot expresiunea aceasta reprezintă şi energia pe cmc. Luînd ca axă de x direcţia liniilor de forţă, avem

$$\frac{H^2}{8\pi} = p = u_x$$

Avem în acest caz energie numai pe direcţia x căci numai dacă se mişcă pe această direcţie masa + 1 avem lucrare mecanică; mişcînd masa + 1 pe direcţiile perpendiculare y, z lucrul mecanic este nul. Luînd atunci alţi 2 condensatori plani, cu liniile de forţă perpendiculare pe direcţia x şi paralele cu axele y şi z ale unui sistem de coordonate rectangulare, vom avea în toate direcţiile presiunea p, iar pe cmc., pentru acelaş H, alte două componente u_y, u_x, aşa că energia totală va fi pe cmc.

$$u = u_x + u_y + u_z$$

De oarece pentru diferinţi de potenţial egale, avem pe cele 3 direcţii acelaşi H, urmează că

$$u_x = u_y = u_z, \quad u = 3\, u_x$$

şi deci

$$p = u_x = \frac{u}{3} \qquad (1)$$

ceia ce fu deomonstrat de *Boltzmann* şi apoi confirmat experimental de *Lebedew*, *Nichols* şi *Hull*. Cît timp diferenţa de potenţial, care dă naştere cîmpului H, este constantă ca mărime şi ca direcţie, energia u este energie potenţială. Dacă diferenţa de

1) *Sackur*, Thermochemie und Thermodynamik pag. 298 (1912). Acolo se găseşte şi demonstraţia lui *Barfoli*

potenţial variază periodic, şi H variază periodic şi în mod egal, după cele 3 direcţii; p se transformă atunci în *presiune de radiaţie*.

O asemenea presiune de radiaţie, căzînd pe o suprafaţă, o poate pune în mişcare. Legea conservării cantităţii de mişcare reclamă atunci *masă materială* şi pentru *energia radiantă*, care dă naştere la asemenea mişcări. *Energiei îi corespunde deci masă materială*. Putem calcula şi valoarea m a masei materiale, care corespunde unei energii U.

In vid energia se găseşte sub formă de *quante* de energie. Atribuind acestor quante mase materiale, ajungem la concluzia că eterul din vid are o structură corpusculară ori *atomică*, granulele avînd o masă enorm de mică. Radiaţiile se propagă prin unde condensate şi dilatate. Intr'un volum V, se formează tot atîtea unde condensate, cît şi dilatate, iar variaţiile de energie corespunzătoare se compensează; energia U dintr'un volum mic V

$$U = u\ V \qquad (2)$$

este constantă în cazul propagării undelor. Atunci avem prin diferenţiare

$$V\ du + u\ d\ V = o \qquad (3)$$

ceia ce conduce la

$$\frac{d\ u}{-\frac{d\ V}{V}} = u$$

sau

$$\frac{d\ \frac{u}{3}}{-\frac{d\ V}{V}} = \frac{u}{3} \qquad (4)$$

Scrim acest rezultat şi astfel

$$\frac{dp}{-\frac{d\ V}{V}} = p \qquad (5)$$

Ceia ce arată că $p = \frac{u}{3}$ este coeficientul de elasticitate. Noi putem realiza însă o presiune de radiaţie admiţînd că la un condensator plan punem o forţă electromotrice, care variază periodic cu timpul, de exemplu, după o formulă

$$F = A \sin \frac{2\pi t}{T} \qquad (6)$$

Direcţia forţei rămîne însă neschimbată şi anume, de exemplu, direcţia axei x. La o valoare oarecare a lui F avem un u_x şi un p corespunzător.

Cînd perioada T este foarte mică, vom considera pentru p şi u_x valorile lor mijlocii în timpul T. Undele electrice rezultate din variaţiile de mai sus se propagă cu repegiunea luminei c, care este dată de formula lui *Newton*

$$c^2 = \frac{E}{\rho_x} \tag{7}$$

unde E este coeficientul de elasticitate, iar ρ_x masa pe cmc., corespunzătoare energiei u_x. Am găsit mai sus pentru coeficientul de elasticitate valoarea

$$E = p \tag{8}$$

Atunci

$$c^2 = \frac{p}{\rho_x} = \frac{u}{3\,\rho_x} \tag{9}$$

Dar am văzut

$$u = 3\,u_x \tag{10}$$

Deci

$$\rho = 3\,\rho_x \tag{11}$$

ar fi masa pentru cazul cînd ar exista 3 condensatori plani perpendiculari identici. Atunci

$$c^2 = \frac{u}{\rho} \tag{12}$$

reprezintă energia corespunzătoare *unităţii de masă*. Pentru o masă m energia va fi

$$m\,c^2 = m\,u = U \tag{13}$$

ceia ce conduce la vestita formulă a lui *Einstein*

$$m = \frac{U}{c^2} \tag{14}$$

pe care am dat-o pag. 16 şi am utilizat-o în paginile următoare.

Diferenţiarea formulei (2) am făcut-o la energie constantă. Comparînd rezultatele obţinute cu acelea de la gazuri, licide ori solide, coeficientul de elasticitate E obţinut, nu are în expresia lui raportul $\frac{c_p}{c_v}$, ceia ce asamănă eterul mai mult cu un corp lichid ori solid, decît cu un corp gazos. Mai departe, faptul că pentru u am admis componente pe direcţiile x, y, z, arată că eterul mai degrabă se apropie de corpurile solide; compresibilitatea lui,

foarte mică, arată că această apropiere este naturală. Atunci energia u este suma energiilor actuală şi potenţială. In nota 4 vom reda calculul masei unui electron sferic în mişcare.

