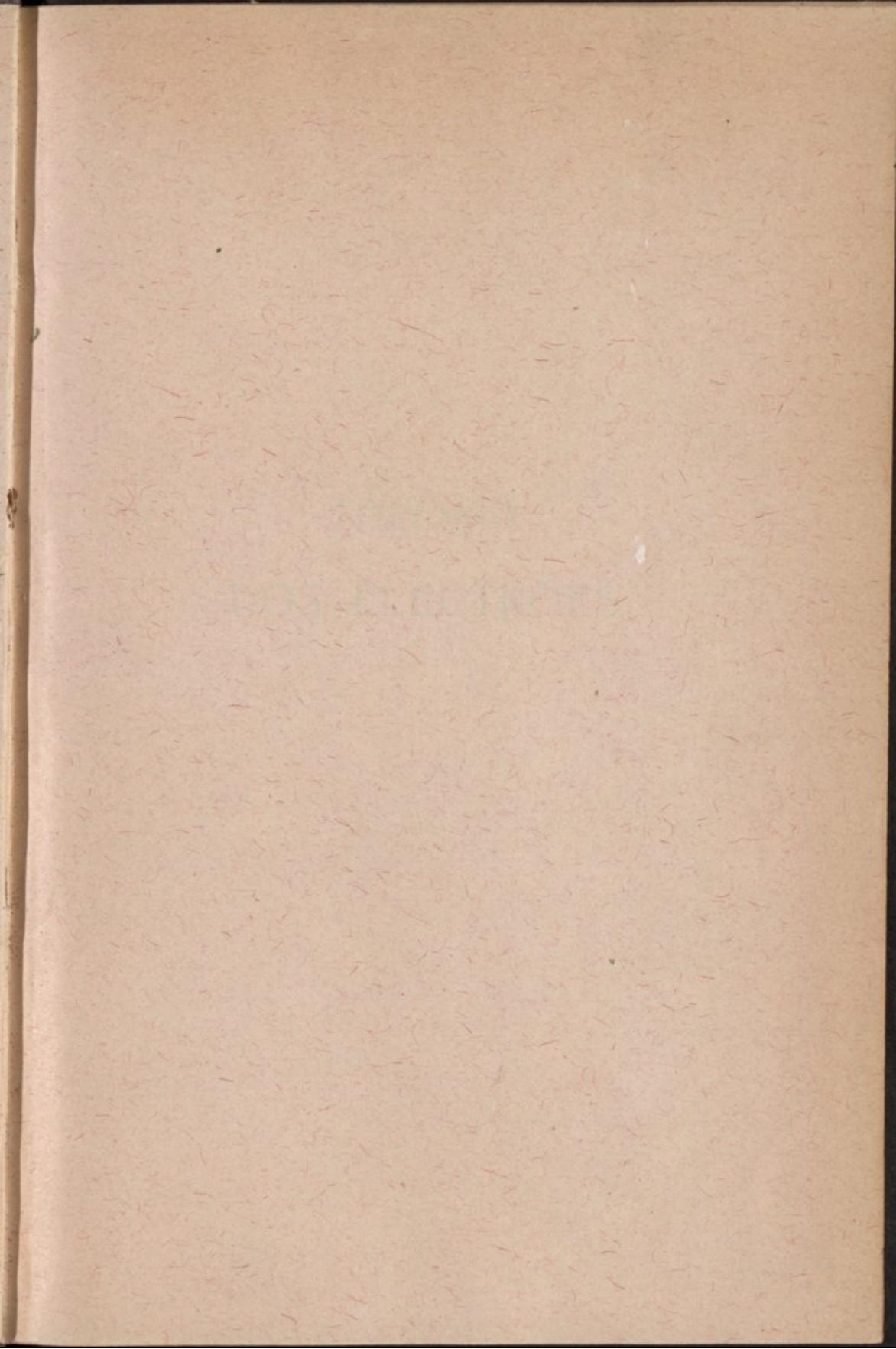
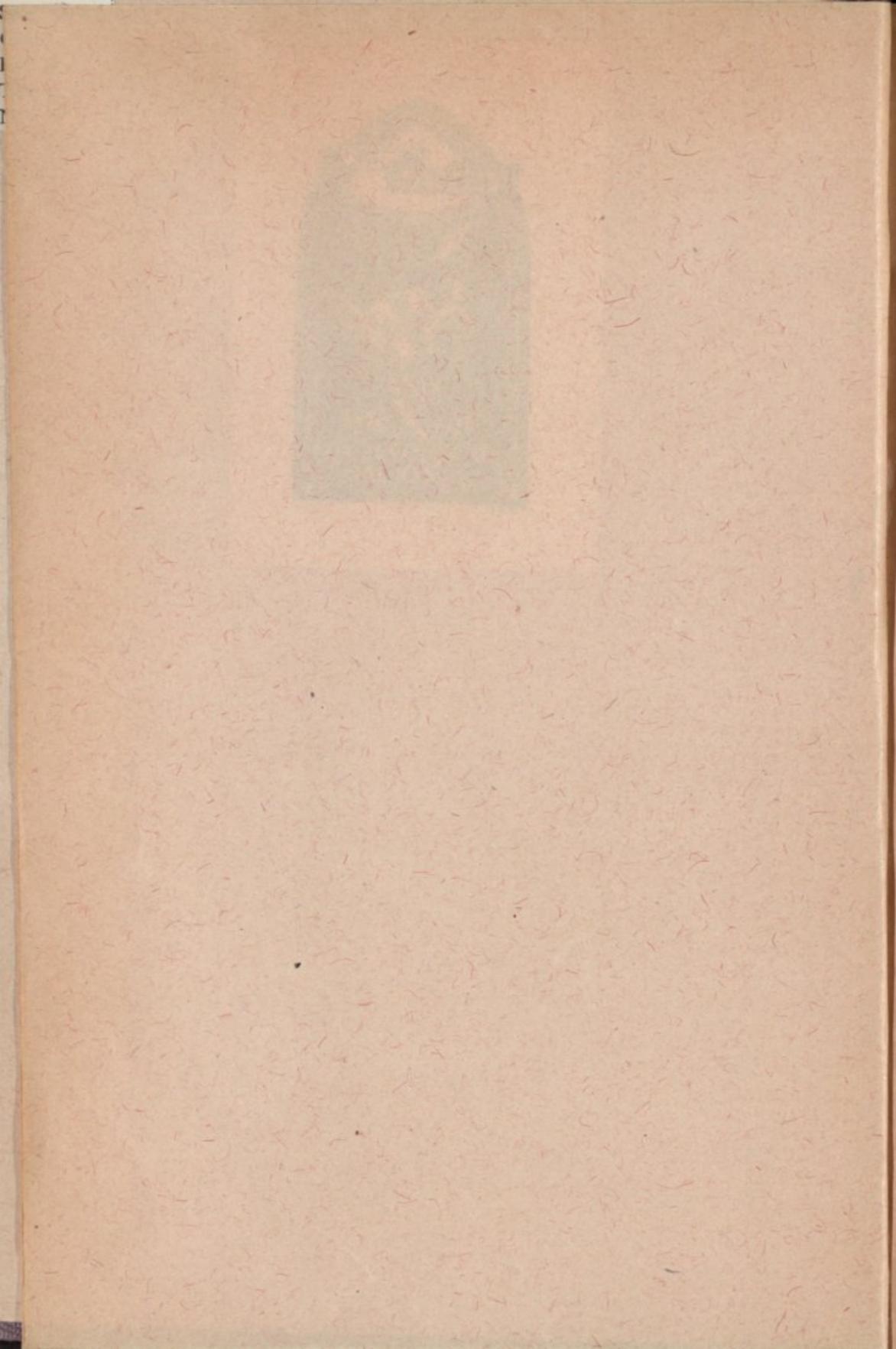


Sala 5
Gab. -
Est. 56
Tab. 20
N.º 7

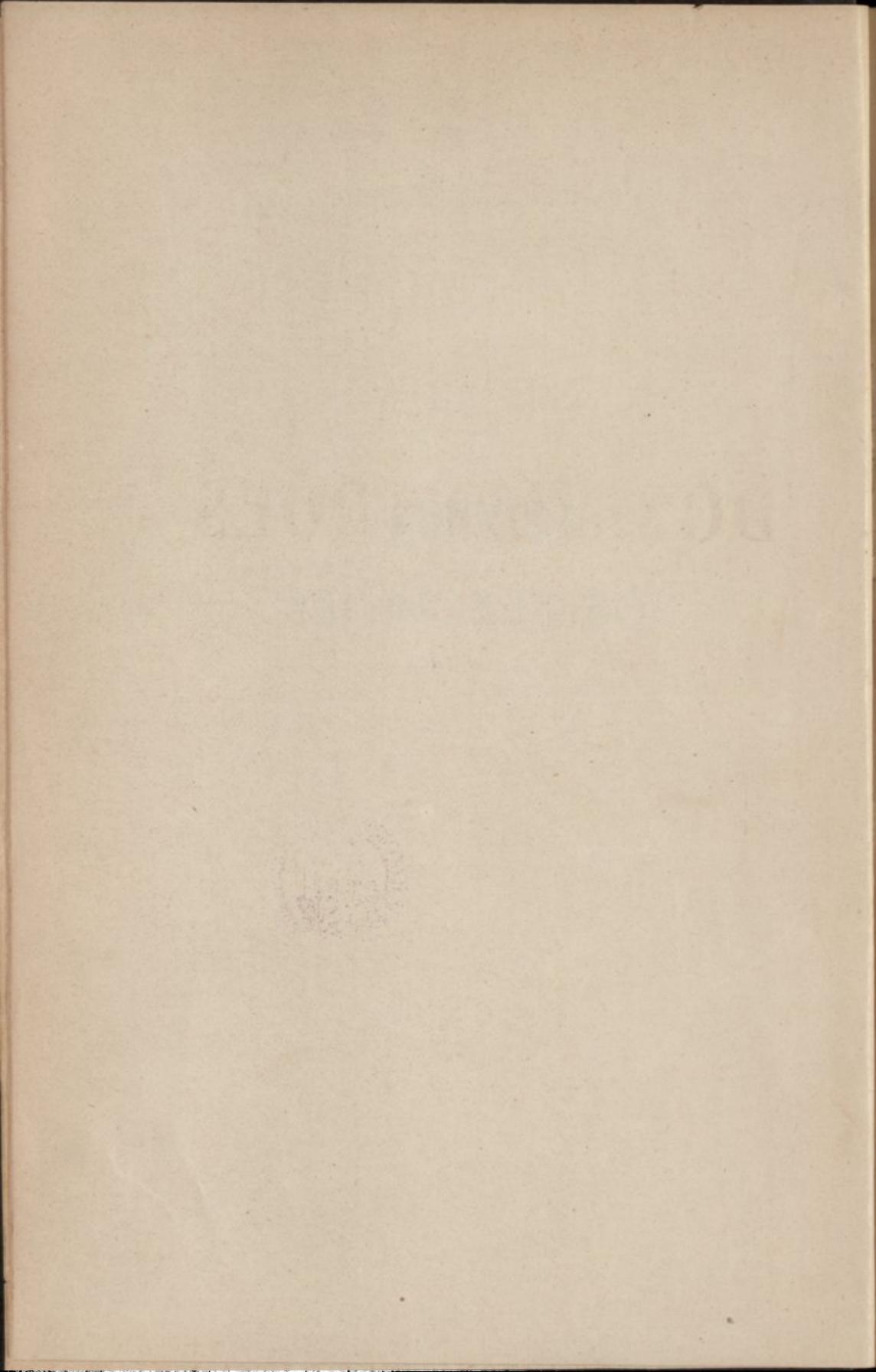
Sala 5
Gab. -
Est. 56
Tab. 20
N.º 7







THEORIÃ
DOS ELECTRÕES



EGAS FERREIRA PINTO BASTO

Doutor em Philosophia



THEORIA
DOS ELECTRÕES

(Continuação)



COIMBRA

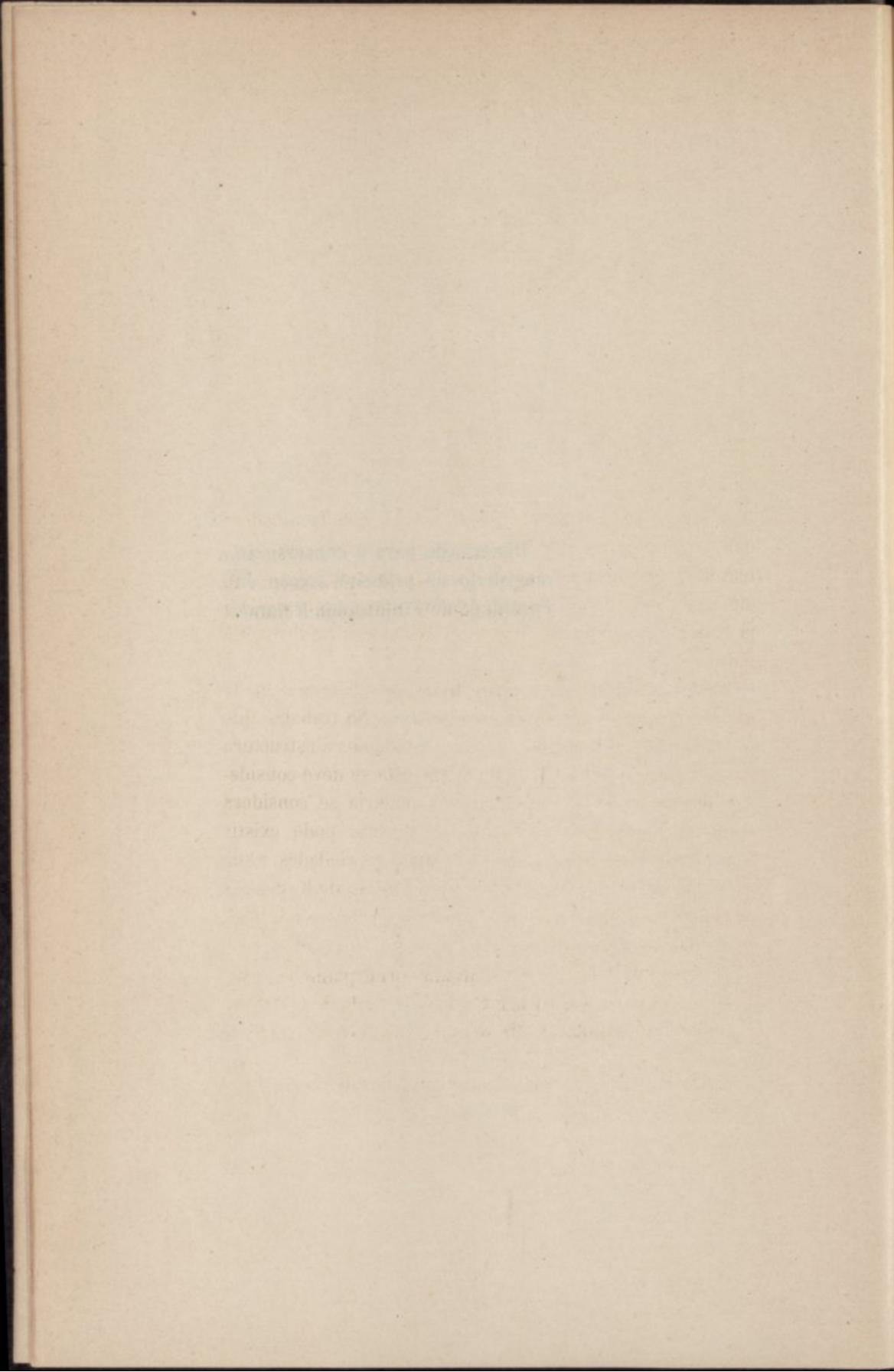
IMPRESSA DA UNIVERSIDADE

1908

THEORY
OF ELECTRODES

R. 5192

Dissertação para o concurso ao
magisterio na primeira secção da
Faculdade de Philosophia Natural.



INTRODUÇÃO

A theoria dos electrões, prestando-se com facilidade a dar um modelo do mecanismo dos phenomenos physicos, tem hoje incontestavel utilidade e importancia. Está porém ainda no seu inicio, sendo prematuro considerál-a desde já como a base segura dum novo systema de philosophia natural.

Unificando admiravelmente todos os phenomenos do mundo physico a sua extensão é enorme. No trabalho que já publicámos sobre este assumpto estudámos a estructura atomica da electricidade; vimos que esta se deve considerar formada por electrões como a materia se considera formada de atomos. Vimos que o electrão pode existir independentemente e estudámos as suas propriedades, a sua carga, inercia, etc. As celebres experiencias de KAUFMANN permitiram-nos suppor que a inercia, propriedade fundamental da materia, é de origem electro-magnetica.

No presente trabalho estudaremos principalmente a hypothese segundo a qual a materia é formada de electrões.

Sobre esta hypothese diz RIGHI ¹: «Neste novo modo de

¹ AUGUSTO RIGHI — *La moderna teoria dei fenomeni fisici*. — Terza edizione, pag. 253 e 254.

conceber a constituição dos corpos os electrões teem uma importancia fundamental; para por meio delles se explicarem um certo numero de phenomenos é necessario porém suppol-os dotados de propriedades essenciaes. É necessario admittir a existencia de electrões de duas especies, com propriedades de certo modo antagonistas, os electrões negativos e os electrões positivos; os primeiros podem existir livres, os segundos não; a separação dos electrões negativos de certos atomos, como dos atomos metallicos, faz-se mais facilmente, isto é, com menor dispendio de energia do que em outros, etc. Porém, a propriedade fundamental attribuida aos electrões consiste, na sua essencia, na sua carga electrica, que actua segundo o modo expresso nas formulas de HERTZ e MAXWELL; a nova theoria não pretende portanto explicar a causa primeira dos phenomenos electricos, sempre mysteriosa. Antigamente, partindo da existencia do ether cosmico e da materia ponderavel caracterizada pelo seu principal attributo, a inercia, procurava dar-se uma explicação mecanica de todos os phenomenos; hoje, partindo da existencia do ether e dos electrões constróe-se, por assim dizer, a materia ponderavel e procura-se entam explicar os phenomenos que ella apresenta. Pode portanto dizer-se que a theoria dos electrões é mais uma theoria da materia do que uma theoria da electricidade; hoje a electricidade é collocada

no logar da materia, sendo a essencia desta dantes tam desconhecida como hoje é a dos electrões».

Sabemos que se podem produzir electrões pelos *raios cathodicos*, pela acção da luz ultra-violete sobre as superficies metallicas pollidas negativamente carregadas, pelos metaes incandescentes e sabemos tambem que, qualquer que seja o metal ou gaz presente, obtemos sempre os mesmos electrões. Portanto, visto que electrões perfeitamente identicos podem ser obtidos á custa de agentes e materiaes diferentes e visto que a massa dum electrão é menor que a de qualquer atomo conhecido, concluimos que o electrão deve fazer parte dos atomos de substancias diferentes; todos estes atomos teem portanto uma parte commum.

Varios chimicos teem considerado a hypothese dos atomos dos elementos chimicos serem construidos de systemas mais simples.

PROUST, em 1815, lançou a idea de que os atomos dos elementos chimicos eram construidos com atomos de hydrogenio. Os pêsos de combinação de todos os elementos seriam, segundo este modo de ver, numeros inteiros, suppondo que não havia perda de pêsos quando os atomos de hydrogenio se reunissem para formar o atomo de qualquer elemento; este resultado não está de accordo com a observação.

Por este motivo DUMAS suggeriu que os atomos primor-

diaes, que pela sua reunião formavam os outros, eram mais pequenos que o atomo de hydrogenio, tendo simplesmente metade ou um quarto da massa de este.

A descoberta da lei periodica por MENDELEJEFF, que nos mostra a periodicidade das propriedades dos elementos quando dispostos por ordem crescente de pêsos atomicos, veio dar mais força á hypothese da complexa natureza do atomo.

As relações simples que existem entre os pêsos atomicos de elementos com propriedades muito semelhantes, como por exemplo, o sodio, lithio e potassio, tambem nos leva á mesma supposição.

NORMAN LOCKYER, fundado em phenomenos espectroscopicos, sustentou que os elementos eram na realidade compostos que, em circumstancias favoraveis, se dissociavam; o facto de elementos do mesmo grupo da serie periodica apresentarem espectros semelhantes e a existencia no espectro de series de riscas cujas frequencias estam ligadas por definidas relações numericas sam a favor deste modo de ver.

Os estudos recentes de WILLIAM RAMSAY sobre a degradação dos elementos e o phenomeno da radio-actividade, que tudo leva a suppor que seja devido a transformações atomicas das substancias radio-activas, sam argumentos fortes a favor da hypothese considerada.

A theoria dos electrões presta-se a dar-nos uma conce-

ção da architectura atomica que permite prever e torna possivel a explicação de todos estes factos, que originaram a tendencia, existente ha já muito tempo, para admitir a complexidade do atomo.

Os electrões serám os elementos constitutivos da architectura do atomo; as forças moleculares e atomicas serám manifestações electro-magneticas dos electrões e a gravitação poderá considerar-se como um phenomeno de igual natureza. Adoptada esta hypothese desaparece da sciencia o dogma da invariabilidade do atomo chimico.

Resta imaginar o modo como se reúnem os electrões para constituirem o atomo. O phenomeno de ZEEMANN, objecto do primeiro capitulo do nosso trabalho, é particularmente importante debaixo deste ponto de vista. Indica este phenomeno que um certo numero de electrões negativos se devem mover em orbitas fechadas em torno da restante parte do atomo. Tentativas engenhosissimas para chegar a conceber a estructura do atomo foram feitas, primeiro physico japonéz NAGAOKA e, principalmente, pelo physico inglez J. J. THOMSON.

Este problema, cuja resolução durante muito tempo ainda apresentará grandes difficuldades, acha-se hoje bem encaminhado. Póde dizer-se que a maior parte do que ha hoje feito sobre o assumpto se deve ao extraordinario engenho de J. J. THOMSON. Os seus trabalhos acham-se

condensados nos livros *Electricity and matter* e *The corpuscular theory of matter* donde extraímos o que dizemos nos capitulos que dedicamos á exposição do seu modo de ver.

Estudámos no trabalho que já publicámos sobre a *theoria dos electrões* a conducção da electricidade atravez dos liquidos e gazes.

Nada dissemos sobre a conducção da electricidade atravez dos solidos, porque o seu estudo nos pareceu mais logico depois de fallarmos da constituição do atomo.

Completando o estudo da conducção da electricidade, dedicamos agora um capitulo a esse assumpto. Varios physicos se teem occupado delle, principalmente RIECKE, DRUDE, LORENTZ e THOMSON. Apresentamos muito resumidamente as theorias propostas que, não resolvendo completamente o problema, nos dam uma solução approximada.

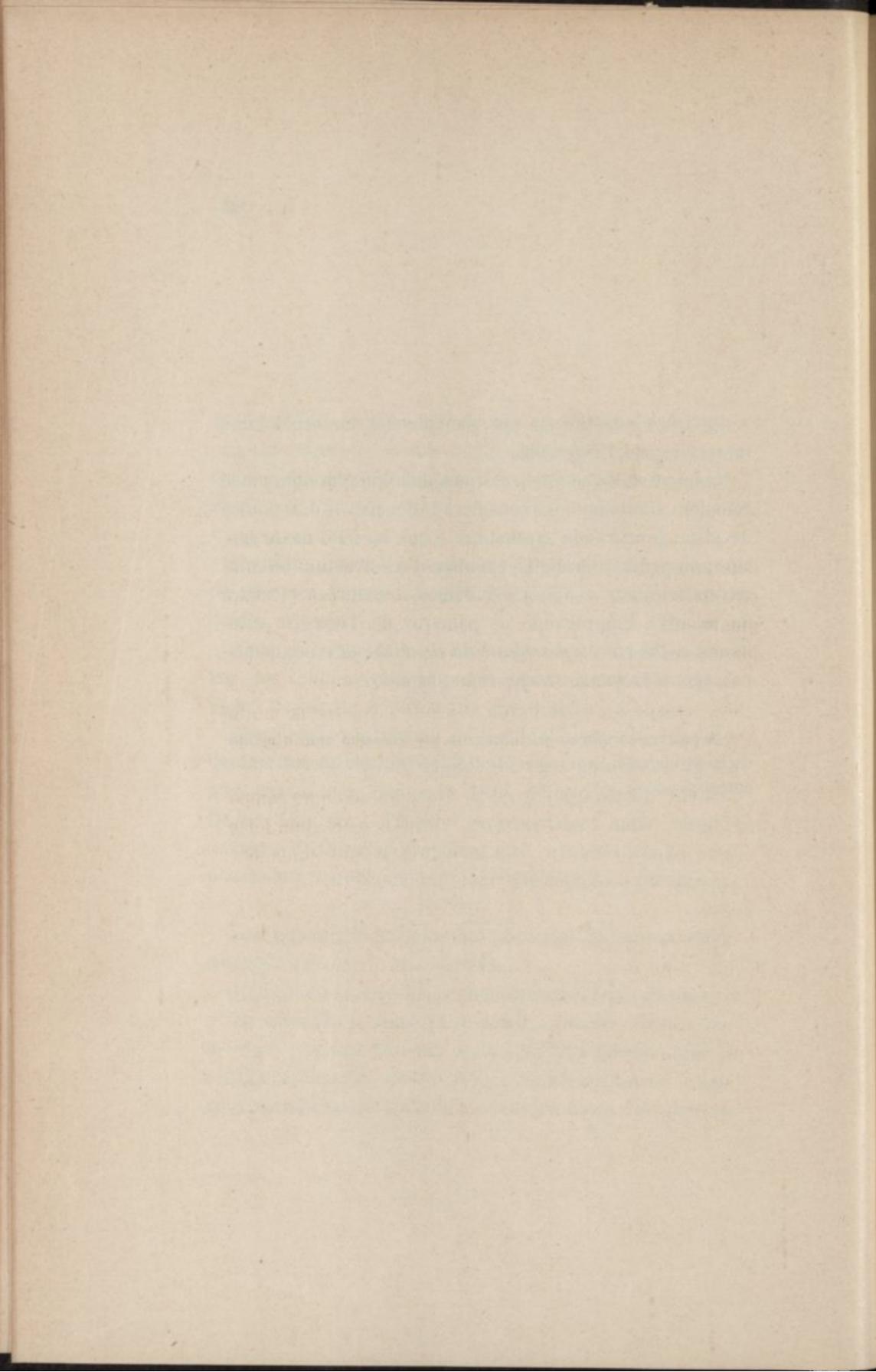
Com o presente trabalho ficamos longe de fazer o estudo completo da *theoria dos electrões*.

Applicando-se a todos os phenomenos do mundo physico a sua extensão é, como já dissemos, enorme. Grande numero de physicos se teem occupado desta theoria, hoje já consideravelmente desenvolvida; constantemente estam apparecendo novos trabalhos e fazendo novas descobertas.

A applicação da theoria aos phenomenos metereologicos merece especial referencia.

Na impossibilidade de tratarmos do assumpto dum modo completo, limitámo-nos a considerá-lo debaixo de dois pontos de vista, procurando synthetisar o que ha feito nesse sentido: no primeiro trabalho estudámos a estructura atomica da electricidade e agora estudamos a natureza electrica da materia. Empregando as palavras de THOMSON: estudámos a *theoria corpuscular*¹ da electricidade e occupamos agora da *theoria corpuscular da materia*.

¹ A palavra *corpusculo* é empregada por THOMSON com a significação de electrão. Este termo não tem, porém, sido adoptado pelos outros physicos.



CAPITULO I

O phenomeno de Zeeman

Sabemos que um gaz luminoso emite radiações com um determinado periodo de vibração e que portanto o espectro da luz emittida por um gaz se reduz a um limitado numero de riscas, imagens da fenda atravez da qual se faz passar a luz para a analizar com o prisma.

Assim, por exemplo, o espectro da luz emittida pelo sodio no estado gazoso é formado por duas riscas muito proximas que, com um espectroscopio pouco potente, se confundem numa só.

ZEEMAN mostrou que se o gaz for collocado num campo magnetico intenso, por exemplo, entre os polos dum forte electro magnete, cada risca é geralmente substituida por um grupo de riscas novas.

Podemos considerar dois casos principaes: 1.º quando o raio luminoso que se considera é parallelo ás linhas de forças magneticas; 2.º quando o raio luminoso é perpendicular a estas linhas. Não nos occuparemos do caso geral, mais complicado, porque estes casos simples nos permitem chegar ao fim que temos em vista.

Supponhamos que entre os dois polos dum electro-magnete se acha vapor de cadmio, que se pode obter

fazendo passar a fuisca electrica entre dois fios deste metal. Examinando a luz que se propaga no sentido das linhas de força, dum polo para o outro, observa-se o seguinte: quando não existe o campo magnetico observa-se uma risca A; quando existe, esta risca desaparece e observam-se duas novas B e C, dum e doutro lado da posição que a primeira occupava e a egual distancia. Examinando um raio luminoso que se propaga na direcção equatorial, isto é, perpendicular ás linhas de força, nota-se que a unica risca que apparece quando não existe o campo magnetico é substituida, quando existe o campo, por tres, das quaes a do meio, equidistante das outras duas, occupa o lugar da primitiva.

Com outras riscas espectraes dam-se phenomenos identicos aos que apresenta a risca verde do cadmio. Assim, a risca D_1 do sodio transforma-se, no caso do raio luminoso ser perpendicular ás linhas de força magneticas, em quatro riscas novas e a risca D_2 origina um grupo de seis. Grupos dum maior numero de riscas teem, em outros casos, sido observados.

Trataremos agora da theoria elementar deste phenomeno, tal como ella foi primeiro apresentada por LORENTZ, para o caso simples em que uma risca, pela acção dum campo magnetico, cujas linhas de força sam perpendiculares ao raio luminoso que se considera, se transforma num grupo de tres, dispostas como vimos. Notemos que todas as riscas sam polarisadas rectilineamente, fazendo o plano de polarisação da central angulos rectos com os das marginaes; quando as linhas de força sam parallelas ao raio

luminoso desaparece a risca central e as marginaes sam circularmente polarisadas em sentidos oppostos.

Supponhamos que o systema vibratorio que origina a risca observada na ausencia do campo è uma massa electrizada e que esta vibra pela acção duma força cuja intensidade è proporcional á distancia entre ella e um ponto fixo e cuja direcção passa sempre por este ponto.

Seja o o ponto fixo e P a massa electrizada que supponhamos descrever uma orbita circular em volta de o ; seja m o valor da massa e $\mu \cdot oP$ a força que actua sobre ella. A acceleração radial será $\frac{v^2}{oP}$, sendo v a velocidade da massa. Teremos

$$\frac{m \cdot v^2}{oP} = \mu \cdot oP.$$

Designando por ω_0 a velocidade angular, temos $v = \omega_0 \cdot oP$ e portanto

$$\omega_0^2 = \frac{\mu}{m} \quad \text{ou} \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{\mu}{m}}.$$

A duração duma vibração, isto é, o tempo que P gasta em fazer uma revolução completa em volta de o è $\frac{2\pi}{\omega_0}$; ω_0 , frequencia da vibração, será proporcional ao numero de vibrações por segundo.

Supponhamos agora que um campo magnetico actua perpendicularmente ao plano de vibração; sabemos que quando uma massa carregada se move num campo magnetico è actuada por uma força perpendicular á sua

direcção de movimento e ás linhas de força magneticas e igual a $H \cdot e \cdot v \sin \theta$, sendo H a intensidade do campo magnetico, e a carga da massa, v a sua velocidade e θ o angulo entre as direcções de H e v .

No caso considerado P será actuada pela força radial $H \cdot e \cdot v$; supponhamos que a direcção do campo é tal que esta força se junta á que origina a vibração. Teremos entam

$$m \cdot \frac{v^2}{oP} = \mu \cdot oP + H \cdot e \cdot v$$

ou, visto que $v = \omega \cdot oP$,

$$\omega^2 = \frac{\mu}{m} + \frac{H \cdot e \cdot \omega}{m}$$

donde

$$\omega = \frac{1}{2} \cdot \frac{H \cdot e}{m} + \sqrt{\frac{\mu}{m} + \frac{H^2 \cdot e^2}{4m}}$$

Vemos assim que $\omega > \omega_0$ e como $\frac{\mu}{m}$ tem um valor muito grande comparado com o de $\frac{H \cdot e}{m}$, teremos approximadamente

$$\omega = \omega_0 + \frac{1}{2} \cdot \frac{H \cdot e}{m}$$

No caso considerado a acção do campo magnetico produziu portanto um acrescimo de frequencia igual a $\frac{1}{2} \cdot \frac{H \cdot e}{m}$.

Quando P descrever a mesma trajectoria em sentido opposto a força produzida pela acção do campo magnetico será igual e contraria á considerada. Temos

$$\frac{m \cdot v^2}{oP} = \mu \cdot oP - H \cdot e \cdot v$$

e portanto

$$\omega = \omega_0 - \frac{1}{2} \cdot \frac{H \cdot e}{m}$$

A frequencia diminue agora tanto como angmentou no primeiro caso.

Posto isto, decomponhamos o movimento da massa eletrizada, antes da existencia das forças magneticas, numa vibração rectilinea parallela ás linhas de força magneticas e duas vibrações circulares, dextrogyra e levogyra, no plano perpendicular a essas linhas.

Se a origem luminosa é vista na direcção do campo, a componente cujo movimento é parallello ás linhas de força não é effectiva, ficando o raio composto de dois componentes polarizados circularmente. Na ausencia do campo estes dois raios teem o mesmo periodo de vibração; quando o campo existe teem respectivamente os periodos $\omega_0 + \frac{1}{2} \cdot \frac{H \cdot e}{m}$ e $\omega_0 - \frac{1}{2} \cdot \frac{H \cdot e}{m}$ e portanto a risca original será substituida por duas polarizadas circularmente em sentidos oppostos e symetricamente collocados em relação á primeira.

Se a origem luminosa fôr vista na direcção normal ao campo a componente cujo movimento se executa na dire-

ção das linhas de força não é alterada por elle, conserva o seu periodo de vibração ω_0 e é rectilaneamente polarizada num plano normal ao campo. As duas componentes circulares produzem raios polarizados num plano paralelo ao campo cujos periodos de vibração sam respectivamente

$$\omega_0 + \frac{1}{2} \cdot \frac{H \cdot e}{m} \text{ e } \omega_0 - \frac{1}{2} \cdot \frac{H \cdot e}{m}.$$

Portanto, admittindo, como LORENTZ, que em todos os corpos existem pequenas massas electrizadas e que as vibrações luminosas sam devidas á vibração destas massas, fica explicado o phenomeno de ZEEMAN, no caso simples que considerámos. A theoria de LORENTZ que até certo ponto fez prever o phenomeno de ZEEMAN recebeu com elle uma brilhante confirmação.

Vejamos agora se o phenomeno estudado nos permite deduzir alguma coisa com respeito á natureza das massas vibrantes.

Examinando, no caso em que uma risca se transforma em duas circularmente polarizadas, o sentido de rotação, póde determinar-se o signal da carga da massa electrizada; reconheceu-se que, para harmonisar os factos observados com a sua explicação, é necessario admittir que as particulas vibrantes teem uma carga negativa e não positiva.

Medindo o deslocamento das riscas podemos determinar a variação da frequencia, isto é, $\frac{1}{2} \cdot \frac{H \cdot e}{m}$; como H é conhecido o valor de $\frac{e}{m}$ póde ser determinado. Deste modo ZEEMAN achou que o valor de $\frac{e}{m}$ é da ordem de grandeza

de 10^7 . Os valores assim obtidos não são os mesmos para todas as riscas do espectro, mas, dividindo-as em series, como pelo methodo de PASCHEN e RUNGE, as riscas da mesma serie dão para $\frac{e}{m}$ o mesmo valor.

Como o deslocamento das riscas pela acção dum campo magnetico é proporcional ao valor de $\frac{e}{m}$ segue-se que se a massa vibrante fosse positivamente electrizada o deslocamento seria 1000 vezes menor. Para observar o deslocamento a que corresponde $\frac{e}{m} = 10^7$ é já necessario um apparelho muito delicado, portanto podemos concluir que a luz em todas as riscas que apresentam o phenomeno de ZEEMAN é devida á vibração de electrões negativos.

Portanto somos levados a concluir que a estructura do atomo material é tal que permite aos electrões negativos vibrarem livremente, restando a parte positivamente electrizada relativamente immovel. Um atomo neutro será constituido por uma porção que no seu conjuncto possui uma carga positiva e por um ou mais electrões negativos em revolução, mantidos na sua orbita pela força electrica.

O phenomeno de ZEEMAN, ao mesmo tempo que nos dá uma segura indicação da existencia dos electrões, é, como vemos, extraordinariamente importante por o que nos diz com respeito á estructura atômica.

É devido ás vibrações dum electrão ou dum systema de electrões que o atomo tem a propriedade de emittir radiações.

A materia, só por si, não tem connexão perceptível com o ether, é por intermedio da carga electrica que essa connexão se realiza; unicamente quando a carga vibra e durante os seus periodos accelerativos o atomo é capaz de exercer influencia sobre o ether emittindo ondas a distancia.

Não é o atomo pulsando como um todo que produz perturbações do ether mas sim as pulsações, vibrações, paragens ou revoluções da sua carga electrica.

A acceleração normal ou centripeta, não envolvendo nada mais que mudança de direcção, é tam effectiva na producção de perturbações como a variação do valor da velocidade.

O typo particular de radiação emittido por um atomo dependente do numero de revoluções por segundo que os seus electrões executam. A cada frequencia de rotação corresponderá uma risca definida do espectro.

Sendo assim comprehendem-se bem os phenomenos magneto-opticos de que nos temos occupado. A lacuna que existia na theoria electro-magnetica da luz, no que dizia respeito á acção da materia ponderavel sobre o ether, fica, depois da theoria de LORENTZ, preenchida:

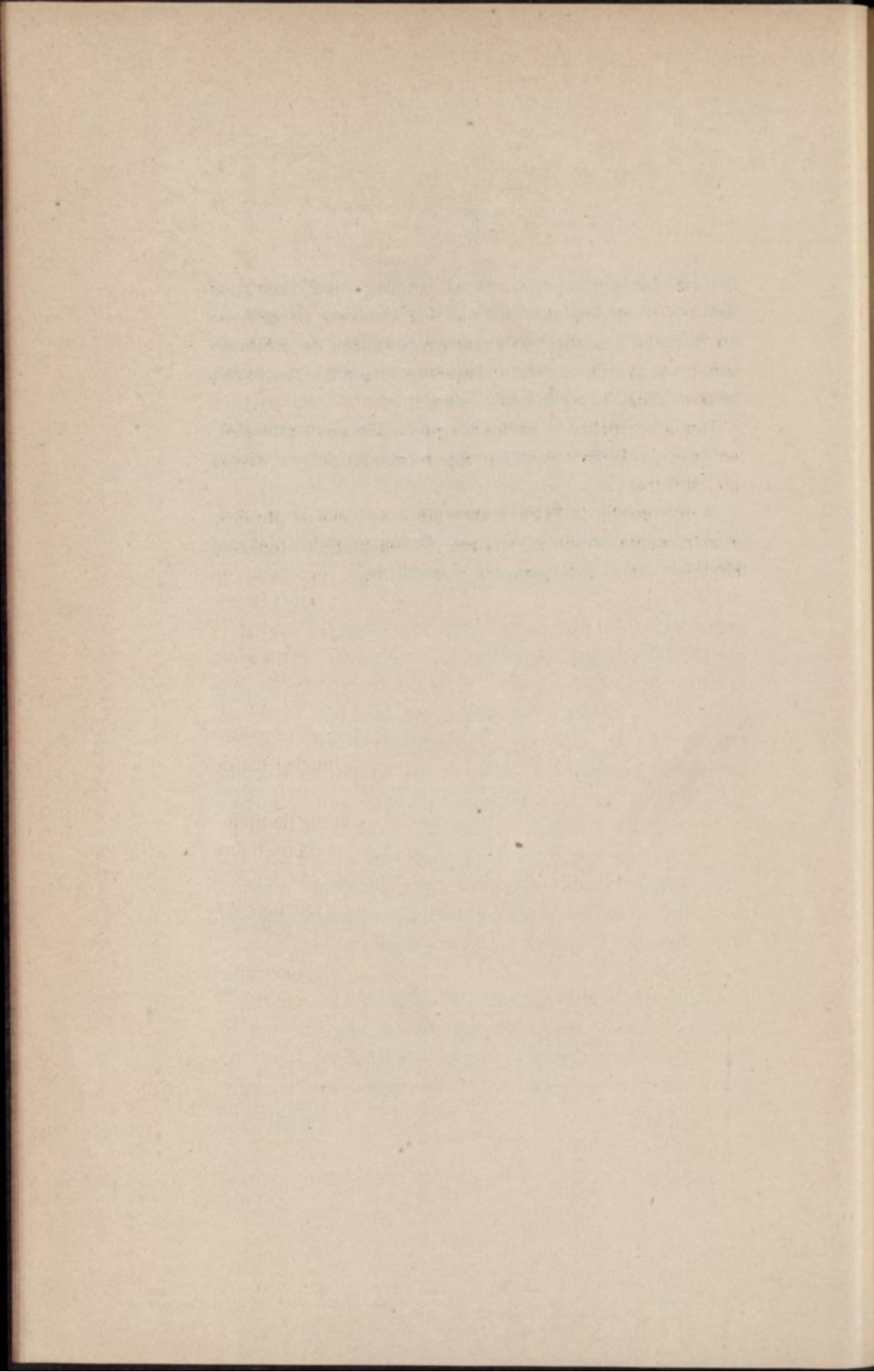
Antes de terminarmos o assumpto deste capitulo achamos interessante referirmo-nos aos trabalhos de JOHNSTONE STONEY sobre radiação em que o assumpto é tratado astromicamente.