Am putea admite că la acelaş condensator se suprapun foarte multe forţe electromotrice variabile periodic; putem alege amplitudinea şi perioada lor aşa, ca să avem radiaţiile corespunzătoare unui *corp negru*. In dielectric avem nu numai energie potenţială, dar curenţii de deplasare, datoriţi variaţiilor forţelor electromotrice, pot fi consideraţi, ca formaţi din mase electrice în mişcare; avem atunci şi energie actuală. Presiunea corespunzătoare acestor mase în mişcare, calculată după teoria cinetică a gazurilor ar fi dată de o expresiune

$$p = {}^2/_3\ N\,\frac{m\,v^2}{2} = \frac{N\,m\,v^2}{3} \tag{15}$$

Aici $N\,m\,v^2$ ar reprezenta îndoitul energiei actuale. In acest caz atribuim eterului proprietăţi de corp solid, admiţînd că şi în acest caz s'ar aplica relaţia lui *Boltzmann* [1]), în ce priveşte mărimea energiilor actuală şi potenţială, atunci $N\,m\,v^2$ ar reprezenta suma energiilor actuală şi potenţială, adică energia totală, pe care noi am notat-o pentru cmc cu u,

$$u = N\,m\,v^2 \tag{16}$$

Pentru presiunea de radiaţie p am avea două expresii: una $p = \frac{N\,m\,v^2}{3}$, calculată pe baza teoriei cinetice a gazurilor şi alta $p = \frac{u}{3}$, calculată independent de vr'o ipoteză asupra structurei eterului, pe baza formulelor elementare din electricitate, unde u este energia totală pe cmc.; formula (16) arată că u este îndoitul energiei actuale, ceia ce ar denota că o jumătate din u este energie potenţială. Eterul ar avea din acest punct de vedere proprietăţi ca la corpurile solide, iar presiunea de radiaţie s'ar datora numai ciocnirilor granulelor de energie în mişcare.

Admiţînd că în energia radiantă am avea quante oscilatoare şi că distribuţia repegiunilor lor s'ar face ca la corpurile solide, am putea calcula energia medie a unui oscilator, aşa cum am făcut acest calcul la corpurile solide. Expresiunea energiei medii

1) Vezi P. Bogdan, Introducere în chimia fizicală, Termodinamica pag. 166.

a unui oscilator într'un plan calculată de *Einştein* [1]) pentru un gr. atom

$$W = R \frac{\beta \nu}{e^{\frac{\beta \nu}{T}} - 1}$$

rămîne atunci valabilă şi pentru un oscilator din energia radiantă. Scriind $\beta = \frac{h}{R}$ avem

$$W = \frac{h \nu}{e^{\frac{h \nu}{RT}} - 1}$$

formula utilizată de *Planck* pentru calcularea formulei de radiare care-i poartă numele [2]).

1) P. *Bogdan*, introducere în chimia fisicală, Termod. pag. 172, 173.
2) *Grimsehl*, Physik, I, pag. 980—983 [1921].

Nota 2

Determinarea valorii quantei de electricitate e.

1) *Metoda Townsend.* Se ştia că Hidrogenul degajat cînd se disolvă un metal într'un acid, este încărcat cu electricitate. *Enright* [1]) arătase că Hidrogenul obţinut prin disorvire de Fer în ac. sulfuric se încarcă positiv, iar *Oliver Lodge* [1]) interpretase fenomenul, admiţînd că electricitatea e transportată de particulile lichide luate de gaz şi că se formează prin frecarea acestei neguri. *Townsend* [2]) într'un memoriu cetit la şedinţa Soc. Filosofice din *Cambridge* din 8 Februar 1897, arată că H_2 şi O_2 dezvoltate din electroliza acidului sulfuric sînt electrizaţi pozitiv, pe cînd gazurile acestea se încarcă negativ, cînd se obţin din electroliza sol. de KOH.

Cu intensităţi de curent de de 12 la 14 Amp. el arată că gazurile acestea aveau pe cmc. mai mulţi ioni, decît se puteau obţinea prin razele X şi că pe cmc. masa electrică atingea 5×10^9 U. E. S. Că se formează în electroliză adevăraţi ioni gazoşi, arată *Townsend*, trecînd gazul prin apă; se producea o negură; trecînd gazul cu negura prin SO_4H_2 conc. sau prin altă substanţă deshidratantă negura dispărea. Cînd gazul uscat era lăsat în atmosferă, el condensa umezala şi se forma din nou o negură persistentă. El mai constata că la trecerea gazului electrizat şi cu apa condensată sub formă de negură prin acid sulfuric conc. se pierdea 20 % — 25 % din cantitatea de electricitate, rămînînd în gazul uscat încă ioni liberi, fără apă, în urmă evaporării apei în jurul unor mase electrice. In definitiv, el credea că vaporii de apă se condensază în jurul ionilor, positivi ori negativi.

Determinînd atunci masa electrică şi cantitatea de apă con-

1) Phil. Mag. XXIX 1890, seria 5-a pag. 56 şi 292.
2) Procedings IX 1897 pag. 244.

densată; determinînd apoi mărimea unei particule din negură, prin cădere în gaz şi aplicarea legii lui Stokes, avea toate datele pentru calculat cantitatea de electricitate de pe fiecare particulă, căci din cantitatea totală de apă şi din masa unei particule deducea el numărul de particule. Aparatul de care se servea este arătat în figura alăturată [1]). El utiliza oxigenul obţinut în electroliză pe electrodul E; gazul era trecut prin flacon (*A*) cu *KI*, pentru a fi liberat de ozonă şi apoi printr'un flacon cu apă (B), pentru ca să se formeze negura în jurul ionilor. O serie de tuburi de uscare *c, d, e* sînt închise într'un recipient metalic *G*. Picăturile de apă cu o parte din electricitate b_1 sînt

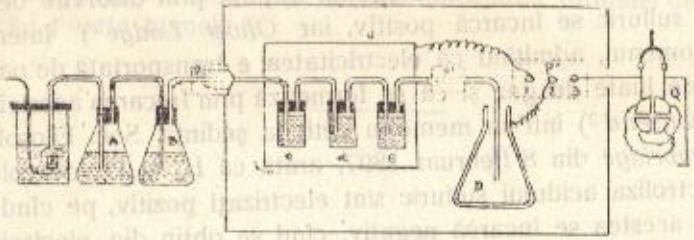


Fig. 20

absorbite de tuburile *c, d, e*, iar masa electrică q_1 determină pe cutia *G* o cantitate de electricitate, egală şi contrară, care este măsurată cu ajutorul electrometrul cu cadran, la fiecare minută, legînd borna 1 cu 3. Aerul uscat eşit de la *c, d, e*, cu restul electricităţii ajunge în flaconul D, a cărui suprafaţă exterioară este acoperită cu o foaie de staniu, legată la borna *2*. Legînd *2* cu *3* la fiecare minută se determină masa electrică dezvoltată pe foaia de cositor, egală şi contrară aceleia ce trecea prin D.