STONEY considera um electrão movendo-se em volta dum atomo como um satellite em volta dum planeta e discute as varias perturbações que se podem realizar no seu movimento e o effeito dessas perturbações no espectro da luz emittida.

Uma das perturbações mais simples, analysada por NEWTON no movimento da Lua, é a chamada progressão ou recessão dos apsides, vagarosa revolução da orbita no seu proprio plano. Este movimento origina o desdobramento duma risca conforme vimos.

Duma perturbação analoga á precessão dos equinocios, no caso da Terra, resulta o apparecimento de tres riscas no espectro.

A descoberta de ZEEMAN abre um novo ramo da physica, a astronomia atomica, em que se consideram atomos e electrões em vez de planetas e satellites.



CAPITULO II

Constituição do atomo

A experiencia e a theoria tem-nos provado que as particulas que constituem os raios cathodicos, os raios β emittidos pelo radio e por outros corpos radio-activos, as particulas emittidas por superficies metallicas pollidas carregadas negativamente pela acção da luz ultra-violete, as particulas negativamente electrizadas emittidas pelos metaes incandescentes, a porção do atomo que produz a emissão de radiações, sam da mesma natureza; sam electrões, isto é, simples cargas electricas sem nucleo material ou não electrico.

A electricidade negativa pôde existir separada da materia, sendo constituida por pequenissimas porções todas eguaes com uma carga e inercia conhecidas. As leis da mechanica applicadas a estas particulas, em determinados campos electricos e magneticos, levam-nos á explicação dos phenomenos fundamentaes da corrente electrica, magnetismo e produção da luz. Porém, para explicar a acção chimica, as differenças que se observam entre os conductores, as propriedades dos corpos magneticos e detalhadamente o phenomeno da radiação, etc., é necessario occuparmo-nos tambem da *materia*, procurando descobrir

se a sua inercia e portanto a sua natureza e propriedades podem ser reduzidas e explicadas como phenomenos electro-magneticos.

Tem-se provado que a massa do electrão é de natureza exclusivamente electro-magnetica mas a mesma prova não tem sido dada para o atomo. Os estudos feitos sobre as particulas positivamente electrizadas que constituem os raios canaes e as emittidas por metaes incandescentes não teem permittido tirar conclusões sobre a natureza da sua massa. Sobre este assumpto, por emquanto, unicamente podemos fazer hypotheses.

Sobre o estudo da electricidade positiva alguma coisa temos a acrescentar já ao que dissemos na primeira parte do nosso trabalho. Comquanto este problema não fique ainda resolvido, os trabalhos feitos recentemente sobre os raios canaes merecem ser aqui considerados. Exporemos resumidamente o que actualmente se sabe sobre tam importante assumpto.

No phenomeno da descarga da electricidade atravez dos gazes manifestam-se, ao lado dos electrões negativos, atomos positivamente electrizados ou sejam iões positivos. Sabemos como estes iões passando por aberturas do cathodo originam os raios canaes.

Medindo as deflecções electrostatica e magnetica conclue-se que estes raios não sam homogeneos; os iões positivos não teem portanto todos a mesma massa. Os raios mais desviaveis sam formados por particulas cuja massa é igual á do atomo de hydrogenio, mesmo que apparentemente este gaz não exista no tubo de descarga; outros

parecem ser constituídos por iões positivos do gaz que se emprega e finalmente outros apresentam uma massa ainda maior. Sobre estes ultimos podem apresentar-se as seguintes hypotheses: — 1.^a a pequena deflecção destes raios é devida á neutralização dos iões durante uma parte do seu percurso; 2.^a sam constituídos por iões metallicos derivados do cathodo; 3.^a sam formados por iões gazosos complexos pela reunião dum certo numero de átomos neutros com um ião positivo; demonstra-se a formação destes grandes iões á pressão ordinaria.

Sam importantes os trabalhos de STARK sobre este assumpto. Este physico reconheceu que a luz que se manifesta ao longo dos raios canaes parte de cada ião; estes sam portanto origens luminosas em movimento de translação.

Analysando a luz perpendicularmente ao movimento dos iões obtem-se sensivelmente o espectro caracteristico do gaz existente no tubo de descarga; analysando a luz na direcção do movimento dos iões, dirigindo-se os iões para a fenda do instrumento, as riscas sam deslocadas para a extremidade violeta do espectro. Manifesta-se portanto o effeito de DÖPPLER. Dá-se um phenomeno analogo quando se observa a luz do primeiro estrato negativo.

Nesta producção do effeito de DÖPPLER nótam-se as seguintes particularidades: — 1.^a ao mesmo tempo que se observam as riscas deslocadas observam-se outras que se conservam na posição normal, indicando portanto a existencia de iões luminosos dotados de pequena velocidade; 2.^a as riscas deslocadas sam mais largas que as primitivas e a sua intensidade luminosa diminue a partir da margem

mais distante da risca primitiva, tornando-se a certa altura bruscamente nulla; este resultado demonstra-nos a existencia de iões com velocidades diferentes; 3.^a nota-se a presença de bandas que, com um espectroscopio potente, se desdobram num grande numero de riscas que nem todas nos mostram o effeito de DÖPPLER. Taes sam os factos observados.

Conhecendo a velocidade dos iões, que podemos suppor approximadamente que seja a produzida pela queda do potencial cathodico, podemos determinar, medindo o afastamento das riscas, a relação $\frac{e}{m}$. Conhecendo a natureza chimica do gaz empregado sabemos o valor de m ; é portanto possivel a determinação de e . STARK reconheceu assim a presença de iões monovalentes e bivalentes e as riscas que cada uns produziam.

Procuremos agora explicar os factos observados. Qualquer que seja o modo como se considera constituido o atomo ha accordo em admittir que um certo numero de electrões fazem parte delle movendo-se em torno da parte restante. Os iões positivos monovalentes, bivalentes, etc., resultam do atomo pela perda de um, dois, etc., electrões. As vibrações dos electrões originam a luz emittida pelos atomos e iões.

STARK admitte que, quando um ião atravessa a esphera de acção dum atomo neutro ou doutro ião, o movimento dos electrões é perturbado, donde resultam vibrações que se compõem com o seu anterior movimento originando ondas luminosas. Cada um destes electrões poderá comparar-se a uma corda dum instrumento musical em movi-

mento de translação que encontra no seu caminho um obstaculo que a faz vibrar. É esta a explicação do modo como se produzem as riscas desviaveis. A intensidade da luz dependerá da velocidade do ião, como se observou.

As riscas não desviaveis teram provavelmente a sua origem quando um ião choca um atomo neutro; electrões neste contidos podem entrar em vibração sem que elle adquira grande velocidade.

Finalmente as bandas podem ser produzidas quando um atomo neutro se reconstitue pela união dum ião com um electrão.

Estes factos, que nos mostram a complexidade do estudo dos raios canaes, sam explicados admittindo para o atomo a consiituição que resulta da consideração do phenomeno de ZEEMANN.

Já descrevemos na primeira parte do nosso trabalho as experiencias de THOMSON sobre os raios canaes em que este physico, empregando gazes muito rarefeitos e elevadissimos potenciaes de descarga, concluiu que, qualquer que fosse o gaz empregado, se encontravam sempre os mesmos dois typos de iões; ao primeiro typo corresponde um valor de m igual ao da massa do atomo de hydrogenio, ao segundo corresponde um valor duplo deste. THOMSON concluiu que estes iões eram sempre formados por atomos de hydrogenio e por moleculas do mesmo gaz privadas dum electrão; nos gazes altamente rarefeitos dava-se portanto uma scisão do atomo, analoga á que origina os phenomenos radio-activos, com producção de atomos e moleculas de hydrogenio.

WIEN considerou o resultado obtido por THOMSON como

devido á existencia de vestigios de hydrogenio no tubo de descarga.

THOMSON repetiu as experiencias de modo a remover as suspeitas de WIEN; em condições experimentaes as mais rigorosas foram obtidos precisamente os mesmos resultados.

Nestas experiencias THOMSON fez conhecer um facto novo. Reconheceu que os raios positivos se encontram em toda a extensão do tubo de descarga partindo do cathodo parallelamente aos raios cathódicos. É possivel que aquelles raios sejam produzidos por uma reflexão de iões no cathodo.

O physico allemão LILIEFELD encontrou tambem os raios positivos propagando-se do cathodo para o anodo. Nestas recentes experiencias a rarefação do gaz era enorme, como nas experiencias de THOMSON, mas a intensidade da corrente era muito maior. Segundo LILIEFELD a relação $\frac{e}{m}$ das particulas positivas era da mesma ordem de grandeza que a achada para os raios cathodicos. Sendo assim temos o primeiro exemplo da existencia dos electrões positivos livres.

Este resultado necessita porém de ser confirmado.

Não podemos portanto assegurar a existencia dos electrões positivos, mas, este facto, não nos impede de estabelecer a hypothese da natureza electrica da materia.

LARMOR chegou theoreticamente á conclusão que a electricidade positiva deve estar para a negativa como um objecto para a sua imagem dada por um espelho; a experiencia não tem porém verificado a theoria.

A unica porção do atomo que conhecemos e analysamos é o electrão negativo; sobre a parte restante pouco sabemos. Teem sido porém formuladas as seguintes hypotheses ¹:

1) A parte principal da massa atomica é constituida por materia ordinaria associada com electricidade positiva em quantidade sufficiente para neutralizar a carga dos electrões que, fóra de duvida, existem em connexão com cada atomo.

2) A massa dum atomo é constituida por uma grande quantidade de electrões positivos e negativos, intercalados, sustentando-se juntos devido ás suas mutuas attracções, num estado em que as suas orbitas se entrelaçam, ou em qualquer configuração geometrica tornada permanente por ligações appropriadas.

Segundo a hypothese geralmente preferida pelos physicos allemães o atomo neutro é constituido por egual numero de electrões positivos e negativos; estes ultimos ou parte delles movem-se em torno da parte restante que constitue um conjuncto electricamente positivo e relativamente estavel.

3) A massa do atomo é formada por electricidade positiva, constituindo uma massa espherica; no meio da qual estam sementeos electrões, em quantidade electricamente equivalente; estes electrões estam provavelmente distribuidos em anéis, como as agulhas magneticas fluctuantes de ALFRED MAYER e movem-se em orbitas regulares em volta do centro da esphera, sob a acção duma força dirigida para elle que varia na razão directa da distancia do electrão a este ponto.

¹ OLIVER LODGE — *Electrons*, pag. 148 e seguintes.

4) O atomo é formada por uma mistura de electricidade positiva e negativa formando como que uma massa continua indivisivel; no meio dessa massa movem-se um ou mais electrões isolados e individualizados que sam a causa da actividade externa que dá ao atomo as propriedades observadas.

5) Por ultimo, o atomo tem sido considerado como constituido por uma parte central, onde a electricidade positiva está extraordinariamente concentrada, e por electrões movendo-se em volta deste nucleo como os planetas se movem em volta do sol.

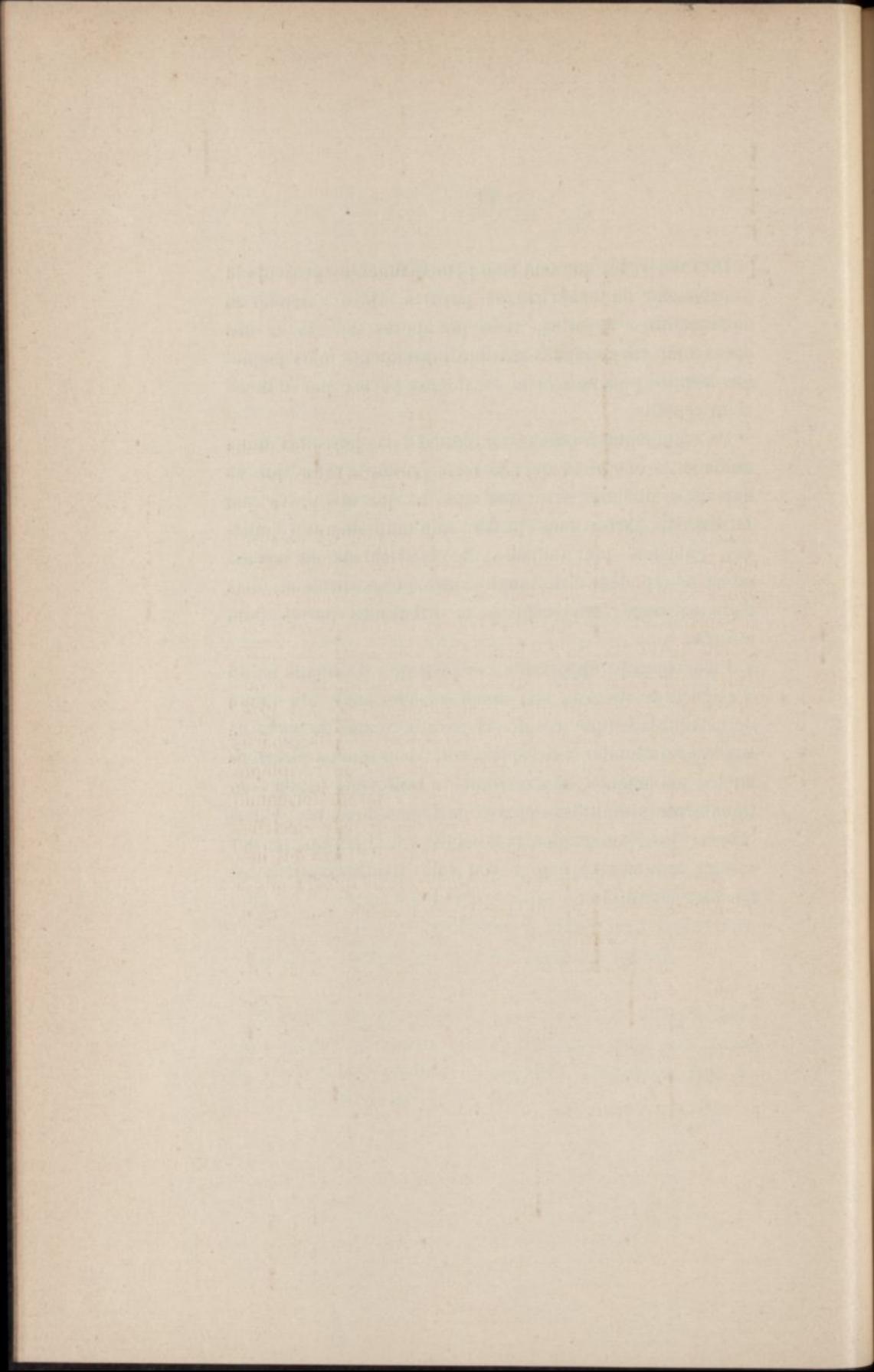
Taes sam as hypotheses que teem sido estabelecidas sobre a constituição do atomo. Todas ellas sam bastante vagas, sendo a terceira, entre todas, a mais precisa. Nesta hypothese a materia é de natureza electrica e o atomo é formado, como vimos, por uma massa de electricidade positiva, indivisivel, com a fôrma espherica e dimensões do atomo, no meio da qual um arranjo geometricamente definido de electrões se move com uma certa frequencia. Tambem esta hypothese é imperfeita devido ao pouco que por emquanto sabemos com respeito á electricidade positiva; presta-se porém á explicação dum grande numero de factos e é de todas a que tem tido maior desenvolvimento, dado principalmente pelo physico J. J. THOMSON, cujas idéas apresentaremos em capitulos futuros.

Tratando do problema da constituição do atomo lembra logo perguntar como é que se conserva junta uma massa de electricidade positiva ou negativa, quando as suas diversas partes se devem repêllir.

Esta objecção, que tem sido principalmente apresentada a proposito da electricidade positiva, deve estender-se egualmente á negativa, visto que apesar de esta se nos apresentar em unidades extraordinariamente mais pequenas sempre podemos nella considerar partes que se deveriam repellir.

Os argumentos baseados na repulsão das parcelas duma unidade de electricidade não teem porém o valor que se lhes quer attribuir, visto que nada ha que nos prove que as diversas partes dum electrão sam mutuamente repulsivas. Sabemos que unidades de electricidade do mesmo nome se repellem e de nome contrario se attrahem, mas nada sabemos com respeito ás diferentes partes dum electrão.

Uma objecção importante, ao principio levantada sobre a estructura atomica, tal como a considerámos, era a falta de estabilidade que resultaria para o atomo do facto da sua energia tender a desaparecer, visto que os electrões no seu movimento, não rectilineo e uniforme, estam continuamente a emittil-a debaixo da fórma de ondas. A descoberta dos phenomenos radio-activos fez, porém, perder a estes argumentos todo o seu valor, confirmando a estructura admittida.



CAPITULO III

Conductibilidade metallica

Já sabemos como se realiza a passagem da corrente electrica atravez dos gazes e dos liquidos. Estudaremos agora a conducção da electricidade atravez dos metaes.

Sabemos que os atomos metallicos se ionizam com uma grande facilidade, dando lugar á producção de iões positivos e electrões negativos livres. É natural suppor que um metal seja constituido por atomos neutros, iões positivos e electrões negativos, os quaes existem nos espaços interatomicos como as moleculas dum gaz no recipiente que o contem. Em cada instante se estaram formando atomos neutros pela junção de iões positivos e electrões e dissociando outros em iões e electrões. O facto dos metaes serem permeaveis aos raios cathodicos mostra-nos a possibilidade dos electrões se comportarem como supomos.

A notavel conductibilidade calorifica dos metaes resulta de a energia thermica nelles contida ser não só a energia do movimento dos seus atomos mas tambem em grande parte a do movimento dos electrões livres; a grande velocidade de estes compensa a pequenez da sua massa tornando rapida a transmissão do calor da parte mais quente para a mais fria.

Este modo de considerar a estructura dos metaes presta-se a explicar um grande numero de phenomenos.

Nas theorias propostas para explicar a conductibilidade metallica admite-se que a corrente electrica é produzida pelo deslocamento dos electrões. A passagem da corrente atravez dum metal não implica a existencia de qualquer transporte dos atomos ao longo da corrente. Apresentamos as theorias propostas sobre este assumpto, diferentes no que diz respeito ao modo como se realiza o movimento dos electrões.

1.^a Theoria

Suppõe-se nesta theoria que todos os electrões que tomam parte na conducção da electricidade teem attingido o que se pode chamar a temperatura de equilibrio, isto é, que teem tido tantas collisões que a sua energia cinetica media é igual á que teriam as moleculas dum gaz á temperatura do metal. Para que esta condição se realize é necessario que os electrões estejam livres, não só na occasião da passagem da corrente, mas tambem algum tempo antes, o sufficiente para que se realize o numero de collisões preciso para attingirem a temperatura de equilibrio com o metal em que se movem.

O movimento dos electrões que fórma a corrente é produzido pela acção directa do campo electrico sobre os electrões livres.

Suppõe-se portanto que um metal apresenta sempre um numero enorme de electrões livres que se movem em todos os sentidos como as moleculas dum gaz ou como os

iões duma solução electrolytica; admite-se tambem que a velocidade de agitação augmenta com a temperatura.

Neste movimento cada electrão move-se em linha recta entre dois choques consecutivos, com os atomos do metal ou com outros electrões, de modo que a sua trajectoria é uma linha quebrada irregular; os electrões não tendem a deslocar-se num sentido determinado, um elemento de superficie é atravessado nos dois sentidos por numeros eguaes de electrões.

Quando um metal é a séde dum campo electrico, o movimento dos electrões será sempre uma agitação irregular, mas as velocidades na direcção do campo predominam; este estado de coisas manifesta-se á observação como uma corrente electrica.

No que vamos dizer supponhamos que a corrente é devida simplesmente ao movimento dos electrões negativos.

Intensidade da corrente. — Vejamos qual é, nesta theoria, a expressão do valor da intensidade.

Demonstra-se na theoria cinetica dos gazes que o effeito das collisões é produzir um estado de equilibrio em que a energia cinetica media de cada molecula depende unicamente da temperatura absoluta.

Os electrões sam considerados, como vimos, como constituindo um gaz muito leve, de modo que a energia cinetica media de cada um é sómento dependente da temperatura e egual á da molecula dum gaz considerado nas mesmas condições.

Como a massa dum electrão é approximadamente $\frac{1}{1000}$

da dum atomo de hydrogenio, segue-se que a sua velocidade tem de ser muito maior que a da molecula do mesmo gaz á mesma temperatura.

Suppondo que a força electrica actua atravez do metal, a variação de velocidade dos electrões produzida por esta força é, em geral, muito pequena comparada com a sua velocidade media de translação. O effeito desta força é produzir uma corrente em que os electrões se deslocam, visto que a sua carga é negativa, na direcção opposta á da força electrica.

Designando por u a velocidade desta corrente e por n o numero de electrões por unidade de volume do metal, o numero de electrões que na unidade de tempo atravessam a unidade de superficie, normal á força electrica, será $n \cdot u$. Designando por e a carga dum electrão e por i a intensidade da corrente, temos

$$i = n \cdot e \cdot u.$$

Procuramos agora obter o valor de u em funcção da força electrica X . Consideraremos um electrão no principio do intervallo que medeia entre duas collisões, já depois de ter soffrido a primeira. A força electrica actua sobre elle fazendo-o mover na direcção opposta á sua. A velocidade do electrão vae variando sob a acção da força electrica, sendo zero no começo do intervallo e $X \cdot \frac{e}{m} \cdot t$ no fim, designando por m a massa do electrão e por t a duração do intervallo. A velocidade media será $\frac{1}{2} \cdot X \cdot \frac{e}{m} \cdot t$.

Durante as collisões o choque é tam violento que o electrão se deverá comportar como se não estivesse sujeito á acção da força electrica. JEANS mostrou porém que uma collisão não apaga por completo a historia duma molecula, de modo que para maior rigor temos de introduzir um coeﬃciente correspondente á persistencia dos eﬀeitos produzidos num electrão pela força electrica.

Assim temos

$$u = \frac{1}{2} \cdot \beta \cdot \frac{X \cdot e}{m} \cdot t$$

e

$$i = \frac{1}{2} \cdot \beta \cdot n \cdot \frac{X \cdot e^2}{m} \cdot t$$

designando por $\beta > 1$ esse coeﬃciente.

Attendendo a que a variação de velocidade produzida pela força electrica é muito pequena comparada com a velocidade de translação dos electrões, podemos pôr $t = \frac{\lambda}{v}$, sendo λ o percurso livre percorrido por cada um. Teremos

$$i = \frac{1}{2} \cdot \beta \cdot n \cdot \frac{X \cdot e^2 \cdot v \cdot \lambda}{m \cdot v^2}$$

Lei de Ohm.—A formula que acabamos de deduzir mostra-nos que a lei de Ohm está em harmonia com a theoria de que nos occupamos e com as hypotheses que fizemos.

Porém, quando a força electrica for tam grande que a

velocidade que communica a um electrão for muito grande comparada com a sua velocidade media de translação, a lei de Ohm deixa de estar em harmonia com a theoria.

Com effeito, designando por ω a velocidade produzida pelo campo electrico durante o percurso livre dum electrão, temos

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot \omega^2 = X \cdot e \cdot \lambda$$

ou

$$\omega = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot X \cdot \lambda}{m}};$$

a velocidade media terá um valor metade deste e portanto

$$i = n \cdot e \cdot \sqrt{\frac{e \cdot X \cdot \lambda}{2 \cdot m}}.$$

Neste caso a corrente, em vez de ser proporcional á força electrica, é proporcional á sua raiz quadrada; a lei de Ohm não será entam verdadeira.

Este resultado tem apenas valor theorico, visto que não é possivel praticamente originar num conductor uma força electrica da ordem de grandeza da que vimos de considerar.

Relação entre as conductibilidades thermica e electrica.

—Suppondo que o metal que se considera não está em toda a sua extensão á mesma temperatura, a energia cinetica media dos electrões da parte mais quente é maior que a da mais fria.

A egualdade de temperatura tende a estabelecer-se, sendo, pelo menos, uma parte do calor transportado da parte quente para a fria por intermedio dos electrões. Suppondo que a conducção do calor se realiza exclusivamente por este meio, é facil achar a expressão do valor da conductibilidade thermica.

Com effeito, prova-se na theoria cinetica dos gazes que a conductibilidade thermica destes é dada pela expressão

$$k = \frac{1}{3} \cdot n \cdot \lambda \cdot v \cdot \alpha$$

em que α é uma constante universal; o coefficiente β é considerado nesta expressão igual á unidade.

Como, na expressão que achámos para o valor da intensidade, é

$$m \cdot v^2 = 2 \cdot \alpha \cdot \theta$$

sendo θ a temperatura absoluta, temos

$$i = \frac{1}{4} \cdot \frac{\beta}{\alpha \cdot \theta} \cdot n \cdot e^2 \cdot \lambda \cdot v \cdot X$$

e portanto

$$c = \frac{n \cdot \lambda \cdot v \cdot e^2}{4 \cdot \alpha \cdot \theta}$$

sendo c a conductibilidade electrica.

Teremos

$$\frac{k}{c} = \frac{4 \cdot \alpha^2 \cdot \theta}{3 \cdot e^2}$$

Esta relação, sendo independente de n e λ , que variam

de metal para metal, é constante para todos os metaes, variando proporcionalmente á sua temperatura absoluta.

Este valor theorico concorda, para um grande numero de metaes, com os valores achados experimentalmente.

As experiencias de DEWAR e FLEMING sobre o effeito das baixas temperaturas na resistencia dos metaes puros estam tambem em harmonia com o resultado theorico a que chegamos: com effeito, verificou-se que a resistencia vae diminuindo uniformemente com a temperatura annullando-se apparentemente não longe do zero absoluto.

A theoria não está porém de accordo com o que se passa nas ligas, porque nestas, devido á existencia de junções de metaes differentes, ha effeitos thermo-electricos a considerar que fazem com que ellas se comportem dum modo diverso do dos metaes puros.

Effeito de Hall. — HALL reconheceu que a corrente electrica que atravessa um conductor é distorsida quando este é sujeito á acção dum campo magnetico forte.

Tudo se passa como se esta distorsão fosse produzida por uma força electro-motriz adicional perpendicular á corrente e ás linhas de força magneticas. O sentido da distorsão não é porém o mesmo nos diversos metaes. Em alguns, como no bismutho e prata, o desvio é num sentido, noutros, como no ferro, cobalto e tellurio, é no sentido contrario.

A theoria de que nos occupamos indica que deve haver um desvio na corrente pela acção dum campo magnetico. Com effeito, designando por u a velocidade media dum electrão, por e a sua carga e por H a intensidade do

campo magnetico, sabemos que elle será actuado por uma força de intensidade

$$H . e . u$$

cuja direcção é normal ás linhas de força magneticas e á trajectoria do electrão e cujo sentido se determina por meio de qualquer das regras bem conhecidas.

O sentido assim determinado é o mesmo que se observa no bismutho; a theoria indica este sentido para todos os metaes e mostra-nos que o desvio deve ser proporcional á intensidade do campo magnetico. Nenhuma destas condições se realiza porém praticamente.

Este facto tem levado alguns physicos a suppor que a electricidade é transportada por electrões dos dois signaes; o desvio realisar-se-hia num sentido ou noutro conforme predominassem os electrões negativos ou positivos.

DRUDE ¹ desenvolve a mesma teoria, isto é, applica aos electrões livres as concepções da teoria cinetica dos gazes, mas suppõe a existencia de electrões positivos e negativos. Admitte a existencia de electrões *livres e ligados*; assim, os raios cathodicos sam constituídos por electrões negativos livres, os raios canaes sam constituídos por electrões positivos ligados, arrastando estes comsigo atomos materiaes. Admitte a polymerização de electrões do mesmo signal.

¹ P. DRUDE — *Théorie electronique des metaux*. Traduit de l'allemand. *Memoires reunis et publiés* par H. ABRAHAM et P. LANGEVIN.

Os de signal contrario conservam-se independentemente em movimento, apesar da sua attracção consideravel, por possuirem uma energia cinetica superior a um certo limite.

Os atomos materiaes possuem tambem energia cinetica, mas conservam-se oscillando em torno dum ponto fixo.

O numero de electrões por unidade de volume é considerado independente da temperatura e admite-se que a transmissão de calor se faz unicamente por meio dos electrões em movimento.

Admittidas estas hypotheses e conservando as letras a mesma significação que lhe temos attribuido, DRUDE chega ás seguintes expressões respectivamente para valor das conductibilidades termica e electrica:

$$k = \frac{1}{2} \alpha \left[v_1 \cdot l_1 \cdot n_1 + v_2 \cdot l_2 \cdot n_2 + \dots \right]$$

e

$$c = \frac{1}{4\alpha \cdot \theta} \cdot \left[e_1^2 \cdot n_1 \cdot \lambda_1 \cdot v_1 + e_2^2 \cdot n_2 \cdot \lambda_2 \cdot v_2 + \dots \right].$$

Cada termo destas expressões corresponde respectivamente a um electrão simples positivo e negativo, a dois, tres, etc., electrões polymerizados positivos e negativos.

Suppondo que o metal unicamente contem electrões simples cuja carga é $\pm e$, temos

$$\frac{k}{c} = \frac{4}{3} \cdot \left(\frac{\alpha}{e} \right)^2 \cdot \theta,$$

expressão identica á que já achámos considerando unicamente os electrões negativos.

A lei de WIEDEMANN-FRANZ, segundo a qual a relação entre as duas conductibilidades é uma constante universal proporcional á temperatura absoluta, é portanto satisfeita.

Esta lei apresenta porém excepções que se não podem explicar pela polymerização dos electrões. DRUDE, considerando unicamente os electrões simples, explica estas excepções suppondo que o numero de electrões por unidade de volume varia com a temperatura.

Deste modo chega á seguinte expressão para valor da conductibilidade thermica, suppondo que unicamente existem electrões simples para os quaes $e_1 = -e_2 = e$,

$$k = \frac{4}{3} \alpha^2 \theta^2 \left[\frac{v_1 \cdot n_1 + v_2 \cdot n_2}{\theta} + \frac{2v_1 \cdot v_2}{v_1 \cdot n_1 + v_2 \cdot n_2} \cdot \frac{\partial(n_1 \cdot n_2)}{\partial \theta} \right].$$

A expressão do valor da conductibilidade electrica é, fazendo identicas hypotheses,

$$c = e^2 \cdot (v_1 \cdot n_1 + v_2 \cdot n_2)$$

donde se deduz

$$\frac{k}{c} = \frac{4}{3} \cdot \left(\frac{\alpha}{e}\right)^2 \cdot \theta \cdot \left[1 + \frac{2v_1 \cdot v_2 \cdot \theta}{(v_1 \cdot n_1 + v_2 \cdot n_2)^2} \cdot \frac{\partial(n_1 \cdot n_2)}{\partial \theta} \right].$$

Deste modo reconhece-se que sam satisfeitas as excepções á lei de WIEDEMANN-FRANZ.

Diz DRUDE: «as excepções á lei de WIEDEMANN-FRANZ sam explicadas desde que o numero de electrões dependa da temperatura. Estas excepções não teriam logar se não

se considerassem os electrões positivos e negativos porque, se a mobilidade duma das especies de electrões se anulasse, a fórmula apresentada mostra que a lei deveria ser satisfeita. Pareceria mais natural suppor que só os electrões negativos fossem moveis nos metaes, conservando-se os positivos ligados aos atomos metallicos. A equação apresentada mostra que tal hypothese se não pode admittir para um metal que não segue a lei de WIEDEMANN-FRANZ. Os phenomenos galvano-magneticos e termo-magneticos mostram-nos de resto a impossibilidade duma semelhante hypothese».

J. J. THOMSON apresenta argumentos importantes contra este modo de ver: — 1.º não está provada a existencia de particulas positivamente electrizadas capazes de facilmente se moverem atravez dum metal; 2.º mesmo que assim se supozesse, o desvio seria proporcional á intensidade do campo magnetico, o que não é verdadeiro para todas as substancias.

Segundo THOMSON¹, as leis complexas do phenomeno de HALL podem explicar-se, considerando unicamente os electrões negativos, entrando em consideração com a accção do campo magnetico sobre os electrões durante as suas collisões com os atomos do metal. A estrutura extremamente complicada dum metal deve tambem ser considerada. Uma peça metallica, estudada pela micro-photographia, apresenta-se como constituida pela reunião dum grande numero de pequenos crystaes; as moleculas dum

¹ THOMSON — *The corpuscular theory of matter*, pag. 69 e seguinte.

metal parecem portanto estar reunidas em cellulas, cada uma formada por um certo numero de moleculas e o metal formado pela reunião de cellulas. Os electrões dum metal não podem portanto, rigorosamente, ser comparados ás moleculas dum gaz; o percurso livre deve ser determinado num e noutro caso de modo differente.

Segundo RICH¹, tambem o effeito de HALL pode ser explicado suppondo que a corrente é produzida unicamente pelo movimento dos electrões negativos. Segundo este physico, a acção do campo magnetico sobre os atomos neutros e iões transformando-os temporariamente em magnetes, cuja acção, em certas regiões, pode ser em sentido inverso á do campo principal e o facto dos atomos exercerem acções, particularmente electricas, sobre os electrões em movimento, podem servir de base a uma tal explicação.

Efeito de Peltier. — Colloquemos em contacto os dois metaes A e B suppostos á mesma temperatura e supponhamos que a pressão dos electrões em A é maior que em B.

Os electrões passaram de A para B e por consequencia, visto que elles sam carregados negativamente, A carregarse-ha positivamente e B negativamente. O movimento de electrões cessará quando a attracção da electricidade positiva em A e a repulsão da negativa em B contrabalançarem o effeito da differença de pressão; resultará a

¹ AUGUSTO RICH — *La moderna teoria dei fenomeni fisici*. Terza edizione, pag. 81.

existencia duma differença de potencial entre A e B que é a medida do effeito de PELTIER na junção dos dois metaes. Quando for attingido este estado de equilibrio, a corrente será igual nos dois metaes.

É facil de calcular que esta differença de potencial é dada pela expressão

$$V = \frac{2}{3} \cdot \frac{\alpha \cdot \theta}{e} \cdot \log \frac{N_1}{N_2},$$

onde V é a differença de potencial e N_1 e N_2 respectivamente o numero de electrões por unidade de volume em A e B.

Os dois metaes para os quaes é maior o effeito de PELTIER sam o antimonio e o bismulho, para os quaes, a 0° centigrados, $V = \frac{1}{30}$ dum volt approximadamente. Será

$$\log \frac{N_1}{N_2} = 1,33 \quad \text{e} \quad \frac{N_1}{N_2} = 3,8.$$

Vemos portanto que o antimonio tem, por unidade de volume, quatro vezes mais electrões que o bismulho.

Como estes sam os metaes para os quaes o effeito de PELTIER é maior, concluimos que o numero de electrões livres por unidade de volume varia pouco de metal para metal.

Efeito de Thomson. — LORD KELVIN mostrou que quando uma corrente percorre um conductor, cujos pontos se não

acham á mesma temperatura, manifesta-se a existencia duma força electro-motriz acompanhada duma absorpção ou producção de calor quando a corrente vae da parte mais quente para a mais fria do metal.

Seja *ab* uma barra metálica e imaginemos que a temperatura vae augmentando de *a* para *b*. Como a pressão dos electrões depende da temperatura, para que a corrente seja uniforme em todo o conductor, existiram forças electro-motrices ao longo da barra cujo effeito será impedir o deslocamento dos electrões assim sujeitos a pressões diversas.

O transporte de electrões atravez de cada secção dum conductor desegualmente aquecido varia e portanto o estado do conductor não pode ser de equilibrio; estas differenças originaram uma accumulção de electricidade ao longo do conductor, que por sua vez originaram forças electricas que, augmentando a corrente onde esta for pequena e diminuindo-a onde for grande, estabelecem uma corrente uniforme atravez do conductor.

Tanto no caso da existencia de dois metaes differentes em contacto como no caso de num conductor existirem pontos a temperaturas differentes, a passagem da corrente origina accumulções de electricidade donde resultam forças que tendem a estabelecer um estado de equilibrio em que a corrente seja uniforme em toda a sua extensão. Estas forças representam, no primeiro caso, o effeito de PELTIER, no segundo o effeito de THOMSON.

É claro que, variando, pela acção destas forças, a energia cinetica dos electrões, varia tambem a temperatura do metal.

O estudo analytic do phenomeno de que nos occupamos, que não fazemos para não alongar demasiadamente a nossa exposição, nos mostraria a possibilidade do modo differente como se comportam os diversos metaes.

Numero de electrões livres por unidade de volume do metal.— Entre os methodos conhecidos para a determinação do numero de electrões por unidade de volume, consideraremos apenas aquelle em que se determinam os limites entre os quaes este numero está comprehendido, occupando-nos unicamente do limite inferior, que principalmente nos importa conhecer para o fim que temos em vista.

Podemos obter o limite inferior recorrendo aos resultados das experiencias feitas por RUBENS e HAGEN sobre a reflexão de vibrações de grande comprimento de onda nas superficies metallicas.

Resultou destas experiencias que a conductibilidade electrica dos metaes, quando ondas cujo comprimento é igual a 25μ , $\mu = 10^{-4}$ cent. passam atravez delles, é a mesma que a conductibilidade ordinaria, emquanto que, para ondas cujo comprimento é menor que 4μ , a conductibilidade é proxivamente 20% da ordinaria.

É facil mostrar que, designando por k a conductibilidade ordinaria, quando a força eléctrica varia como $\text{sen } n \cdot t$, a conductibilidade será proporcional a

$$k \cdot \frac{\text{sen}^2 n \cdot T}{n^2 \cdot T^2}$$

sendo $2T$ o intervallo entre duas collisões.

Portanto a conductibilidade será bastante reduzida, a não ser que o intervalo entre duas collisões seja muito pequeno comparado com o periodo da corrente.

Se T for igual a um quarto do periodo da força, isto é, $n \cdot T = \frac{\pi}{2}$, a conductibilidade será $\frac{1}{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2}$ ou 0,4 do seu

valor ordinario. Como a diminuição da conductibilidade para as ondas luminosas, cujo comprimento de onda é menor que $\frac{1}{4} \mu$, é ainda menor, concluimos que o intervalo entre duas collisões é menor que um quarto do periodo dessa luz, isto é, menor que $3,3 \cdot 10^{-15}$ segundos.

A velocidade dum electrão debaixo da acção da unidade de força electrica é

$$u = \frac{1}{2} \cdot \frac{e}{m} \cdot T;$$

esta velocidade será inferior a $\frac{1}{2} \cdot 3,3 \cdot 10^{-15} \cdot \frac{e}{m}$. Como

$$k = n \cdot e \cdot u$$

conclue-se que

$$n > \frac{k \cdot 10^{-15} \cdot m}{1,6 \cdot e^2}.$$

Exemplificando para o caso da prata temos, visto que

$$k = 5 \cdot 10^{-4}, \frac{e}{m} = 1,7 \cdot 10^7 \text{ e } e = 10^{-20},$$

$$n > 1,8 \cdot 10^{24}.$$

Como o numero de electrões por unidade de volume não varia muito de metal para metal, temos assim um limite inferior approximado para todos os metaes.

A theoria que temos desenvolvido conduz portanto a este resultado, que, como vamos ver, se não harmoniza com os resultados experimentaes na parte que diz respeito aos calores especificos dos metaes.

Vejamos, para o caso da prata, qual o calor especifico dado pela theoria e comparemol-o com o obtido experimentalmente.

A energia cinetica de cada electrão é

$$\frac{1}{2} m . v^2 = \alpha . \theta$$

sendo $\alpha = 1,5 \cdot 10^{-16}$, como se prova na theoria cinetica dos gazes. A energia necessaria para elevar de um grau a temperatura dos electrões contidos na unidade de volume do metal será

n . a.

Para o caso da prata, esta energia será maior que $1,3 \cdot 1,8 \cdot 10^8$ ergs, ou sejam 6 calorias.