Intensitatea curentului permitea calculul volumului de gaz dezvoltat prin electroliză şi trecut prin aparat. Creşterea în greutate la *c, d, e*, arată cantitatea de apă *m* corespunzătoare masei electrice q_1. Trecînd negura care esă din *B* într'un flacon, *Townsend* determină repegiunea de cădere a unei picături, determinînd timpul strecurat cît timp picătura străbătea o lungime cunoscută în cm. Raza unei picături fiind *a*, volumul ei este $\frac{4}{3}\pi a^3$ şi masa $\frac{4}{3}\pi a^3 d$; puterea cu care o atrage pămîntul

1) luată din *Millikan*, l'Electron, pag. 319 (1925).

este $\frac{4}{3}\pi a^3 dg$ şi cînd această putere este egală cu rezistenţa de frecare $6\pi a\eta v$ *(Stokes)*, observăm că picătura cade cu mişcare uniformă, de repegiune v; η este coeficientul de viscositate. Din

$$\frac{4}{3}\pi a^3 dg = 6\pi a\eta v$$

avem

$$v = \frac{2}{9}\frac{g a^2}{\eta} d$$

Cunoscînd v, g, η şi d calculăm uşor *a* şi deci masa $m_1 = {}^4/_3 \pi a^3 d$ a unei globule. Impărţind cantitatea totală de apă *m* cu m_1 se află numărul de picături *n*. Impărţind apoi q_1 şi *n* avem cantitatea de electricitate pe fiecare picătură.

Picăturile formate în Oxigenul negativ cădeau mai repede decît cele formate în Oxigenul pozitiv, ceia ce arată că în jurul ionilor negativi se condensa vapoare de apă mai multă, decît în jurul celor pozitivi, ceia ce e în acord cu observaţia făcută la pag. 19, că ionii negativi produc mai uşor condensarea, decît cei pozitivi.

Prin metoda aceasta *Townsend* obţinu pentru quanta elementară de electricitate valoarea

$e = 2{,}8 \times 10^{-10}$ M. E. S. cu Oxigenul pozitiv

şi $e = 3{,}1 \times 10^{-10}$ „ „ „ „ „ negativ.

In alte determinări el obţinu valorile $2{,}4 \times 10^{-10}$ şi $2{,}9 \times 10^{-10}$. Ţinînd samă de erori, el fixă valoarea lui $e = 3 \times 10^{-10}$, în acord *suficient* de bun cu valoarea dedusă cu ajutorul constantei lui *Avogadro*, $4{,}77 \times 10^{-10}$.

2) *Metoda J. J. Thomson.* Importanţa chestiunei făcu pe profesorul *J. J. Thomson*, din Cambridge, să încerce determinările prin o metodă analoagă principial cu acea de mai sus a lui *Townsend*, dar diferită în unile detalii de execuţie. *Thomson* produce ionizarea aerului din spaţiul *A* prin un tub constant, care dădea raze X.

La firele *a b* punea o forţă electromotrice cunoscută *E*, căreia ii corespundea un curent electric în spaţiul *A*, între suprafaţa apei *c* şi placa de Al *d*. *Thomson* studiase în prealabil repegiunile ionilor şi determinase valorile lor *u* şi *v* sub acţiunea diferenţii de potenţial E = 1 volt (pag. 20). Dacă *n* e numărul

ionilor pozitivi pe cmc., tot n este şi al celor negativi şi intensitatea curentului pe cmc. de suprafaţă este

$$I = n\ e\ (u + v)\frac{E}{l}$$

unde l este distanţa cd. Se măsura I, E şi l şi cunoscînd u şi v

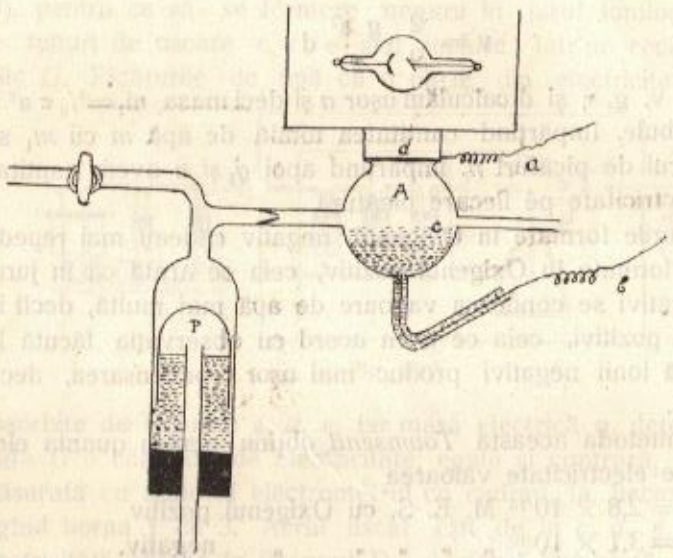


Fig. 21.

se putea calcula cantitatea ne de electricitate din cmc. produsă prin acţiunea razelor X. Pentru a determina numărul ionilor n, *Thomson* provoca condensarea vaporilor de apă pe ioni; în acest scop producea, cu ajutorul pistonului P, o detentă bruscă, dînd pistonul în jos. Urma o scădere de temperatură pe care o calcula; calcula apoi cîtă vapoare de apă trebuia să fie pe cmc. la temperatura mai rîdicată şi cît la cea scăzută şi afla, din diferenţa lor, cantitatea de vapori de apă condensaţi sub formă de negură în spaţiul A pe *ioni*, în urma detentei.