Experimentalmente sabemos que, para elevar de um grau um centimetro cubico de prata, sam necessarias simplesmente 0,6 calorias, notando que este valor corresponde á energia necessaria para elevar a temperatura dos atomos e dos electrões.

Concluimos portanto que o numero de electrões por unidade de volume deduzido do modo como os metaes se comportam nas experiencias de RUBENS e HAGEN está longe de se harmonizar com o que daria para os calores especificos os valores que realmente se observam.

Esta contradicção levou J. J. THOMSON a estabelecer a theoria de que nos vamos occupar.

2.^a Theoria

Nesta theoria a corrente é produzida pelo movimento dos electrões passando como que de mão em mão, dum atomo para outro, ao longo do conductor.

Os electrões não se encontram livres, como na theoria já estudada, não podendo portanto ser applicada a theoria cinetica dos gazes.

A libertação dos electrões deve fazer-se por um processo que depende da proximidade dos atomos metallicos. Com effeito, a relação entre as conductibilidades dum metal no estado de vapor e no estado solido é extraordinariamente pequena comparada com a relação entre as densidades nos dois estados.

Vejamos como, suppondo que as coisas se passam assim, se póde estabelecer uma corrente.

THOMSON imagina que num metal existe um grande numero de pares de atomos formados por um electrizado positivamente e outro negativamente¹. Deste modo, os

¹ THOMSON — *The corpuscular theory of matter*, pag. 86 e seguintes.

atomos, quando proximos, exercem uma força consideravel uns sobre os outros, podendo em virtude desta força ser libertado um electrão. Este electrão póle conservar-se livre durante um intervallo de tempo consideravel ou póde ser immediatamente ligado a outro atomo. Suppondo que succede assim, podemos considerar dois casos.

1.º Os atomos estam dispostos sem ordem e entam da troca de electrões entre elles não resulta um fluxo de electrões numa direcção maior do que em qualquer outra e portanto não ha corrente.

2.º Os atomos estam polarizados sob a acção da força electrica que, por exemplo, é horizontal e da esquerda para a direita; os atomos dispor-se-ham de modo que as margens negativas dos pares que considerámos fiquem para a esquerda e as positivas para a direita e os electrões, libertando-se, tenderám a mover-se da margem esquerda (negativa) dum par de atomos para a direita (positiva) do outro que lhe fica contiguo. Deste modo o fluxo de electrões da direita para a esquerda será maior do que em qualquer outra direcção; haverá portanto uma corrente da esquerda para a direita, isto é, no sentido da força electrica. Este mecanismo é semelhante ao imaginado por GNORTHUS na sua antiga theoria sobre a electrolyse.

Calcula-se que, segundo este modo de ver, a intensidade da corrente é dada pela expressão

$$i = \frac{2}{9} \cdot \frac{e^2 \cdot d \cdot p \cdot n \cdot b \cdot X}{\alpha \cdot \theta}$$

suppondo que cada par de atomos descarrega um electrão

p vezes por segundo, designando por d a distancia entre as cargas em cada par de atomos, por n o numero de pares por unidade de volume e por b a distancia entre os centros destes pares.

A lei de Ohm é assim satisfeita.

Relação entre as conductibilidades thermica e electrica.

— Da expressão que apresentamos para o valor da intensidade da corrente concluimos que a conductibilidade electrica é

$$c = \frac{2}{9} \cdot \frac{e^2 \cdot d \cdot p \cdot n \cdot b}{\alpha \cdot \theta}.$$

Calcula-se que, segundo o modo de ver que agora consideramos, o valor da conductibilidade thermica é dado pela expressão

$$k = \frac{1}{3} \cdot n \cdot b^2 \cdot p \cdot \alpha.$$

Logo

$$\frac{k}{c} = \frac{3}{2} \cdot \frac{\alpha^2 \cdot \theta}{e^2} \cdot \frac{b}{d} \dots \dots \dots (1).$$

O valor achado na primeira theoria foi

$$\frac{k}{c} = \frac{4}{3} \cdot \frac{\alpha^2 \cdot \theta}{e^2}, \dots \dots \dots (2)$$

constante para todos os metaes.

A relação (1) varia de metal para metal, visto depender a mais da relação $\frac{b}{d}$.

Os valores calculados segundo (1) e (2) não differem porem muito, não podendo portanto, baseando-nos na relação entre as duas conductibilidades, preferir uma ou outra theoria.

Efeito de Hall.— Este effeito é produzido pela acção do campo magnetico sobre a distribuição dos eixos dos pares de atomos que temos supposto existirem num metal.

Um campo electrico tende a tornar parallelos ás linhas de força os eixos desses pares. Debaixo da acção dum campo magnetico as cargas, negativa e positiva, de cada par seram actuadas por forças perpendiculares á força magnetica e á direcção do movimento que cada par tiver.

O campo magnetico exerce a mesma acção sobre cada uma das cargas, suppondo que cada par gira em torno dum ponto central, visto que as duas cargas teem a mesma velocidade e a acção da força magnetica não produzirá a deflecção dos eixos dos pares; quando estes giram em torno dum ponto não central, as acções exercidas pelo campo magnetico não seram eguaes sobre cada uma das cargas e portanto existirá um binario que tende a deflectir os eixos. Deflectindo-se os eixos, deflecte-se a corrente; comprehende-se assim como é originado, segundo o modo de ver que agora consideramos, o effeito de HALL.

O signal deste effeito depende de, no movimento que cada par adquire pela acção da força electrica, o movimento mais rapido ser o da carga positiva ou o da negativa.

Efeito de Peltier e de Thomson.— Na primeira theoria a intensidade da corrente varia com a força electrica, por-

que esta influe no movimento dos electrões livres, augmentando ou diminuindo a sua velocidade.

Na theoria de que nos occupamos as alterações da corrente sam produzidas pela acção do campo electrico sobre os pares de atomos e não sobre os electrões livres. Comprehende-se como, applicando certas forças electricas, variações na polarização dos eixos produzam um augmento ou diminuição na corrente.

Demonstra-se que, segundo este modo de ver, o numero de electrões que, por segundo, passam atravez da unidade de area é igual a $\frac{1}{6} . n . p . b$. Suppondo que estam em contacto dois metaes para os quaes esta expressão não tem o mesmo valor, haverá na junção dos dois metaes uma accumulção de electricidade donde resulta um campo electrico que tende a egualar a corrente nos dois metaes; esta força electrica representa o effeito de PELTIER.

O effeito de THOMSON é representado pelas forças que contribuem para que a corrente seja uniforme atravez dum conductor desegualmente aquecido.

Notemos finalmente que nesta theoria se não entra em consideração com o numero de electrões por unidade de volume do metal e portanto não subsiste a contradicção que notamos quando tratámos da primeira theoria.

Tal é, muito resumidamente, a theoria que J. J. THOMSON propõe para substituir a primeira que tem merecido a attenção dum grande numero de physicos e particularmente de RIECKE, DRUDE e LORENTZ.

Theoria da radiação de Lorentz

Segundo LORENTZ, a radiação emittida por um metal é proveniente da agitação thermica dos seus electrões livres.

Quando um electrão soffre uma collisão, experimenta variações de velocidade que originam pulsações electro-magneticas. Deste modo, cada atomo do metal, visto que está constantemente soffrendo os choques dos electrões, é um centro de radiação.

Segundo o theorema de FOURIER, a serie de pulsações emittidas pelos electrões que chocam um certo atomo podem considerar-se como a sobreposição duma serie de ondas harmonicas de força electrica. A theoria electro-magnetica da luz indica-nos que estas ondas constituem a luz e o calor radiante.

LORENTZ mostrou que as radiações de grande comprimento da onda emittidas pelos metaes se podem considerar como uma parte das pulsações produzidas como vimos.

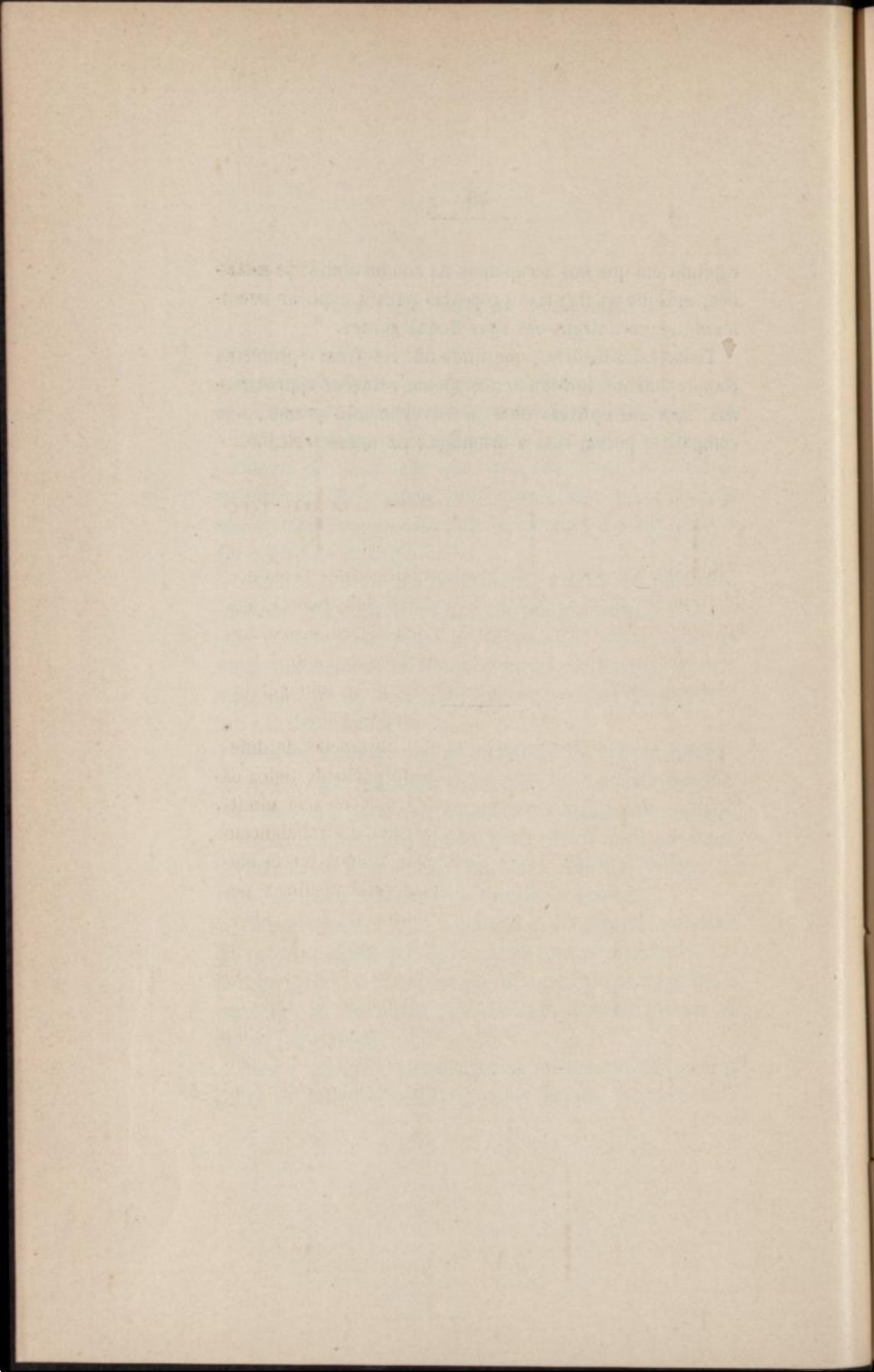
Os valores theoricos obtidos por LORENTZ harmonizam-se perfeitamente com os experimentaes. Aquelles valores foram calculados admittindo a theoria de DRUDE.

THOMSON mostra que, seguindo a sua theoria, a theoria de LORENTZ ainda fica de accordo com os resultados experimentaes. As pulsações seram agora produzidas pelas variações da velocidade dos electrões quando passam de atomo para atomo.

Com a exposição resumidissima da theoria de LORENTZ sobre as radiações emittidas pelos metaes, terminamos o

capitulo em que nos occupámos da conductibilidade metallica, em que as theorias propostas para a explicar unicamente se encontram nas suas linhas geraes.

Todas estas theorias, que ainda não resolvem o problema completamente, indicando-nos apenas soluções approximadas, sam susceptiveis dum desenvolvimento grande, não compativel porem com a orientação do nosso trabalho.



CAPITULO IV

Arranjo dos electrões no atomo

Supponos neste capitulo que as propriedades da materia derivam de effeitos electricos; a base das theorias que apresentamos é a electricidade e o seu objecto é construir um modelo do atomo, dispondo convenientemente a electricidade positiva e negativa, de modo a imitar tanto quanto possivel as propriedades do atomo real.

O facto dos electrões provirem de substancias de diferente natureza suggere que elles façam parte de todos os atomos. Como se repellem mutuamente, é necessario admitir no atomo a existencia de forças que contrabalancem estas repulsões. Daqui e do facto dos atomos serem electricamente neutros no seu estado normal resulta a necessidade de admitir nestes a existencia da electricidade positiva.

Admittir-se-ha que dentro do atomo as attrações e repulsões variam na razão inversa do quadrado das distancias. A prova experimental desta lei só se realiza porém quando as distancias entre as cargas e estas sam muitissimo maiores do que as que se manifestam no atomo.

Resultados experimentaes

O arranjo dos electrões, quando situados num plano, pode determinar-se experimentalmente pelo methodo do physico americano MAYER. Este physico conseguiu, com outro fim, arranjar um modelo em que as forças que produzem o equilibrio sam semelhantes ás que nós supomos actuar nos electrões.

Um certo numero de agulhas magneticas, de igual intensidade, fluctuam verticalmente num vaso com agua, seguras a pequenos discos de cortiça; as agulhas estam dispostas de modo que os polos do mesmo nome estejam todos voltados para o mesmo lado.

Estas agulhas repellem-se mutuamente com forças inversamente proporcionaes ao quadrado das distancias. A força attractiva é produzida por um magnete collocado acima da superficie da agua, tendo o seu polo inferior de signal contrario ao polo superior das agulhas. Este polo exerce sobre cada agulha uma força cuja componente parallela á superficie da agua é dirigida para a projecção do polo nesta superficie.

Temos assim um modelo em que se manifestam forças semelhantes ás que actuam sobre os electrões do atomo hypothetico que temos considerado.

Lançando successivamente cada agulha na agua, vam-se obtendo modelos definidos. Tres dispõem-se nos verticos dum triangulo, quatro nos verticos dum quadrado, cinco nos dum pentagono; quando se lança a sexta agulha, observa-se que cinco se dispõem num pentagono e uma

no interior deste; quando se lança a setima, seis dispõem-se nos verticos dum hexagono e uma no seu interior, etc.

A seguinte tabella de MAYEN dá-nos o arranjo das agulhas para um grande numero de casos.

1	2	3	4	5
{ 1.5 1.6 1.7	{ 2.6 2.7	{ 3.7 3.8	{ 4.8 4.9	} 5.9
{ 1.5.9 1.6.9 1.6.10 1.6.11	{ 2.7.10 2.8.10 2.7.11	{ 3.7.10 3.7.11 3.8.10 3.8.11 3.8.12 3.8.13	{ 4.8.12 4.8.13 4.9.12 4.9.13	} 5.9.12 5.9.13
{ 1.5.9.12 1.5.9.13 1.6.9.12 1.6.10.12 1.6.10.13 1.6.11.12 1.6.11.13 1.6.11.14 1.6.11.15	{ 2.7.10.15 2.7.12.14	{ 3.7.12.13 3.7.12.14 3.7.13.14 3.7.13.15	{ 4.9.13.14 4.9.13.15 4.9.14.15	

Nesta tabella, por exemplo, 4.9.14.15 significa que quarenta e duas agulhas se dispõem em quatro anéis,

tendo sucessivamente, partindo de dentro para fóra, quatro, nove, quatorze e quinze agulhas.

Dum modo geral, notaremos que, quando, num plano, os electrões tendem a distribuir-se numa serie de aneis, augmentando o numero de electrões á medida que augmenta o raio do anel.

A experiencia de MAYER tem sido modificada por alguns physicos; assim WOOD, em vez de agulhas magneticas, empregou espheras de ferro fluctuando no mercurio; estas espheras eram magnetizadas por inducção por um grande magnete collocado acima dellas; deste modo se obtiveram modelos analogos aos obtidos por MAYER, ainda que neste caso a força repulsiva não varia na razão inversa do quadrado das distancias. MONCKMAN usou, em vez de magnetes, conductores fluctuando verticalmente na agua; estes eram electrizados por inducção por meio dum corpo carregado, suspenso acima da superficie da agua.

(NAGAOKA)

NAGAOKA¹, guiado por os trabalhos de MAXWELL sobre a estabilidade dos aneis de SATURNO, fez conhecer á sociedade physico-mathematica de TOKIO em 1903 a seguinte hypothese acerca de constituição atomica.

O atomo é formado por um grande numero de electrões dispostos com eguaes intervallos numa circumferencia, repellindo-se mutuamente com uma força inversamente

¹ NAGAOKA — *Nature* — London — Fevereiro 25, Junho 9, 1904.

proporcional ao quadrado das distancias; no centro da circumferencia existe uma carga de electricidade positiva que atrahê os electrões com uma força que varia segundo a mesma lei. NAGAOKA suppõe que no atomo existem ainda mais electrões mas não precisa o seu modo de distribuição, podendo descrever orbitas isoladas ou formar quaesquer systemas regulares.

Estes ultimos electrões exercem acção sobre os que formam o anel referido, mas NAGAOKA não a considera nos calculos que faz.

Segundo este physico este systema será estavel para pequenas oscillações, que podem consistir em vibrações transversaes, perpendiculares ao plano da orbita, e em perturbações angulares ou radiaes representando rarefacção ou condensação na distribuição dos electrões. Calculando o periodo das vibrações executadas pelos electrões quando elles sam ligeiramente deslocadas da sua trajectoria circular achou que os periodos formam uma serie com o mesmo andamento geral que o da serie dos periodos vibratorios correspondentes ás riscas espectraes de alguns elementos. Achou que as perturbações angular e radial sam sensivelmente proporcionaes a

$$e^{kvt}$$

em que k é uma constante, v o numero dos electrões do anél e t o tempo; portanto se a perturbação continua durante um intervallo de tempo grande o anél perderá a sua estabilidade e os electrões seram projectados com grande velocidade; estes electrões constituiram os raios β

e a carga positiva central fará parte dos raios α . Sendo o peso atomico proporcional a v conclue-se que a instabilidade se produz com maior facilidade nos elementos mais pesados.

Tal é nas suas linhas geraes a hypothese de NAGAOKA. Vamos agora expor os trabalhos de THOMSON, semelhantes aos que vimos de considerar, mas muito mais completos.

(J. J. THOMSON)

Resultados theoreticos

THOMSON attendendo ao pouco que sabemos acerca da electricidade positiva admite, como KELVIN, que ella constitue uma esphera de densidade uniforme; este modo de ver facilita muito as investigações mathematicas. Os electrões estaram distribuidos no interior desta esphera, sendo attraídos, como facilmente se demonstra, para o seu centro com uma força que varia na razão directa da distancia.

Existe equilibrio quando a attracção da electricidade positiva é contrabalancada pela repulsão dos electrões.

O problema que temos primeiramente a considerar é ver como 1, 2, 3, ... n electrões podem existir dentro duma esphera de electricidade positiva de densidade uniforme de modo que a carga negativa total seja electricamente equivalente á carga positiva da esphera.

Apresentamos os resultados a que se chega considerando successivamente 1, 2, etc., electrões.

Um electrão.— Neste caso é evidente que o electrão deve occupar o centro da esphera.

É importante sabermos qual é a energia potencial que corresponde a cada arranjo, isto é, a quantidade de trabalho Q necessario para separar completamente as cargas electricas. Este trabalho é igual á differença entre o trabalho necessario para levar a carga negativa do seu lugar ao infinito e o trabalho ganho em espalhar a electricidade positiva.

Demonstra-se que

$$Q = \frac{9}{10} \cdot \frac{e^2}{a}$$

sendo a o raio da esphera.

Dois electrões.— Para que os dois electrões estejam em equilibrio é necessario que estejam situados em dois pontos A e B em linha recta com o centro O da esphera e que seja satisfeita a relação

$$OA = OB = \frac{a}{2}, \quad AB = a.$$

Demonstra-se neste caso que

$$Q = \frac{21}{10} \cdot \frac{e^2}{a}.$$

Tres electrões.— Estaram em equilibrio estavel quando

*

situados nos vertices dum triangulo equilatero cujo centro coincide com o da esphera e cujo lado tem um comprimento igual ao raio.