Ca şi *Townsend*, el măsura repegiunea de scoborîre a picăturilor şi prin aplicarea legei lui *Stokes*, determina raza şi deci masa unei picături. Dar atunci putea şti numărul picăturilor n. El găsi astfel (1898)

$$e = 5{,}5 \times 10^{-10} \text{ şi } e = 8{,}4 \times 10^{-10}$$

In 1903 repetînd experienţele, provocînd ionizarea prin *Ra*, găsi

$$e = 3{,}4 \times 10^{-10}$$

3) Metoda *H. A. Wilson* [1]). Experienţele fură făcute ca şi a lui *Townsend* şi *Thomson*, tot în laboratorul *Cavendish* din *Cambridge*. In spaţiul A el pune 2 discuri de alamă distanţate de 4—10 mm. şi de diametru 3,5 mm. Aceste discuri puteau fi supuse unei diferinţi de potenţial de 2000 volţi. Prin o detentă bruscă potrivită el formă negura *numai pe ionii negativi* (pag. 19). Măsura repegiunea v_1 de cădere a negurei de la discul superior la cel inferior, în absenţă de cîmp electric; adăoga apoi cîmpul electric F aşa ca acum particula să cadă sub acţiunea puterii mg + Fe; repegiunea de cădere este v_2; avem

$$\frac{mg}{mg + Fe} = \frac{v_1}{v_2}$$

în cari necunoscute sînt numai m şi e.

Cu ajutorul legii lui *Stokes*, determina pe m şi avea aşa valoarea lui e. Valorile a 11 determinări erau cuprinse între $e = 2 \times 10^{-10}$ şi $4{,}4 \times 10^{-10}$.

Millikan repetă în 1906 experienţele prin metoda lui *Wilson* şi obţinu rezultate mai concordante, 10 determinări între $e = 3{,}66 \times 10^{-10}$ şi $4{,}37 \times 10^{-10}$.

4) *Metoda Millikan* [2]). *Picătura echilibrată*. Metodelor precedente li s'au adus obiecţiunile:

a) că picaturile din nour nu-s omogene,

b) că raza unei picături poate să scadă, din cauză că apa este volatilă.

Pentru a evita erorile cari ar proveni din cauza condiţiunilor arătate mai sus. *Millikan* operează cu o picătură izolată, formată dintr'o substanţă *nevolatilă*, cum ar fi mercurul ori un oloiu.

Millikan observă cîteva picături introduse într'o cameră cu pereţi laterali de sticlă; plăcile, înferioară şi superioară, sînt metalice şi pot fi supuse la diferenţă de potenţial cunoscute. Picăturile sînt observate cu o lunetă, ele apar ca puncte strălucitoare pe fond negru. Aerul era ionizat cu ajutorul razelor X. Făcînd să lucreze cîmpul electric în senz contrar gravitaţiei se putea urmări cîteva oare aceiaşi picătură, făcînd-o să se ridice prin o valoare potrivită a cîmpului electric, ori să se scoboare prin suprimarea acestui cîmp. Repegiunea de cădere sub acţiunea nu-

1) *Millikan*, l'Electron, pag. 63.
2) Detalii vezi *Millikan*, l'Electron, pag. 67—216 (1926).

mai a gravitaţiei era constantă, ceia ce dovedea că raza picăturei nu varia. De asemenea repegiunea era constantă, cînd la acţiunea gravitaţiei se adăoga acea a cîmpului electric. Variaţii de repegiune sub acţiunea cîmpului constant, au loc numai cînd picătura electrizată întîlneşte în drum un *ion* pozitiv ori negativ care-i dă o masă pozitivă sau negativă.

In acest caz repegiunea sufere o variaţie bruscă.

Am văzut, că dacă sub acţiunea puterei mg, repegiunea de cădere este v_1 şi dacă ea este v_2 sub acţiunea gravitaţiei şi a cîmpului electric, avem

$$\frac{mg}{mg + Fe} = \frac{v_1}{v_2}$$

ceia ce conduce la

$$e = \frac{mg}{F} \cdot \frac{v_2 - v_1}{v_1}$$

Dacă prin întîlnirea picăturei cu un ion masa electrică a acestei picături creşte cu o cantitate E, avem

$$e + E = \frac{mg}{F} \cdot \frac{v'_2 - v_1}{v_1}$$

de unde

$$E = \frac{mg}{F} \cdot \frac{v'_2 - v_2}{v_1}$$

Millikan a constatat că masele electrice depuse pe picătură sînt totdeauna un multiplu a unei mase elementare, a cărei valoare el a fixat-o pentru totdeauna la

$$4{,}774 \times 10^{-10} \text{ U. E. S.}$$

de unde rezultă pentru constanta lui Avogadso valoarea

$$N = 6{,}062 \times 10^{23}$$

Nota 3

O particulă catodică în mişcare este deviată de un cîmp magnetic, conform legilor Electrodinamicei In adivăr, un curent electric de lungimea dl şi de intensitate electromagnetică i, produce într'un punct A în care este masa magnetică μ, un cîmp magnetic, dat de expresiunea

$$df = \frac{i\ dl.\ \text{Sin}\ \varphi\ \mu}{r^2} \qquad (1)$$

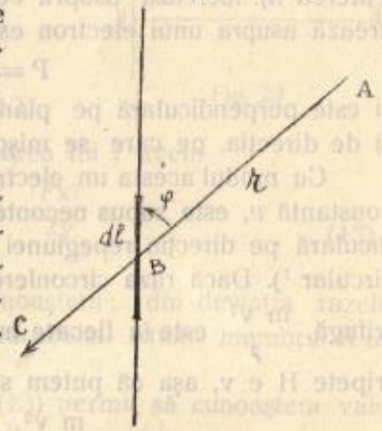


Fig. 22.

Puterea df este perpendiculară planului format de linia dl şi de punctul A. Potrivit legii a treia a mecanicei, la acţiunea df avem în punctul B o reacţiune de mărime df datorită cîmpului magnetic

$$H = \frac{\mu}{r^2} \qquad (2)$$

format de masa magnetică μ. Numai, direcţiunea lui df din A este contrară aceleia a lui df din B. Vom scri atunci

$$df = i.\ dl.\ \text{Sin}\ \varphi\ H.$$

Cîmpul magnetic în B are direcţia $B\,C$ şi el formează unghiul φ cu direcţia curentului. Cînd $\varphi = 90^0$, avem

$$df = i.\ dl.\ H \qquad (3)$$

Să ne închipuim curentul linear format din particule catodice; pe lungimea dl se găsesc n electroni, cari merg unul după altul, străbătînd distanţa dl în timpul dt; repegiunea unui electron este atunci

$$v = \frac{dl}{dt} \qquad (4)$$

Pe lungimea 1 avem $\frac{n}{dl}$ electroni, iar pe lungimea v avem

$$\frac{n}{dl}\frac{dl}{dt} = \frac{n}{dt} \text{ electroni.} \qquad (5)$$

Aceşti $\frac{n}{dt}$ electroni trec prin o secţiune într'o secundă; dacă masa electrică a unui electron este e, intensitatea curentului este

$$i = \frac{ne}{dt} \qquad (6)$$

şi expresiunea (3) devine

$$df = ne\frac{dl}{dt}H = n\,e\,v\,H \qquad (7)$$

Puterea df lucrează asupra celor n electroni; puterea care lucrează asupra unui electron este atunci

$$P = e\,v\,H$$

şi este perpendiculară pe planul format de cîmpul magnetic H şi de direcţia, pe care se mişcă electronul.

Cu modul acesta un electron de masa m, avînd repegiunea constantă v, este supus necontenit la o putere constantă, perpendiculară pe direcţia repegiunei; masa m va urma atunci un drum circular [1]). Dacă raza circonferenţei acesteia este ρ, puterea centrifugă, $\frac{m\,v^2}{\rho}$ este în fiecare moment egală şi contrară celei centripete H e v, aşa că putem scri

$$\frac{m\,v^2}{\rho} = H\,e\,v \qquad (8)$$

ceia ce conduce la

$$\frac{v}{\frac{e}{m}} = H\,\rho \qquad (9)$$

Raportul dintre v şi $\frac{e}{m}$ este deci cunoscut, căci cunoaştem pe H şi putem determina ρ pe cale experimentală.

Să supunem razele catodice unui cîmp electric E; fiecare electron este supus atunci unei puteri Fe, pe direcţia cîmpului electrostatic; admitem cîmpul electrostatic uniform; liniile de forţă sînt paralele şi puterea Fe este o putere constantă şi ca

1) Vezi *P. Bogdan*, Lecţii de fizică experimentală, pag. 22, 57 (1921).

mărime şi ca direcţie. Sub acţiunea puterei Fe electronul va avea o mişcare uniform variată, a cărei acceleraţie γ este dată de relaţia

$$\gamma m = Fe \qquad (10)$$

Dacă repegiunea v este perpendiculară pe direcţia puterilor Fe, mişcarea rezultantă va fi o parabolă [1]) ca în cazul unui proectil aruncat orizontal şi supus influenţei gravitaţiei.

Sub acţiunea repegiunii v am avea

$$x = vt \qquad (11)$$

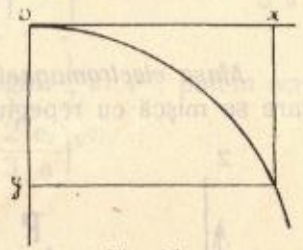


Fig. 23

In acelaş timp sub acţiunea acceleraţiei

$$\gamma = \frac{Fe}{m}$$

am avea

$$y = \frac{\gamma}{2}t^2 = \frac{Fe}{2m}t^2 \qquad (12)$$

Din (11) şi (12) prin eliminarea lui t avem

$$\frac{v^2}{\frac{e}{m}} = \frac{Fx^2}{2y} \qquad (13)$$

Puterea electrostică F o cunoaştem; din deviaţia razelor catodice putem afla elementele parabolei. Atunci membrul II din (13) este cunoscut.

Cum vedem relaţiile (9) şi (13) permit să cunoaştem valorile numerice A şi B ale raporturilor

$$\frac{v}{\frac{e}{m}} = \text{şi } \frac{v^2}{\frac{e}{m}} = B \qquad (14)$$

Relaţiile (14) dau pe de o parte valoarea

$$v = \frac{B}{A} \qquad (15)$$

iar pe de alta

$$\frac{e}{m} = \frac{B}{A^2} \qquad (16)$$

1) P. Bogdan, Fisica experimentală pag. 21 şi 41.
Este cazul compunerei unei mişcări uniforme cu alta uniform variată, perpendiculară pe cea dintîi.

Nota 4

Masa electromagnetică a unui electron sferic de rază a şi care se mişcă cu repegiunea v, se poate uşor calcula. Direcţia lui v o luăm ca axă de z, utilizînd două direcţii perpendiculare ca axe de x şi y. Fie r distanţa unui punct P la originea O şi să notăm cu Θ, unghiul format de direcţia r cu axa z. Masa electrică e în mişcare determină în P un cîmp magnetic, pe care îl notăm cu H; masa e este distribuită uniform pe sfera de rază a.

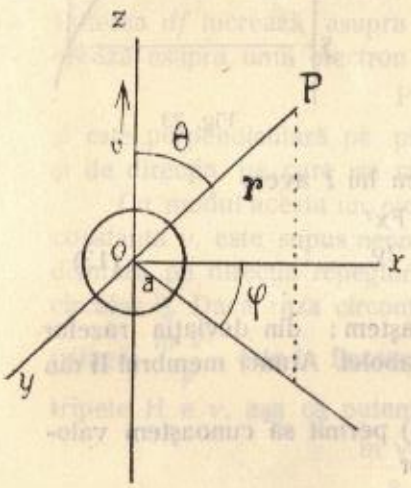


Fig. 24.