Demonstra-se que

$$Q = \frac{36}{10} \cdot \frac{e^2}{a}.$$

Quatro electrões.—Em repouso, não pode haver equilibrio estando os quatro electrões no mesmo plano. Para que o equilibrio seja estavel os quatro electrões devem occupar os vertices dum tetraedro regular cujo centro coincide com o da esphera e cuja aresta tem um comprimento igual ao raio.

Para este caso demonstra-se que

$$Q = \frac{54}{10} \cdot \frac{e^2}{a}.$$

N electrões.—O problema da distribuição de n electrões não está ainda resolvido no caso geral; unicamente se conhece a solução para o caso em que os electrões se acham todos num plano que passe pelo centro da esphera. Indicamos o resultado obtido.

Consideremos n electrões collocados nas vertices dum polygono regular de n lados. Cada electrão está á distancia r do centro da esphera e a repulsão exercida sobre cada electrão pelos $n - 1$ restantes é igual á attracção que exerce sobre esse electrão a electricidade positiva. Demonstra-se que para $n > 5$ o equilibrio é instavel; 5 é

o maior numero de electrões que podem existir num unico anel.

É porem possivel a existencia dum maior numero de electrões num anel desde que haja alguns no seu interior. Representando por n o numero de electrões dum anel e por i o numero dos que estam no seu interior, mostra-se que correspondem a equilibrio estavel as seguintes combinações:

$$\begin{array}{l} n - 5 . 6 . 7 . 8 . 9 . 10 . 12 . 13 . 15 . 20 . 30 . 40 \\ i - 0 . 1 . 1 . 1 . 2 . 3 . 9 . 10 . 15 . 39 . 101 . 232 \end{array}$$

Para grandes valores de n , i é proporcional a n^3 . Considerando os electrões num só plano o equilibrio existirá para uma disposição conveniente em aneis concentricos.

O problema consiste portanto na determinação da função

$$i = f(n).$$

Designando por n_1 o numero de electrões existentes no anel exterior e por $N - n_1$ o numero dos que deverá haver no seu interior para haver equilibrio, será

$$N - n_1 = f(n_1).$$

A resolução desta equação dá-nos n_1 . Para achar o numero de electrões n_2 do anel contiguo resolveremos a equação

$$N - n_1 - n_2 = f(n_2),$$

para acharmos n_3 resolveremos uma equação analoga e assim successivamente.

Estas equações podem ser resolvidas graphicamente. Deste modo THOMSON chegou á seguinte tabella que dá para cada valor do numero de electrões do primeiro anel (exterior) os numeros que correspondem aos outros.

Apresentamos só os numeros correspondentes até cinco aneis.

1 anel } 1, 2, 3, 4, 5.

2 aneis { 5, 6, 7, 8, 8, 8, 9, 10, 10, 10, 11
1, 1, 1, 1, 2, 3, 3, 3, 4, 5, 5.

3 aneis { 11, 11, 11, 12, 12, 12, 13, 13, 13, 13, 13, 14, 14,
15, 15.
5, 6, 7, 7, 8, 8, 8, 8, 9, 10, 10, 10, 10,
10, 11.
1, 1, 1, 1, 1, 2, 3, 3, 3, 3, 4, 4, 5,
5, 5.

4 aneis { 15, 15, 15, 16, 16, 16, 16, 16, 16, 16, 17, 17, 17,
17, 17, 17, 17.
11, 11, 11, 11, 12, 12, 12, 13, 13, 13, 13, 13, 13,
14, 14, 15, 15.
5, 6, 7, 7, 7, 8, 8, 8, 8, 9, 9, 10, 10,
10, 10, 10, 11.
1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 2, 3, 3, 3, 3, 4,
4, 5, 5, 5.

5 aneis { 17, 18, 18, 18, 18, 18, 19, 19, 19, 19, 20, 20, 20,
 20, 20, 20, 20, 20, 20, 21, 21.
 15, 15, 15, 15, 16, 16, 16, 16, 16, 16, 16, 16, 16,
 17, 17, 17, 17, 17, 17, 17, 17.
 11, 11, 11, 11, 11, 12, 12, 12, 12, 13, 13, 13, 13,
 13, 13, 13, 14, 14, 15, 15, 15.
 5, 5, 6, 7, 7, 7, 7, 8, 8, 8, 8, 8, 9,
 9, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 11.
 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 3, 3,
 3, 3, 4, 4, 5, 5, 5, 5.

Vimos quando considerámos os casos de um e dois electrões que os valores de Q eram respectivamente

$$\frac{9}{10} \cdot \frac{e^2}{a} < \frac{21}{10} \cdot \frac{e^2}{a}.$$

Portanto o systema formado pela esphera de electricidade positiva e dois electrões é mais estavel do que o formado por duas espheras cada uma com um electrão. Haverá portanto uma tendencia dos systemas que conteem um só electrão para formarem systemas mais complexos.

Se dois systemas se unem de modo que a esphera de electricidade positiva resultante tenha um volume igual á somma dos componentes, o valor de Q para o systema resultante é menor do que a somma dos valores de Q correspondentes aos systemas componentes. Haverá neste caso tendencia para a dissociação do systema resultante.

O systema formado pela esphera de electricidade positiva e tres electrões é mais estavel que os systemas

formados, ou por tres esferas cada uma com um electrão ou por duas esferas tendo uma um electrão e a outra dois. Haverá portanto uma tendencia para a associação. Se a electricidade positiva em vez de ser invariavel em dimensões for invariavel em densidade haverá tendencia para a dissociação.

Lei periodica

O arranjo especial que, segundo temos visto, devem adquirir os electrões para que se estabeleça o equilibrio, suggere a explicação de algumas propriedades que os atomos possuem.

Consideremos a lei periodica. Segundo esta lei, dispendo os elementos por ordem crescente de pesos atomicos, e escolhendo um determinado elemento, por exemplo, o lithio, observa-se que as propriedades possuidas por este elemento se não encontram nos elementos que immediatamente o seguem apparecendo no sodio passado um certo numero de elementos, desapparecendo em seguida para aparecerem novamente no potassio passado outro grupo de elementos, etc.

Comparando os seguintes arranjos calculados por THOMSON

				5,	1	
			11,	5,	1	
		15,	11,	5,	1	
	17,	15,	11,	5,	1	
21,	17,	15,	11,	5,	1	
24,	21,	17,	15,	11,	5,	1

reconhecemos em todos elles uma parte commum e portanto devemos esperar em todos elles propriedades semelhantes. Para chegarmos a estes arranjos observa-se a periodicidade que observámos nos elementos.

Vejamos, por exemplo, o que deverá succeder com respeito aos espectros produzidos pelos arranjos considerádos. As vibrações dos electrões podem ser divididas em dois grupos: o primeiro é formado pelas vibrações que derivam da rotação dos electrões em volta das suas orbitas, o segundo resulta das perturbações produzidas num anél pela acção dos outros anéis.

Com respeito ao primeiro grupo, se todos os electrões possuem a mesma velocidade angular, a frequencia das vibrações produzidas pela rotação dum anél será proporcional ao numero de electrões que elle contém e portanto nos espectros produzidos por cada um dos arranjos considerádos, haverá series de riscas cujas frequencias estam entre si como o numero de electrões de cada anél. Com respeito ao segundo grupo, suppondo que a distancia entre dois electrões contiguos dum anél é pequena comparada com a distancia entre os mais proximos electrões de anéis contiguos, as perturbações produzidas comquanto produzam alterações no valor dos periodos de vibração não deveram alterar muito as relações que considerámos. Deverá portanto haver semelhança nos espectros correspondentes aos arranjos considerádos. O mesmo deverá acontecer com respeito a outras propriedades physicas e chemicas.

Se supposermos que o peso atomico dum elemento é proporcional ao numero de electrões existentes no atomo, e THOMSON apresenta argumentos que nos levam a assim

admittir, encontramos no que dissémos a explicação da lei periodica. Considerando uma serie de atomos tal que cada atomo derive do antecedente pela addição dum anél de electrões, esta serie deverá ser formada por elementos pertencentes ao mesmo grupo do quadro de MENDELEJEF.

Sabemos tambem que dispondo os elementos por ordem crescente de pesos atomicos achamos em certos pontos diferenças extraordinariamente grandes nas propriedades de elementos consecutivos, por exemplo, fluor e sodio. Na tabella de THOMSON observamos a mesma diferença, por exemplo, entre os arranjos de cinco e seis electrões, entre os de dezeseis e dezeseite, etc.

Propriedades electro-químicas e valencia

Suppondo o atomo constituido como temos visto podemos ainda explicar outras propriedades do atomo real.

Consideraremos a divisão dos elementos em duas classes, electro-positivos e electro-negativos, procurando achar qual a razão porque, por exemplo, o atomo de potassio ou sodio tende a adquirir uma carga positiva e o de chloro uma carga negativa; procuraremos tambem explicar a propriedade a que em chimica se dá o nome de valencia. Em virtude desta propriedade os elementos podem classificar-se em grupos, monovalentes, bivalentes, etc., de tal modo que a molecula dum composto formado por dois elementos do primeiro grupo contém o mesmo numero de atomos de cada elemento, a molecula dum composto formado por um elemento do primeiro grupo e outro do segundo con-

têm duas vezes mais átomos do elemento do primeiro do que do segundo, etc.

O estudo da condução da electricidade através dos gazes mostra-nos que os electrões podem ser separados do átomo. Compreende-se que a separação se possa realizar em virtude da grande velocidade do movimento de revolução dos electrões, permitindo-lhes vencer a atracção do átomo, em virtude de colisões de átomos com outros átomos ou electrões animados de grande velocidade, etc.

Separado um electrão do átomo este fica com uma carga positiva; torna-se agora mais difficil a separação de outro electrão visto que, tendo o átomo uma carga positiva, exerce sobre este electrão uma atracção maior do que a que o átomo neutro exercia sobre o primeiro separado. Os átomos dos diversos elementos podem comportar-se differentemente.

Em alguns átomos podem dar-se circumstancias taes que lhes permittam, perdendo um, dois, tres electrões, adquirir uma carga positiva de uma, duas, tres unidades. Em outros átomos podem as circumstancias ser taes que seja possivel, recebendo um, dois, tres electrões, adquirirem uma carga negativa de uma, duas, tres unidades.

Os primeiros átomos correspondem a elementos electro-positivos e os segundos a elementos electro-negativos.

Supponhamos agora que estão em presença átomos de duas classes, A e B, podendo os da primeira classe perder facilmente os seus electrões e os da segunda reter electrões extranhos. Se os átomos da classe A só podem perder um electrão e os da classe B só podem tambem reter um ficaram em presença átomos da classe A com uma

unidade de electricidade positiva e atomos da classe B com uma unidade de electricidade negativa: estes atomos attrahir-se-ham formando-se o composto AB. Se os atomos da classe A podem perder dois electrões e os da classe B só podem reter um ficaram em presença atomos A com duas unidades de electricidade positiva e atomos B com com uma unidade de electricidade negativa; formar-se-ha agora o composto AB₂.

A valencia dum atomo depende portanto da facilidade com que elle ganha ou perde electrões. Comprehende-se que possa ser influenciada pelas condicções physicas que existem no acto da combinação.

Melhor se comprehenderá o que dizemos no seguinte exemplo que THOMSON apresenta:

Consideremos todos os arranjos (tabella de THOMSON) que teem o anél exterior com 20 electrões. Occupemo-nos primeiro dos arranjos que teem o maior e o menor numero de electrões; o primeiro tem 59 e o segundo 67.

No primeiro destes arranjos o numero de electrões existentes no interior do anél exterior é justamente o sufficiente para tornar este anél estavel. Em virtude duma perturbação de origem externa póde ser facilmente separado um electrão ficando portanto o arranjo com uma carga positiva. A estabilidade do anél exterior, no grupo de arranjos que consideramos, vae augmentando com o numero de electrões; o anél menos estavel é o de que nos occupamos e o mais estavel é o que corresponde a 67. Notemos que, quando o arranjo de 59 electrões perde um, os 58 restantes formaram o arranjo mais estavel do grupo que tem um anél exterior com 19 electrões; como este

arranjo é muito estavel não perderá mais electrões, tendendo, visto possuir uma carga positiva, a adquirir o electrão perdido. Se, por qualquer circumstancia, o arranjo de 59 electrões vae adquirindo mais, a estabilidade irá augmentando até ser attingido o numero 67; o arranjo correspondente a 68 é muito instavel de modo que attingido este numero o systema perde electrões. Póde attingir-se deste modo o numero 67; o arranjo considerado corresponderá a um atomo com uma valencia electro-positiva representada por 0 e com uma valencia electro-negativa representada por 8.

Vejamos agora o que succede no arranjo de 67 electrões. O anél exterior deste arranjo é, como já dissemos, o mais estavel do grupo. Se este arranjo adquire mais um electrão os 68 que ficam constituem o arranjo menos estavel do grupo a que corresponde um anél exterior de 21, perdendo portanto facilmente o electrão adquirido. Se o arranjo perde, apesar da sua estabilidade, até 8 electrões os systemas resultantes seram estaveis; á medida que o arranjo perde electrões vae augmentando a difficuldade em perder outros visto ficar com uma carga positiva cada vez maior, porém, como a estabilidade vae diminuindo essa difficuldade é até certo ponto compensada. O arranjo póde, portanto, posto que com difficuldade, perder electrões até attingir o numero 59 que não póde passar em virtude de grande estabilidade do arranjo de 58 e da carga positiva resultante. O arranjo considerado corresponderá a um atomo com uma valencia electro-positiva representada por 8 e uma valencia electro-negativa representada por 0.

Consideremos agora um arranjo intermedio, por exemplo, o de 60 electrões. Do mesmo modo se vê que este arranjo pôde perder um electrão ou adquirir mais sete. Corresponderá portanto ao atomo dum elemento com uma valencia electro-positiva representada por 1 e uma valencia electro-negativa representada por 7.

Fazendo identicas considerações para todos os arranjos do grupo que considerámos, chegamos ao resultado expresso na seguinte tabella:

N.º de electrões	59	60	61	62	63	64	65	66	67
Valencia	{ +0	+1	+2	+3	+4	-3	-2	-1	-0
	-8	-7	-6	-5	-4	+5	+6	+7	+8
	Electro-positivos					Electro-negativos			

Esta sequencia de propriedades é muito semelhante á que se observa nos atomos reaes. Assim, consideremos as seguintes series de elementos

He.	Li.	Be.	B.	C.	N.	O.	I.	Ne
Ne.	Na.	Mg.	Al.	Li.	P.	S.	Cl.	Arg.

O primeiro e o ultimo elemento de cada serie teem uma valencia nulla, o segundo é um elemento monovalente electro-positivo e o penultimo um elemento monovalente electro-negativo, o terceiro é bivalente electro-positivo e o ante-penultimo bivalente electro-negativo, etc.

Na tabella que apresentamos um arranjo tem duas valencias conforme actua como electro-positivo ou como electro-negativo. AVEGG mostrou, unicamente por considera-

ções químicas, que um elemento pôde ter valencias diferentes quando faz parte dum composto como electro-positivo ou como electro-negativo. O iode é monovalente quando combinado com elementos electro-positivos mas tem uma valencia muito maior quando combinado com elementos mais electro-negativos como, por exemplo, no composto ICl_5 . Este modo de ver foi confirmado recentemente pelos trabalhos de WALDEN. A somma dos valores das duas valencias tambem concorda com o valor deduzido de considerações químicas.

Radio-actividade

Quando estudámos as configurações estaveis de electrões, considerámos estes em repouso. Quando se moverem em orbitas circulares em volta do centro da esphera, a força centrífuga proveniente deste movimento tenderá a afastal-os do centro; o caracter da configuração nem sempre será alterado.

Assim, tres electrões, quando em repouso, constituirám um arranjo estavel estando situados nos vertices dum triangulo equilatero; quando em movimento afastar-se-hám do centro da esphera, tanto mais quanto maior for a velocidade, mas conservando-se nos vertices dum triangulo equilatero. O caracter da configuração não é alterado.

Em outros casos não succede porem assim. Sabemos que quatro electrões constituem um arranjo estavel, estando em repouso, quando situados nos vertices dum tetraedro regular; em rapido movimento dispor-se-ham

nos vertices dum quadrado, sendo o plano deste perpendicular ao eixo de rotação; quando a velocidade de rotação descer abaixo dum certo valor, esta configuração deixa de ser estavel e passa a ser a primeira.

Identicas considerações se podem fazer acerca dos outros arranjos de electrões.

Ha casos portanto em que a configuração, quando os electrões estam em rapido movimento, é essencialmente diferente da que corresponde ao mesmo numero de electrões em repouso. Existe uma velocidade critica acima da qual é estavel a primeira configuração e abaixo da qual é estavel a segunda; quando a velocidade, diminuindo, passa por este valor critico, dá-se no arranjo uma convulsão ou explosão acompanhada de diminuição de energia potencial e augmento de energia cinetica.

Como sabemos, admite-se que um atomo está sempre irradiando energia. Com respeito aos arranjos que temos considerado, resumimos os seguintes resultados. O poder radiante dum unico electrão é grande, mesmo que a sua velocidade não seja excessivamente grande, porem, considerando outro electrão symmetricamente situado, a quantidade de radiação emittida é consideravelmente mais pequena; tres electrões nos vertices dum triangulo equilatero dam lugar a uma radiação menor do que a de dois ou, dum modo geral, a radiação produzida por um systema de electrões symmetricamente collocados diminue com o numero de electrões. A quantidade de que a radiação diminue depende da velocidade dos electrões; se estes descrevem as suas orbitas com uma velocidade igual a um

decimo da da luz, calcula-se que dois electrões na extrê-
midade dum diametro emittem um decimo da radiação
que um só emite; se a velocidade é um centesimo da da
luz, os dois electrões emittem unicamente um millesimo
da radiação correspondente a um só.

Se os electrões sam deslocados das posições em que se
achavam symetricamente situados em volta do centro, a
quantidade de radiação emittida augmenta muito. Num
arranjo formado por um grande numero de electrões a
radiação emittida varia extraordinariamente com o modo
de distribuição; se os electrões se acham distribuidos
numa circumferencia muito proximos uns dos outros, a
radiação será muito pequena e, quando formarem um anel
continuo de electricidade negativa, a radiação será nulla;
porem, se os mesmos electrões se movem irregularmente
no atomo, a quantidade de radiação emittida será extra-
ordinariamente grande.

Visto que o atomo está continuamente perdendo energia,
a velocidade critica será necessariamente attingida. Como
a energia se perde muito vagarosamente, seram precisos
de certo milhares de annos para que a velocidade tome
este valor. Sabemos já que quando a velocidade desce
alem deste limite, a configuração do atomo é modificada,
dando-se uma diminuição de energia potencial e um acresc-
imo egual na energia cinetica dos electrões. O augmento
de velocidade dos electrões póde causar a divisão do atomo
em dois ou mais systemas; dar-se-ha a transmutação dum
elemento noutro se ha divisão, ou numa forma allotropica
se ha simplesmente mudança de configuração.

A instabilidade do atomo que vimos de considerar origina o phenomeno da radio-actividade.

OLIVER LODGE (1) suggere outra causa de instabilidade do atomo.

Um electrão, movendo-se em volta dum atomo, é attraído por elle; a sua velocidade vae diminuindo em virtude da radiação que emite e portanto vae-se approximando do centro, o que origina um augmento de velocidade inversamente proporcional á raiz quadrada da distancia.

Augmentando a velocidade e por conseguinte a inercia, torna-se cada vez mais difficil á força centripeta retel-o na sua orbita, visto que, sendo esta força de origem electrica, não é funcção da velocidade ou, quando seja, diminue quando ella augmenta.

Chegará portanto um momento em que o equilibrio não é possivel e o electrão mover-se-ha tangencialmente com a velocidade que adquiriu. Deste modo seram originados os raios β .

A projecção de electrões, effectuada deste modo, pôde originar uma alteração na configuração do atomo donde resulte ser destacada uma parte delle. Assim se produzem raios α . As alterações resultantes no movimento dos electrões originam os raios γ .

A energia emittida pelas substancias radio-activas é, segundo este modo de ver, e tambem segundo o modo de ver de THOMSON, que atraz consideramos, de origem interna.

(1) OLIVER LODGE, *Electrons*, pag. 185.