Energia pe cm³ este [1])

$$E = \frac{H^2}{8\pi} \qquad (1)$$

Cîmpul magnetic [2]) în P este dat de

$$H = \frac{e\,v}{r^2}\,\mathrm{Sin}\,\Theta \qquad (2)$$

Energia E pe cm³ are deci valoarea

$$E = \frac{e^2 v^2}{r^4}\,\frac{\mathrm{Sin}^2\Theta}{8\pi} \qquad (3)$$

La extremitatea razei r considerăm un volum mic de dimensiunile dr, rdΘ şi r Sin Θ d φ

φ reprezentînd unghiul ce-l face planul format din r şi z cu planul $x\,z$; volumul mic $d\tau$ are ca expresiune

$$d\tau = \mathrm{dr}.\ \mathrm{rd}\Theta.\ \mathrm{r\ Sin}\ \Theta\ \mathrm{d}\varphi$$

1) Grimsehl, Physik, vol. II pag. 77/78.
2) „ „ „ „ „ 438.

şi energia din acest volum este

$$E\,d\tau$$

Energia totală a particulei în mişcare va fi obţinută calculînd integrala

$$\int E\,d\tau = \frac{e^2 v^2}{8\pi}\int \frac{\mathrm{Sin}^2\Theta}{\tau^4}\,d\tau = \frac{e^2 v^2}{8\pi}\int_a^\infty \frac{dr}{r^2}\int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^\pi \mathrm{Sin}^3\Theta\,d\Theta = \frac{e^2 v^2}{3\,a}$$

De oarece particula în mişcare are energia $\frac{1}{2}\,m\,v^2$, putem scri

$$\frac{1}{2}\,m\,v^2 = \frac{e^2 v^2}{3\,a} = \frac{1}{2}\left(\frac{2}{3}\,\frac{e_2}{a}\right)v^2$$

de unde

$$m = \frac{2}{3}\,\frac{e^2}{a} \qquad (4)$$

Punînd

$$e = 1{,}591 \times 10^{-20}\ \text{U. E. M.}$$

şi $$\frac{e}{m} = 1{,}767 \times 10^{7}\ \text{U. E. M.}$$

avem

$$a = 1{,}9 \times 10^{-13}\ \text{cm.}$$

Integrarea aşa cum am făcut-o este corectă, atîta vreme, cît energia este distribuită uniform în jurul electronului sferic în mişcare. Aceasta se întîmplă cînd v este mic. Indată ce v este mare (cu valoarea mai mare decît $\frac{1}{10}$ din repegiunea luminei), distribuirea energiei în jurul masei electrice în mişcare nu mai este uniformă şi pentru acest caz avem altă expresiune a masei. Expresiunea

$$m_o = \frac{2}{3}\,\frac{e^2}{a} \qquad (5)$$

reprezintă ceia ce noi am numit masa în repaos. Ştim că teoria relativităţii, redă variaţia masei m cu repegiunea v prin formula

$$m = \frac{m_o}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

c fiind repegiunea luminei. Demonstraţia precedentă am dat-o după *Millikan*, l'électron, pag. 328 (1926). Vezi şi *Boutaric*, car-

tea citată, pag. 182 şi următoarele (1927). Dacă aplicăm relaţia (5) la atomul pozitiv şi anume punînd masa lui, ca la ionul de Hidrogen, cam de 2000 de ori mai mare decît a electronului, vom avea pentru

$$a = \frac{2}{3}\frac{v^2}{m^2}$$

o valoare de 2000 de ori mai mică decît raza electronului negativ.

Nota 5

Să ne închipuim un atom, al cărui nucleu conţine N quante pozitive libere; quanta de electricitate fiind e, avem în nucleu cantitatea de electricitate pozitivă Ne; pe o particulă α avem, cum ştim, cantitatea de electricitate pozitivă $E = 2e$. Fie $\frac{1}{2} m v^2$ energia cinetică a particulei α, care se apropie de atom; se execută aşa lucrare mecanică, contra forţelor de repulsiune şi forţa vie a particulei α scade necontenit. Dacă particula α ar tinde să

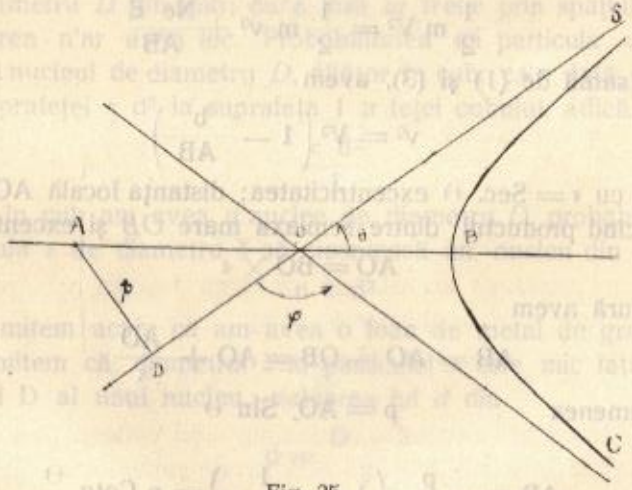


Fig. 25.

lovească *central* atomul, ea se va apropia, pînă la o distanţă b, cînd forţa vie ar deveni zero şi apoi ar fi respinsă pe linia centrelor. La distanţa b de centrul atomului, forţa vie a particulei α este zero; în schimbul acesteia particula are energie potenţială a cărei valoare este

$$\frac{Ne\ E}{b} = \frac{1}{2} m\ v^2 \qquad (1)$$

De oarece masele electronilor sînt mici, în comparaţie cu a unei particule α, *Rutherford* admite că în această *ciocnire* centrică, joacă rol numai masele particulei α şi a nucleului. Să ne închipuim că ciocnirea nu-i centrică.