Determinação do numero de electrões existentes num atomo

1.º methodo.—Consideremos um feixe de raios RÖNTGEN e supponhamos que atravessa um meio onde existem electrões. Quando a pulsação attinge o electrão, este será actuado por uma força electrica intensa e o seu movimento é acelerado. Sabemos que, quando a velocidade dum corpo carregado varia, se originam pulsações de força electrica e magnetica, sendo a grandeza destas forças proporcional á acceleração do corpo. Deste modo a radiação primaria de RÖRTGEN, actuando sobre um electrão, origina uma radiação secundaria; esta ultima radiação cessa logo que a acceleração desaparece, isto é, logo que a pulsação primaria deixa o electrão. Suppondo que os electrões estam tam proximos que entre as pulsações produzidas por cada um dos electrões não existe um intervallo de tempo finito, sobrepondo-se todas de modo a produzir uma radiação secundaria do mesmo typo que a primaria, demonstra-se que a energia da radiação secundaria emitida na unidade de tempo pela unidade de volume é igual a

$$\frac{8 \cdot \pi}{3} \cdot \frac{N \cdot e^4}{m^2} \cdot E,$$

designando por N o numero de electrões por unidade de volume, por e a carga dum electrão, por m a sua massa e por E a energia da radiação primaria que na unidade de tempo passa atravez da unidade de volume.

BARKLA achou que para elementos de pequeno peso atomico o coeficiente de absorção era o mesmo para a radiação primaria e secundaria. Reconheceu que, para estes elementos, a relação entre a energia secundaria emittida por unidade de volume e a energia da radiação primaria que atravessa o mesmo volume é independente da natureza desta ultima radiação; para diversas substancias esta relação é directamente proporcional á sua densidade. Concluimos portanto, visto que esta relação tem o valor

$$\frac{8 \cdot \pi}{3} \cdot \frac{N \cdot e^4}{m^2},$$

que a massa duma substancia é proporcional ao numero de electrões que contem.

BARKLA achou, para o ar atmosferico,

$$\frac{8 \cdot \pi}{3} \cdot \frac{N \cdot e^4}{m^2} = 0,00025$$

donde se deduz

$$N \cdot e = 40.$$

Designando por n o numero de moléculas de ar existentes num centimetro cubico, temos

$$n \cdot e = 0,4$$

donde

$$N = 25 \cdot n.$$

Concluimos que cada molecula de ar contem 25 electrões, isto é, que o numero de electrões em cada atomo é approximadamente igual ao peso atomico. Como a energia secundaria emittida é proporcional á densidade do gaz que se considera, este resultado sendo verdadeiro para um elemento será verdadeiro para os outros.

Devemos notar que podem existir electrões ligados por forças tam fortes á esphera da electricidade positiva que a radiação emittida por elles seja muito pequena comparada com a emittida pelos electrões mais livres; estes electrões não fazem parte do numero calculado pelo methodo exposto.

O methodo que vamos agora considerar não está sujeito a esta objecção.

2.º methodo. — Supponhamos que um feixe de raios cathodicos atravessa um determinado meio; consideremos um electrão cathodico A e um outro B que faça parte dum atomo do meio atravessado. O electrão A, em virtude da grande velocidade que possui, penetra no atomo e quando passa proximo dum electrão inter-atómico, tal como B, será repellido por elle; a trajectoria do electrão A será portanto deflectida. Resulta que um feixe de raios cathodicos, seguindo uma certa direcção, se vae diffundindo, de modo que o numero de electrões que passam na unidade de superficie, perpendicularmente a essa direcção, vae diminuindo á medida que nos afastamos da origem. Podemos, significando o que dizemos, dizer que os raios cathodicos vao sendo absorvidos. O electrão A, depois de soffrer a acção do electrão B, conserva a mes-

ma velocidade, sendo apenas deflectida a direcção do seu movimento; se o electrão B é livre, da collisão resulta para o electrão A uma perda de energia igual á que elle communica ao primeiro. O problema da determinação do valor da deflecção que no primeiro caso experimenta o electrão A, muito complicado no caso em que considerassemos todas as forças a que os electrões estão sujeitos, é muito simplificado suppondo que tudo se passa como se a massa do electrão B fosse extraordinariamente grande.

Deste modo, demonstra-se que, designando por λ o coefficiente de absorpção dos raios cathódicos para o meio que se considera, por N o numero de electrões por unidade de volume, por e a carga dum electrão, por M_1 a massa dum electrão do atomo do meio considerado, por M_2 a do electrão movel, por V a sua velocidade, por V_0 a velocidade da luz e por α a distancia entre os electrões do atomo do meio,

$$\lambda = 4\pi N e^4 \left(\frac{V_0}{V}\right)^4 \cdot \frac{M_1 + M_2}{M_1 \cdot M_2^2} \cdot \log \left[\frac{\alpha \left(\frac{V}{V_0}\right)^2}{e^2} \cdot \frac{M_1 \cdot M_2}{M_1 + M_2} - 1 \right].$$

Designando por d a densidade do meio, por μ a massa dum atomo e por P o numero de electrões ali existentes, temos

$$P \cdot d = N \cdot \mu$$

e portanto

$$\frac{\lambda}{d} = 4\pi \cdot \frac{P e^4}{\mu} \cdot \left(\frac{V_0}{V}\right)^4 \cdot \frac{M_1 + M_2}{M_1 \cdot M_2^2} \cdot \log \left[\frac{\alpha \left(\frac{V}{V_0}\right)^2}{e^2} \cdot \frac{M_1 \cdot M_2}{M_1 + M_2} - 1 \right].$$

Substituindo

$$\frac{e}{M_2} = 1,7 \cdot 10^7$$

$$e = 1,2 \cdot 10^{-20}$$

$$\frac{e}{\mu} = \frac{10^4}{\omega}$$

$$V_0 = 3 \cdot 10^{10},$$

designando por ω o peso atomico da substancia empregada, temos

$$\frac{\lambda}{d} = \frac{4\pi P (V_0)^4}{\omega (V)^2} \cdot \frac{1,05}{30} \cdot \frac{M_1 + M_2}{M_1} \cdot \log \left[\frac{\alpha (V)^2}{e^2 (V_0)^2} \cdot \frac{M_1 \cdot M_2}{M_1 + M_2} - 1 \right].$$

Para o caso investigado por BECKER, em que $\frac{\lambda}{d}$ variava entre 1200 e 2000 e $V = 10^{10}$, fazendo $M_1 = M_2$, temos

$$\frac{\lambda}{d} = 67 \cdot \frac{P}{\omega} \log \left(\frac{\alpha \cdot M}{18 \cdot e^2} - 1 \right).$$

Substituindo

$$M = \frac{2}{3} \cdot \frac{e^2}{a},$$

sendo $a = 10^{-13}$ o raio do electrão, temos

$$\frac{\lambda}{d} = \frac{P}{\omega} \log \left(\frac{\alpha}{27 \cdot 10^{-13}} - 1 \right).$$

Podemos portanto concluir que o numero de electrões existentes no atomo dum dado corpo é proporcional ao seu peso atomico. Se o valor de α for da ordem de grandeza de 10^{-8} , o valor de P é da mesma ordem de grandeza que ω .

Notemos que as expressões que apresentamos sam calculadas na hypothese das repulsões entre electrões variarem na rasão inversa do quadrado das distancias por mais pequenas que estas sejam.

3.º methodo. — Demonstra-se que para um gaz monoatomico, designando por μ o indice de refracção para ondas luminosas de frequencia p , por N o numero de atomos por unidade de volume, por m e M respectivamente a massa dum electrão e da esphera de electricidade positiva, por E a grandeza da carga positiva, por ρ a sua densidade e por n o numero de electrões existentes no atomo,

$$\frac{\mu^2 - 1}{\mu^2 + 2} = \frac{N \cdot E}{\rho} \left[1 + \frac{m}{e^2} \cdot \frac{3E}{4\pi\rho} \cdot \frac{M}{n(M + n \cdot m)} \cdot p^2 \right]$$

suppondo que a força electrica da onda luminosa é constante atravez do atomo.

Esta expressão permite-nos determinar o valor de n medindo o valor da dispersão.

Não ha medidas da dispersão para um gaz monoatomico, mas Lord RAYLEIGH fez experiencias que levam a crer que ella é da mesma ordem de grandeza que a medida nos gazes diatomicos. Para o hydrogenio demonstrou

KETTELER que

$$\frac{\mu^2 - 1}{\mu^2 + 2} = \frac{1}{3} \frac{2,8014 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 10^{-14}}{\lambda^2}$$

designando por λ o comprimento de onda.

Como $p = \frac{2\pi V}{\lambda}$, sendo V a velocidade da luz, temos aproximadamente

$$\frac{1}{n} \cdot \frac{M}{M + n \cdot m} = 1.$$

Este resultado mostra-nos que n não pode differir muito da unidade e que portanto o numero de electrões existentes no atomo é pequeno, o que concorda com os resultados dos methodos anteriores.

As propriedades opticas dos gazes que não sam monoatomicos sam complicadas por considerações que tornam este methodo inapplicavel para a determinação do numero total dos electrões que fazem parte dum atomo.

Vemos portanto que o atomo contem um numero de electrões comparavel ao seu peso atomico, contendo o atomo de hydrogenio um unico electrão. Este resultado é extraordinario e imprevisito porque o facto do peso atomico do hydrogenio ser igual á unidade corresponde a uma hypothese estabelecida em chimica unicamente por conveniencia e não por corresponder a qualquer propriedade real.

As propriedades opticas dos gazes originam uma difficuldade grande neste modo de ver.

Na theoria das vibrações dum systema formado por n electrões deduz-se que p^2 , designando por p a frequencia duma vibração, é dado por uma equação do grau $3n$ e portanto com $3n$ raizes. Algumas destas raizes podem ser eguaes, outras teem um valor que se não repete; estas ultimas sam as que correspondem ás riscas que não apresentam o phenomeno de ZEEMAN. Vemos portanto que o numero de riscas que apresenta um espectro dum gaz é, quando muito, igual a $3n$.

Succede que, pará varios gazes, um terço do numero das riscas do seu espectro é um numero muito maior do que o seu peso atomico.

THOMSON resolve esta difficuldade do seguinte modo. O espectro não é originado pelos atomos quando no estado normal, mas sim quando um gaz é atravessado pela faisca electrica ou elevado a uma alta temperatura; em qualquer destes casos o gaz está ionizado, existindo, portanto, alem dos atomos normaes, iões positivos e electrões negativos. Um ião positivo e um electrão podem formar um systema analogo ao systema solar em que o ião representa o sol e o electrão um planeta. É necessario agora ver se um tal systema pode originar vibrações com periodos definidos separados por intervallos finitos como na realidade succede. Movendo-se o electrão numa orbita fechada, origina uma definida risca do espectro; se a força exercida pelo ião sobre o electrão é uma força central variando na razão inversa do quadrado das distancias, haverá um numero infinito de orbitas ellipticas possiveis para o electrão de

modo que o espectro produzido será continuo; quando porem a força varia segundo uma lei muito mais complexa, como na realidade deve succeder, o numero de orbitas possiveis é, como se deduz dos trabalhos de GEORGE DARWIN e THOMSON, muito mais limitado.

THOMSON conclue que os espectros considerados sam produzidos em todos os casos com a ionização dos gazes, constituindo os iões e electrões systemas que originam riscas luminosas e absorvem a luz com o mesmo periodo que estas riscas.

Dimensões da esphera de electricidade positiva

Sabemos que o numero de electrões existente num atomo é proporcional ao peso atomico; vamos agora ver qual a relação que existe entre o volume da esphera de electricidade positiva e o numero de electrões.

Para um gaz monoatomico, designando por μ o indice de refração para ondas infinitamente grandes, por a o raio da esphera de electricidade positiva e por N o numero de atomos por unidade de volume, dá-se a relação

$$\frac{\mu^2 - 1}{\mu^2 + 1} = N \cdot a^3.$$

Para um gaz μ é tam proximamente igual á unidade que

$$\frac{\mu^2 - 1}{\mu^2 + 1} = \frac{2}{3} \cdot (\mu - 1);$$

o volume da esfera de electricidade positiva será proporcional a $\mu - 1$.

A seguinte tabella elaborada segundo os dados de CUTHBERTSON e METCALF dá-nos os valores de $\mu - 1$ para varios elementos no estado gazoso.

Gazes	$\mu - 1$	Peso atomico	$10^6 \cdot (\mu - 1) / \text{peso atomico}$
Helio.....	$72 \cdot 10^{-6}$	4	18
Neon.....	$137 \cdot 10^{-6}$	20	6,85
Argon.....	$508 \cdot 10^{-6}$	40	12,7
Krypton.....	$850 \cdot 10^{-6}$	80	10,6
Xenon.....	$1378 \cdot 10^{-6}$	128	10,7
Mercurio.....	$1866 \cdot 10^{-6}$	200	9,3
Hydrogenio.....	$139 \cdot 10^{-6}$	1	139
Azote.....	$297 \cdot 10^{-6}$	14	21
Phosphoro.....	$1197 \cdot 10^{-6}$	31	39
Arsenico.....	$1530 \cdot 10^{-6}$	75	20
Oxygenio.....	$270 \cdot 10^{-6}$	16	17
Enxofre.....	$1101 \cdot 10^{-6}$	32	34
Sellenio.....	$1565 \cdot 10^{-6}$	79	20
Tellurio.....	$2495 \cdot 10^{-6}$	127	20
Zinco.....	$2060 \cdot 10^{-6}$	65	30
Cadmio.....	$2675 \cdot 10^{-6}$	112	24

Concluimos que para os elementos leves o valor de $\frac{\mu - 1}{\text{peso atomico}}$ varia muito irregularmente, enquanto que para os pezados esta relação varia pouco, indicando que

o volume da esfera de electricidade positiva se póde considerar proporcional ao peso atomico.

TRAUBE mostrou que para um grande numero de compostos de elementos leves o valor de $\mu - 1$, a uma temperatura e pressão constantes, é approximadamente proporcional á somma das valencias dos atomos que formam o composto. Este resultado levou THOMSON a concluir que o valor de $\mu - 1$ é formado por dois termos, um proporcional á valencia e o outro ao peso atomico. Para elementos leves predomina o primeiro termo, para os pesados predomina o segundo.

Origem da massa do atomo

Como vimos, o atomo de hydrogenio possui um numero pequeno de electrões. Visto que a massa dum electrão é proximamente $\frac{1}{1000}$ da do atomo, segue-se que a parte principal da massa deste é devida á electricidade positiva. Este resultado parece levar-nos á conclusão de que a massa dos electrões é electrica enquanto que a restante é mechanica.

THOMSON, fundado nas considerações seguintes, mostra a egualdade de natureza destas duas massas.

Consideremos um turbilhão anelar movendo-se atravez dum liquido. A massa effectiva deste anel é a somma da sua propria massa e da massa do fluido arrastado por elle; quando o anel é delgado, a massa effectiva será reduzida praticamente á ultima parcella. Consideremos

agora um turbilhão filamentar; a theoria dos turbilhões diz-nos que as suas extremidades, se não estam na superficie livre do liquido, devem coincidir com corpos ou cavidades existentes no liquido. Imaginemos que coincidem com dois corpos; a massa effectiva deste systema será a somma da propria massa do filamento e da dos dois corpos mais a do fluido arrastado pelo systema; quando o filamento for muito delgado e os corpos muito leves, a massa effectiva será reduzida praticamente á ultima parcella.

THOMSON considera a massa dum electrão como a massa do ether arrastado pelos tubos de FARADAY no seu movimento. Posto isto, comparemos o systema que consideramos com o formado por uma unidade de electricidade positiva ligada por tubos de FARADAY com uma unidade de electricidade negativa. A porção de ether arrastada pelos tubos de força depende da sua disposição e esta da velocidade; a porção arrastada pelas sédes de electrização não dependerá da velocidade se este systema for analogo ao anterior. Podemos considerar a quantidade de ether arrastado pela séde de electrização negativa muito pequena comparada com a arrastada pelos tubos de força e admitir que a quantidade de ether arrastada pela séde de electrização positiva é muito grande comparada com a arrastada pela séde de electrização negativa e pelos tubos de força.

O systema agora considerado será portanto semelhante ao formado por uma esphera grande ligada por um turbilhão filamentar com uma pequena, correspondendo a primeira á electricidade positiva e a segunda á negativa.

Deste modo, a origem da massa do atomo será unicamente electrica.

A theoria que vimos de considerar está ainda no seu inicio; suppõe-se a electricidade positiva do modo que facilite mais as investigações mathematicas e ainda pela mesma razão temos supposto os electrões distribuidos num plano e as attracções variando na razão directa da distancia; o caso mais geral, considerando tres dimensões na distribuição dos electrões e a distribuição da electricidade positiva não uniforme, o que faria com que as attracções variassem segundo uma lei muito mais complexa, é muito mais complicado e não tem sido desenvolvido. Porém temos visto que um arranjo estavel de electrões, tal como o temos considerado, algumas propriedades tem do atomo real e este facto faz-nos prever que todas as suas propriedades possam vir a ser explicadas suppondo o atomo constituido como vimos ou de um modo semelhante.

Diz THOMSON: «a theoria que apresento não é definitiva, o seu objecto é coordenar phenomenos aparentemente diversos e sobretudo suggerir, estimular e dirigir a experiencia. Orientará o observador deixando-o caminhar em regiões anteriormente inexploradas numa definida direcção; a esterilidade ou fertilidade destas regiões unicamente nos faram decidir».

É difficil comprehendermos como é que a electricidade positiva pôde existir constituindo uma esphera permeavel com electrões no seu interior e alguns dos trabalhos feitos que se relacionam com a theoria muitas vezes confundem mais do que confirmam; o modo como se suppõe existir

a electricidade positiva vae contra a hypothese fundamental mais geralmente admittida, segundo a qual o atomo é formado pela reunião de electrões positivos e negativos. Porém, esta attractiva theoria, a mais precisa de todas as propostas e a unica que tem um certo desenvolvimento, tem o grande merito de nos guiar, facilitando-nos chegar a estabelecer, alterando-a ou aperfeiçoando-a, fundando-nos em futuros trabalhos experimentaes ou theoricos, uma theoria mais perfeita.

CAPITULO V

Combinações químicas

Neste capítulo as forças que reúnem os átomos que formam uma molécula são consideradas de origem eléctrica. Foi BERZELIUS o primeiro, e posteriormente DAVY, FARADAY e HELMHOLTZ, a attribuir esta origem a essas forças.

Já vimos que quando estão em presença dois átomos A e B, dos quaes o primeiro perde facilmente um electrão e o segundo retém um, um electrão do átomo A tende a passar para o átomo B ficando A electrizado positivamente e B negativamente; estes átomos attrahir-se-ham formando-se o composto AB. Se o átomo B pôde reter dois electrões, isto é, se é electro-negativo bivalente, o átomo A cederá um electrão e outro átomo igual A' cederá outro formando-se o composto (AA')B. Notemos que o electrão A' tem de vencer a repulsão proveniente da carga negativa de B (visto que já recebeu o electrão de A) para se juntar ao átomo, donde resulta que num átomo plurivalente as ultimas valencias são as mais difficéis de saturar. Assim se explica a existencia de compostos não saturados, como, por exemplo, PCl_3 , MnCl_2 .

Já vimos no capítulo anterior que na theoria de THOMSON se mostra como um elemento pôde ser electro-positivo em relação a um e electro-negativo em relação a outro elemento. A valencia varia conforme o elemento figura como

electro-positivo ou electro-negativo no composto e, mesmo que o signal da sua carga seja o mesmo, varia com a natureza do elemento com que está combinado; a valencia dum elemento em relação a um com propriedades analogas deve ser menor do que em relação a outro com propriedades diferentes.

Quando dois atomos carregados com electricidade de signaes contrarios se unem para formar a molecula dum composto não se dá descarga entre elles; supponho que a differença de potencial é tam pequena que não permite a troca ou neutralização de carga; por esta razão os atomos se conservam juntos e quando separados possui cada um a carga que possuia antes.

É possível dois systemas conservarem-se juntos, devido á existencia de forças electricas, sem contudo possuirem cargas de signaes contrarios.

Consideremos dois systemas eguaes formados cada um por uma esphera de electricidade positiva com um electrão no centro. Quando estes systemas se conservam isolados não ha entre elles attracção nem repulsão, porém quando as duas esferas se cortam os systemas attraem-se visto que a acção dos dois electrões centraes sobre a parte commum é maior que a acção da electricidade positiva. Se os systemas forem novamente separados cada um será, como anteriormente, electricamente neutro.

Porém quando as esferas não sam eguaes os dois systemas, depois de separados, podem possuir, como demonstrou LORD KELVIN, cargas de signaes contrarios; a esphera mais pequena recebe um electrão adicional.