In A ne închipuim nucleul atomului; particula α are direcţia *SO;* ea este derivată şi descrie hiperbola *SBC;* linia *OB* este diametru, iar *SO* şi *OC* sînt asimptote la hiperbolă. Notăm cu φ şi θ unghiurile arătate în figură. Scoborîm perpendiculara *AD* pe *SD* şi notăm distanţa *AD* cu *p;* acest *p* reprezintă distanţa cea mai scurtă la care s'ar găsi particule α, de nucleul din A, dacă particula α n'ar fi deviată. Particula α vine de la infinit cu forţa vie $^1/_2\, m\, V^2$; executînd lucrare mecanică contra forţei de repulsiune, forţa vie a ei scade şi în *B* are numai forţa vie $^1/_2\, m\, v^2$.

Aplicînd principiul conservării momentului cantităţii de mişcare, în raport cu punctul A, avem

$$p\, V = A\, B \times v \qquad (2)$$

Principiul conservării energiei dă

$$\frac{1}{2}\, m\, V^2 = \frac{1}{2}\, m\, v^2 + \frac{Ne\ E}{AB} \qquad (3)$$

Ţinînd samă de (1) şi (3), avem

$$v^2 = V^2 \left(1 - \frac{b}{AB}\right) \qquad (4)$$

Notăm cu $\varepsilon = \text{Sec. } \theta$ excentricitatea; distanţa focală AO se obţine făcînd productul dintre semiaxa mare *OB* şi excentricitate:

$$AO = BO \times \varepsilon$$

Din figură avem

$$AB = AO + OB = AO + \frac{AO}{\varepsilon}$$

De asemenea $p = AO.\ \text{Sin } \theta$

Atunci

$$AB = \frac{p}{\text{Sin } \theta}\left(1 + \frac{1}{\text{Sec. } \theta}\right) = p\ \text{Cotg } \frac{\theta}{2}$$

Din (2) şi (3) obţinem

$$p^2 = AB\ (AB - b) = p\ \text{Ctg } \frac{\theta}{2}\left(p\ \text{Ctg } \frac{\theta}{2} - b\right)$$

Ceia ce conduce în definitiv la

$$\text{Cotg } \theta = \frac{b}{2\ p} \qquad (5)$$

Din figură se vede că unghiul φ, care reprezintă deviaţia particulei, este legat de θ prin relaţia

$$\pi = \varphi + 2\ \theta$$

ceia ce transformă expresia (5) în

$$p = \frac{b}{2}\ \text{Cotg. } \frac{\varphi}{2} \qquad (6)$$

Dezvoltarea calculelor lui *Rutherford* poate fi urmărită în chipul următor.

Intr'un volum egal cu un cmc, ni închipuim o particulă de diametru *D*, ciocnită de alta de diametru δ; în momentul ciocnirei, cele două particule au o *rază* mijlocie $d = \frac{D + \delta}{2}$. Sfera cu această rază proectată pe o faţă a cubului dă o suprafaţă egală cu

$$\pi\ d^2$$

Particula de diametru δ, care ar cădea perpendicular pe o faţă a cubului şi ar trece prin suprafaţa $\pi\ d^2$, ar lovi sigur pe cea de diametru *D* din cub; dacă însă ar trece prin spaţiul $1 - \pi\ d^2$ ciocnirea n'ar avea loc. Probabilitatea ca particula α să ciocniască nucleul de diametru *D*, aflător în cub, este dată de raportul suprafeţei $\pi\ d^2$ la suprafaţa 1 a feţei cubului, adică de

$$\frac{\pi\ d^2}{1}$$

Dacă în cub am avea *n* nuclee de diametru *D*, probabilitatea ca particula α de diametru δ să ciocniască un nucleu din cub ar fi

$$n\ \pi\ d^2 \qquad (7)$$

Să admitem acum că am avea o foae de metal de grosimea *l;* să admitem că diametrul δ al particulei α este mic faţă de diametrul D al unui nucleu; valoarea lui *d* din

$$d = \frac{D + \delta}{2}$$

se reduce atunci la $d = \frac{D}{2} = R =$ raza nucleului. In foaea de grosimea *l* şi de bază 1 cmp, avem atunci *nl* nuclee, deci *nl* suprafeţe $\pi\ R^2$ aşa că în expresiunea probabilităţii (7) trebue să punem $d = R$ şi avem ca valoare a probabilităţii

$$M = nl\ \pi\ R^2 \qquad (8)$$

In ciocnire particula α trece în apropierea nucleului la distanţa

R; raţionînd ca mai sus, avem pentru probabilitatea ca molecula să treacă la distanţa p de centrul nucleului expresiunea

$$m = \pi\, p^2\, n l \qquad (9)$$

Asta însmnă, că dacă pe cm² de foae metalică cad q particule α, fracţia m din acest număr q vor ajunge la distanţa p de nucleul unui atom.

Dacă am considera şi fracţia din particulele α, cari trec la distanţa $p + dp$ de nucleu şi sînt deviate, vom avea o expresisiune analoagă cu (9). Atunci fracţia de particule α cari ar trece între distanţele p şi $p + pd$ este obţinută, diferenţiind expresiunea (9), ceia ce dă

$$d\,m = 2\, p\, \pi\, n\, l.\, dp \qquad (10)$$

Valoarea lui dp o aflăm din (6)

$$dp = -\frac{b}{4}\,\frac{d\,\varphi}{\mathrm{Sin}^2\frac{\varphi}{2}} \qquad (11)$$

Din (10) şi (11) şi (6) obţinem

$$dm = -\pi\, n\, l\,\frac{b^2}{4}\,\mathrm{Ctg}\frac{\varphi}{2}\,\frac{d\,\varphi}{\mathrm{Sin}^2\frac{\varphi}{2}} \qquad (12)$$

ceia ce se scrie

$$dm = +\frac{\pi\, n\, l\, b^2}{2}\,\mathrm{Ctg}\,\frac{\varphi}{2}\, d\,\mathrm{Ctg}\,\frac{\varphi}{2}$$

sau

$$dm = \frac{\pi\, n\, l\, b^2}{4}\, d\,\mathrm{Ctg}^2\,\frac{\varphi}{2} \qquad (13)$$

Integrată, expresiunea aceasta dă valoarea fracţiei m a particulelor deviate între unghiurile φ_1 şi φ_2

$$m = \frac{\pi\, n\, l\, b^2}{4}\left(\mathrm{Ctg}^2\,\frac{\varphi_1}{2} - \mathrm{Ctg}^2\,\frac{\varphi}{2}\right) \qquad (14)$$

Geiger şi *Marsden* numărau particulele cari cădeau pe cm² de foae metalică; în acest scop se serveau de spintariscop. Apoi tot cu ajutorul spintariscopului, ei numărau particulele cuprinse între unghiurile φ_1 şi φ_2. In relaţia (14) cunoaştem atunci φ_1, φ_2 n, l şi m; se determină aşa valoarea lui b.

S'a constatat că b era mare pentru cazul atomilor de pond atomic mare şi mic pentru metalele cu pond atomic mic. Pentru aur am văzut că *Rutherford* a găsit

$$b = 3{,}4 \times 10^{-12}\ \mathrm{cm}.$$

ceia ce însamnă, că raza nucleului de *Aur* este mai mică decît această valoare.

Determinînd valoarea lui b, se poate obţinea cu ajutorul expresiunii (1) valoarea lui N şi în felul acesta au determinat *Geiger* şi *Marsden* numărul maselor pozitive libere din nucleu. De acelaş procedeu s'a servit şi *Chadwick*.

Detaliile demonstraţiei din nota aceasta au fost luate din *l'Electron*, *Millikan*, pag. 331.

Cărți consultate cu ocazia redactării acestui volum

M-me Curie, Traité de Radioactivité.
W. Nernst, Theoretische Ckemie (1926).
V. Kossel, Valenzkräfte und Roentgenspektren (1924).
R, A. Millikan, L'Electron, traducere Lepape (1926).
Grimsehl, Lehrbuch der Physik, 2 vol. (1920).
Chappuis, Berget, Physique, 3 vol.
Karl A. Hofmann, Lehrbuch der anorg. Chemie (1924).
Fr. Soddy, Le Radium, traducere Lepape (1920).
M. A. Boutaric, La physique moderne et l'Electron (1927).
M. Centnerszwer, Das Radium und die Radioaktivltät (1920).
Niels Bohr, Ueber den Bau der Atome (1925).
Alfred Stok, Ultrastrukturchemie, (1920).
K. Fajans, Radioaktivität (1922).
Otto Sackur, Thermochemie und Thermodynamik (1912).
Dr. R. Lotze, Iahreszahlen der Erdgeschichte (1922).
Fréd Swarts, Cours de Chimie inorganique (1926).
A. F. Holleman, Lehrbuch der anorg. Chemie (1921).
N. D. Costeanu, Tratat de Chimie neorganică.
W. Bein, Das chemische Element.
Maurice Curie, Le Radium et les Radio-éléments (1925).

TABLA DE MATERII

Pag.

Inroducere. Ideile dominante în diferitele timpuri cu privire la compoziţia materiei. Teoria unităţii şi acea a discontinuităţii. Starea cunoştinţelor la sfîrşitul veacului al 19-lea . . . . . 1— 12

Cap. I. *Originea radiaţiilor.* Curenţi de convecţiune. Efecte *Zeeman* şi *Stark* . . . . . 14— 17

Cap. II. *Ionizarea gazurilor.* Discărcări electrice în gazuri. Raze catodice, raze X, raze anodice. Natura razelor X. Spectroscopia cu raze X. Serii K, L, M. Legea lui *Moseley.* Numere de ordine. Sistemul periodic al elementelor, bazat pe numerile de ordine. Concluzii cu privire la structura unitară a materiei . 18— 42

Cap. III. *Radioactivitate.* Istoric. O nouă metodă de cercetare. Radium . . . . . 43— 52

Cap. IV. Natura radiaţiilor emise de Radium. Experienţe *Rutherford, Kaufman.* Particule α şi *He.* Metode pentru a face vizibile razele α. *Ceasornic cu Radium* a lui *Strutt* . . . . . 53— 59

Cap. V. Productele de transformare ale Radiului. Emanaţia . . . . . 60— 63

Cap. VI. Teoria transformărilor radioactive. Viaţă mijlocie, perioadă, parcurs. Echilibru radioactiv. Seria Uraniului, Seria Actiniului, Seria Thoriului . . 64— 76

Cap. VII. Proprietăţile chimice ale substanţelor radioactive. Aşezarea lor în sistemul periodic. Isotopia. Regula de deplasare. Cercetarea isotopilor. Metoda *Aston.* Metoda *Hevesy-Brönsted* . . . . . 77— 91

Cap. VIII. Structura atomilor. Modelul *Rutherford-Bohr.* Atomul de H. Molecula de Hidrogen. Atomul de He. Atomii la celelalte elemente. Ideile lui *Kossel.* 92—118

Pag.

Cap. IX. Consecinţe de ordin chimic. Dezvoltările lui *Kossel*. Acţiuni heteropolare şi hemeopolare . . 119—125

Cap. X. Compoziţia atomilor. Discompunerea artificială a atomilor. Ponderi atomice. Stabilitatea elementelor. 126—134

Cap. XI. Aplicaţii. I. Proprietăţile isotopilor. Intrebuinţarea lor la determinări de solubilităţi, la prepararea Bi H_n, la studiul substanţelor antrenate de precipitate, etc. II. Acţiuni biologice ale substanţelor radioactive. III. Concluzii cari interesază Geologia 135—148

Anexe. **Nota 1.** Energia are masă. Formula lui *Einstein*. 149—154

Nota 2. Determinarea quantei de electricitate. *Townsend, J. J. Thomson, H. A. Wilson, Millikan* . . 155—160

Nota 3. Deviaţia razelor catodice în cîmp magnetic şi electric. Raportul $\frac{e}{m}$ şi valoarea repegiunei v . 161—163

Nota 4. Masa electromagnetică a unui electron sferic în mişcare. Raza electronului; raza quantei pozitive 164—166

Nota 5. Deviaţia particulelor α prin foiţi metalice. Calculul lui *Rutherford* . . . . . 167—171

Biblioteca Institutului Agronomic Iaşi