Trata-se agora de saber se os átomos que formam a molécula dum gaz elementar possuem cargas de signaes contrarios. Acabamos de ver que dois átomos eguaes se podem conservar juntos em equilibrio sem haver transferencia de electrões. THOMSON¹ apresenta varios exemplos, entre os quaes o seguinte, que o levam a considerar este equilibrio como instavel.

Supponhamos duas gottas electrizadas de agua contidas num vaso que enchem quasi completamente e evitemos a condensação nas suas paredes de modo que o vapor de uma gotta se condense na outra. Se as gottas sam eguaes ha equilibrio, porém havendo uma pequenissima differença nas suas dimensões esta differença tende a augmentar tornando-se a maior cada vez maior e a menor cada vez menor. A carga electrica da gotta mais pequena, quando esta desce abaixo de certas dimensões, baixa a pressão do vapor de modo que se realiza entam o equilibrio que facilmente se vê que é estavel.

THOMSON admite que entre dois átomos eguaes pòde haver uma transferencia de electrões em que as forças em acção sam semelhantes ás do exemplo apresentado, admittindo portanto que os dois átomos que formam a molécula dum gaz sam electricamente de signaes contrarios exactamente como os átomos que se reúnem para formar a molécula dum composto.

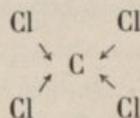
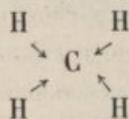
Alguns factos se podem citar a favor deste modo de ver. Gazes, como o helio e o argon, cujos átomos se não reu-

¹ THOMSON — *The corpuscular theory of mater*, pag. 127 e seg.

nem com os de outros gases para formarem moleculas de compostos tambem se não combinam entre si; WALDEN estudando a conducção electrolytica em dissoluções de bromo e iode reconheceu que estes dois elementos appareciam em ambos os electrodos; o vapor de iode apresenta uma grande conductibilidade electrica o que nos mostra que pelo calor a molecula de iode é dissociada em iões positivos e negativos; numerosas experiencias feitas sobre dispersão não fazem notar differença alguma entre o modo como se comportam os compostos e os gases elementares. Portanto, se num composto os atomos possuem cargas de signal contrario o mesmo succede nas moleculas dos gases elementares.

Como temos visto, um atomo monovalente tem uma unidade de carga, considerando como unidade a carga dum electrão; o atomo será o começo ou o fim dum tubo de FARADAY, será o começo se a sua carga é positiva ou o fim se é negativa. Do mesmo modo, um atomo bivalente é o começo ou o fim de dois tubos de FARADAY.

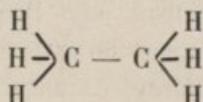
As formulas de estructura, estudadas na chimica, teem na theoria electrica uma significação mais precisa. Cada fusil representa um tubo de força; em chimica o fusil não tem direcção emquanto que na theoria electrica é necessario considerál-a. Assim, por exemplo, nas formulas que apresentamos as linhas que unem os atomos de carbone



com os de hydrogenio não se distinguem das que unem o atomo de carbone com os de chloro.

Porém na methana os atomos de hydrogenio sam positivamente carregados emquanto que no tetrachloreto de carbone os atomos de chloro sam negativamente e portanto o atomo de carbone não se encontra nos dois compostos em idênticas circunstancias; no primeiro é o fim e no segundo o principio dos tubos de força. As suas formulas deveram escrever-se como as apresentamos.

A formula



por exemplo, não indica differença entre os dois atomos de carbone, porém na theoria electrica está differença existe. Com effeito, representando o fusil central que um electrão passou dum atomo de carbone para o outro, um atomo de carbone terá uma carga de quatro unidades emquanto que a do outro será apenas de duas. Deverá portanto haver dois isomeros a que corresponde a formula $\text{C}_2\text{H}_5.\text{Cl}$, conforme o atomo de chloro está ligado ao carbone com quatro unidades de carga ou ligado ao de duas unidades. Não sam porém conhecidas estas duas formas isomericas, o que não é forçoso esperar porque no estudo da possibilidade da existencia de isomeros fundado em considerações geometricas ignoram-se as condições de estabilidade, podendo não ser possível a preparação dum

certo numero delles. Identicas considerações se podem fazer ácerca de outros compostos.

Nos compostos do carbone a carga deste depende do character electro-positivo ou electro-negativo dos elementos com que está combinado. Assim suppondo que um atomo de carbone está combinado com quatro atomos monovalentes, a sua carga será de quatro unidades de electricidade negativa se os elementos forem electro-positivos, de quatro unidades de electricidade positiva se os elementos forem electro-negativos, de duas unidades de electricidade positiva se um dos elementos for electro-positivo e os outros electro-negativos, etc. Daqui resulta que em radicaes organicos o atomo de carbone pode ter propriedades differentes conforme os elementos com que está combinado. Este resultado está de accordo com observações de VANT'HOFF.

THOMSON¹ explica algumas propriedades physicas de varios corpos na hypothese que temos considerado.

Consideremos os pontos de ebullicão e liquefacção. Estes pontos dependem das forças que se exercem entre as moleculas da substancia considerada. Se a molecula contem um atomo não saturado, isto é, que pode perder ou receber electrões, exercerá sobre as outras moleculas uma força consideravel fazendo com que o gaz em que assim acontece se afaste da lei de BOYLE. O contrario succede quando todos os atomos que formam a molecula estam saturados; porém neste caso os electrões conservam ainda

¹ THOMSON — *The corpuscular theory of matter*, pag. 135 e seq.

uma certa mobilidade, não sufficiente para abandonarem o atomo, mas sufficiente para produzir uma attracção residual que varia de atomo para atomo e para o mesmo atomo com o seu character electro-chimico. Casos ha que confirmam este modo de ver.

Sabemos que a velocidade dos iões negativos é muito alterada com a presença do vapor de agua emquanto que a dos iões positivos não soffre alteração consideravel.

É possivel que este effeito seja devido á attracção residual do radical OH da agua fazendo com que as suas moleculas sejam attraídas pelos iões negativos mais do que pelos positivos augmentando-lhe a sua massa e portanto diminuindo-lhes a velocidade.

Outra propriedade que THOMSON explica é a que possui o oxygenio de ter propriedades magneticas quando isolado perdendo-as porém, com poucas excepções, quando em combinação com outros elementos. O oxygenio é na maioria dos compostos negativamente electrizado e como a molecula deste gaz é formada por um atomo negativamente electrizado e outro positivamente, THOMSON attribue a este ultimo atomo as qualidades magneticas que O_2 possui e que não possuem os compostos referidos. TOWNSEND confirma este modo de ver: mostrou este physico que os compostos em que o ferro é electro-positivo são fortemente magneticos, como os saes ferrosos e ferricos, emquanto que os compostos em que o ferro é electro-negativo, como os ferrocyanetos, não são mais magneticos do que os compostos em que não entra o ferro.

A attracção entre dois atomos depende, entre outros

factores, da facilidade com que se movem os seus electrões do mesmo modo que a força attractiva entre dois corpos carregados com electricidade de signaes contrarios é maior quando os corpos sam bons conductores, nos quaes a electricidade se move com facilidade e se manifesta a inducção electrostatica, do que quando os corpos sam maus conductores; entre dois atomos pode, como já dissemos, haver attracção, sem haver transferencia de electrões, devido á mobilidade destes.

A cohesão é devida a esta attracção residual; é como as forças chímicas de origem electrica mas differe no facto de se manifestar entre moleculas chímicamente saturadas e é devida a interacção de electrões atravez das distancias moleculares.

Uma theoria da cohesão não pode porém ser estabelecida sem ser melhor conhecida a architectura atomica.

CAPITULO VI

Estructura da materia. Sua natureza electrica e con- sequencias mechanicas

Vimos como os electrões entram na constituição do atomo e como os atomos se reúnem para formar a molecula. Pouco sabemos ácerca do modo como as moleculas se reúnem para formar um corpo; occupar-nos-hemos agora deste assumpto considerando alguns factos que, longe ainda de nos illucidarem completamente, alguma luz trazem a esta questão.

Estudando a ionização de gazes não rarefeitos varios physicos, particularmente LANGEVIN, mostraram a existencia de massas electrizadas maiores que as encontradas nos raios canaes ao lado dos iões do gaz empregado, e que, admittindo que possuem uma carga igual á que constitue um electrão, correspondem a um agrupamento atomico ou molecular cuja massa é superior á de qualquer atomo ou molecula conhecida. Estes *grandes iões*, cuja mobilidade é menor que a dos iões ordinarios, sam abundantes no ar ionizado pelo phosphoro.

BROGLIE mostrou que no ar que circunda uma chamma

ou que se fez gorgolejar num liquido existem aggregados moleculares não electrizados, prontos a transformarem-se em *grandes iões* pela acção duma causa ionizadora.

Vemos portanto que existem aggregados moleculares ou atomicos, possuindo ou não carga electrica, que se movem entre as moleculas gazosas como iões ou como as proprias moleculas e que sam dotados de uma massa relativamente consideravel.

Consideremos agora as soluções colloidaes. Estas soluções sam constituídas pela suspensão num liquido de granulos ultra-microscopicos. Vejamos quaes as propriedades destes granulos.

O ultra-microscopio tal como elle é construido por ZEISS é formado por um banco optico onde está disposto um systema de lentes que permite obter um feixe de luz muito estreito e muito intenso; este feixe passa parallelamente á platina dum microscopio atravessando a solução collocada numa cavidade de forma especial. Assim como um feixe de luz que atravessa um orificio duma camara escura torna visiveis corpusculos em suspensão no ar, destacando-os no fundo escuro, assim tambem no campo do microscopio se podem tornar visiveis as particulas ultra-microscopicas quando, sem deixar penetrar a luz directamente no aparelho, estas sam fortemente illuminadas. Observando deste modo uma solução colloidal reconhecem-se os granulos que apparecem no campo do microscopio, por diffundirem a luz, com o aspecto de estrellas brilhantes.

Reconheceu-se assim que os granulos colloidaes mais

pequenos tem um diametro approximadamente 100 vezes maior que o duma molecula; o seu volume será portanto um milhão de vezes maior.

Os granulos colloidaes não sam immoveis mas sim animados dum movimento irregular, chamado movimento BROWNIANO. Este movimento explica-se hoje como sendo uma consequencia de agitação molecular thermica. Se na solução colloidal mergulharmos dois electrodos communicando com os polos duma pilha os granulos adquiriram um movimento de translação, de um para o outro electrodo, com uma velocidade que dependé do colloide examinado e tanto maior quanto mais intenso for o campo electrico; em certos colloides, chamados positivos, os granulos movem-se do electrodo positivo para o negativo, nos outros, chamados negativos, movem-se em sentido contrario. Empregando uma corrente alternativa observa-se no campo do ultra-microscopio uma recta luminosa em vez de uma estrella.

Expondo uma solução colloidal negativa á acção das radiações dum sal de radio produz-se a sua coagulação. Como os raios β sam muito pouco absorvidos ao atravessar o liquido é natural attribuir este phenomeno aos raios α . Fazendo actuar só os raios β sobre uma solução colloidal positiva produz-se, posto que lentamente, a sua coagulação. Misturando duas soluções colloidaes de signal contrario produz-se a coagulação do conjuncto. Estas experiencias provam-nos que a carga electrica é necessaria para que os granulos estejam em suspensão e subsista a solução colloidal. A coagulação pela acção dos electrolytos attribue-se á carga neutralizadora de um dos iões.

Os factos considerados levam-nos portanto a admittir que os granulos colloidaes sam electrizados, positiva ou negativamente. Como a solução colloidal é neutra no seu conjuncto, somos levados a admittir que o liquido que circunda um granulo tem uma carga de signal contrario á deste; o estado neutro da solução não é alterado quando se elimina parte do liquido e portanto a carga deste deve existir na visinhança do granulo.

Devemos notar que entre as soluções colloidaes e as verdadeiras soluções não existe uma demarcação nitida. BRUYN e WOLFF mostraram que numa solução salina perfeitamente isenta de impurezas um cone de luz intensa produzido por uma lente era visivel lateralmente, destacando num fundo escuro ¹. Os mesmos physicos mostraram que, submettendo a mesma solução á acção de força centrifuga, dum modo identico ao empregado para separar os granulos duma solução colloidal, se obtinha uma concentração na região peripherica. Estes factos mostram-nos a descontinuidade da solução empregada. Identicamente, tambem não ha demarcação nitida entre as soluções colloidaes e as simples suspensões.

De tudo o que temos dito resulta a analogia entre os granulos colloidaes e os iões electrolyticos ou, melhor, entre os granulos e os grandes iões gazosos que já considerámos.

¹ Por esta razão podemos modificar a theoria de LORD RAYLEIGH sobre a côr azul do ceu e admittir que a difracção se opera nas moleculas do ar. — A. RIGHI, *Le nuoce vedute sull'intima struttura della materia*, pag. 40.

Para explicar as propriedades dos crystaes os crystallographos admittem que elles sam formados pela reunião de agrupamentos moleculares com a forma polyedrica regularmente orientados. Nos crystaes manifesta-se, além da cohesão, a força que orienta as particulas polyedricas, sendo provavelmente estas duas forças de origem electrica; nos crystaes semi-fluidos ou liquidos, estudados por LEHMANN e outros physicos, a força orientadora é intensa emquanto que a cohesão é pequena.

Resulta das considerações que fizémos que entre as simples moleculas chemicas e os corpos propriamente ditos é necessario collocar certos agrupamentos complexos, com caracteres intermediarios, que não podem ser considerados nem como moleculas nem como pequenos corpos; é necessario considerar varios gráus na complexidade dos agrupamentos moleculares, entre as simples moleculas e os corpos ordinariamente considerados.

Vemos portanto, dum modo geral, que um corpo é formado por agrupamentos moleculares em que cada molecula é formada pela reunião de atomos, tendo o atomo uma constituição complexa da qual fazem parte electrões em movimento nas suas orbitas fechadas. Tal é o actual modo de vêr ácerca da estructura da materia.

Sam propheticas as seguintes palavras já antigas de PASCAL, transcriptas por JEAN PERRIN ¹, em que aquelle

¹ *Revue du mois*, n.º 3, 1906.

genio contemplando a natureza, nos mostra o homem suspenso entre dois abismos infinitos :

Qu'il recherche, dit'il, en ce qu'il connait, les choses les plus delicates. Qu'un ciron, par exemple, lui offre dans la petitesse de son corps des parties incomparablement plus petites, des jambes avec des jointures, des veines dans ces jambes, du sang dans ces veines, des humeurs dans ce sang, des gouttes dans ces humeurs, des vapeurs dans ces gouttes; qu'en divisant encore ces dernieres choses, il epuise ses forces e ses conceptions, et que le dernier objet où il peut arriver soit maintenant celui de notre discours . . . je veux lui faire voir là-dedans un abime nouveau . . . Qu'il y voie une infinité des mondes, dont chacun a son firmament, ses planètes, sa terre, en lá meme proportion que le monde visible; dans cette terre, des animaux et enfin des cirons, dans lesquels il retrouvera ce que les premiers ont donné, trouvant encore dans les autres les memes choses, sans fin et sans repos.

Com effeito, é no sentido indicado pela visão grandiosa de PASCAL que teem sido dirigidas as mais recentes conquistas da sciencia physica sobre a estructura da materia. Comquanto os nossos conhecimentos sobre este assumpto sejam ainda poucos, a theoria dos electrões faz-nos sentir mais proximo o dia em que da estructura da materia possamos formar uma imagem perfeita.

Como já dissemos a proposito da theoria de THOMSON o modo de vêr mais geralmente aceite é o que considera

a materia formada pela reunião de electrões positivos e negativos. Assim a suppõe LORENTZ sem se preoccupar com a architettura atomica.

Segundo este grande physico os electrões estam rodeados pelo ether e além dos electrões e do ether nada existe. Partindo desta hypothese LORENTZ explica grande numero de factos conhecidos e fez prever alguns novos tal como o phenomeno de ZEEMAN. Sem entrarmos em detalhes apresentamos os resultados principaes da theoria de LORENTZ. Quando uma onda luminosa penetra numa região do ether onde ha grande numero de electrões estes entram em movimento sob a acção da perturbação reagindo sobre o ether; assim se explica a refracção, a dispersão, a dupla refracção e a absorpção. Quando um electrão por qualquer causa entra em movimento dá origem a ondas luminosas; assim se explica a emissão de luz pelos corpos incandescentes. Os metaes sam conductores porque na sua massa existe um grande numero de electrões livres, positivos e negativos, que se comportam como as moleculas dum gaz contido num espaço fechado; os metaes além duma certa temperatura sam incandescentes devido ás constantes mudanças da direcção destes electrões. Nos dielectricos e nos corpos transparentes os electrões têm uma liberdade muito menor, oscillando pouco em torno de uma posição media, não sendo por esta razão conductores. Já sabemos que LORENTZ admite o electrão deformavel, soffrendo todos os corpos uma contracção igual na direcção do movimento; resta-nos fallar na sua hypothese sobre a gravitação: suppõe este physico que a attracção

exercida pela carga $+1$ sobre a carga -1 é maior que a repulsão mutua de duas cargas $+1$ ou -1 ; esta hypothese que complica a electrostatica reduz a gravitação a uma força de origem electro-dynamica.

Portanto, suppondo a materia de natureza electrica, sam explicados muitos phenomenos physicos, unificando a materia e reduzindo ao minimo o numero de entidades fundamentaes ou primordiaes.

Vimos como THOMSON, partindo duma hypothese differente com o fim de simplificar as investigações mathematicas, explica grande numero de propriedades do atomo, admittindo a natureza electrica da materia. Os trabalhos deste physico fazem-nos julgar que identica explicação seja possivel partindo de principios menos hypotheticos.

Admittida a natureza electrica da materia vejamos o que succede aos principios da dynamica.

Estes principios sam os seguintes:

1.º Principio da inercia. Não ha acceleração sem força, isto é, o movimento dum ponto material isolado e subtraído á acção de toda a força exterior é rectilineo e uniforme.

2.º A acceleração dum ponto movel tem a direcção da resultante das forças a que este ponto está submettido e é egual ao quociente desta força por um coefficiente chamado *massa* do ponto movel. A massa assim definida é uma constante, não depende da velocidade e o seu valor é o mesmo, quer a força actue na direcção do movimento quer na direcção perpendicular.

3.º Todas as forças que actuam sobre um ponto material provêm da acção de outros pontos materiaes e dependem unicamente das posições e das velocidades relativas destes pontos.

Combinando este principio com o antecedente chegamos ao *principio do movimento relativo ao da relatividade* em virtude do qual as leis do movimento dum systema sam as mesmas, quer este systema se refira a eixos fixos quer se refira a eixos moveis animados dum movimento de translação rectilinea e uniforme.

4.º Principio da egualdade de acção e reacção. Se um ponto material A actua sobre outro B, este reage sobre o primeiro, sendo estas duas acções eguaes e directamente oppostas.

Os principios 1.º e 3.º subsistem; apesar das numerosas experiencias feitas para provar a falsidade deste ultimo, elle mantem-se como uma lei geral da natureza.

Não succede porém o mesmo ao 2.º e ao 4.º principios. Com respeito ao primeiro já na primeira parte do nosso trabalho nos occupámos d'elle. Vimos que devemos distinguir a massa longitudinal da transversal e que a massa varia com a velocidade. Com respeito ao 2.º, considerando unicamente os electrões e não o ether, a reacção não é simultânea da acção, porque se o electrão A exerce acção sobre o electrão B este ultimo só entra em movimento depois de passado o intervallo de tempo necessario para a propagação. Supponhamos agora uma lampada ligada mecanicamente a um espelho parabolico que envia as ondas luminosas numa certa direcção; o calculo mostra que a

lampada deve recuar como succede a um canhão quando parte o projectil e, quando a energia emanada da lampada attinge um objecto material, este deve soffrer uma impulsão como se fosse attingido por um projectil verdadeiro. Suppondo que a luz se propaga indefinidamente num meio transparente teremos a considerar a reacção na origem luminosa e a acção no meio transparente; resta-nos vêr se a acção é igual á reacção. Admittindo a theoria de HERTZ, que considera a materia mecanicamente ligada ao ether, a acção é igual á reacção; esta theoria não está porém de accôrdo com o resultado de varias experiencias. LORENTZ, semelhantemente a FRESNEL, admite que os electrões que constituem a materia não arrastam o ether no vacuo, arrastam-o pouco no ar e mais nos meios refringentes; sendo assim, a acção não será igual á reacção.

Diz POINCARÉ ⁴: «As observações astronomicas, os phenomenos physicos mais habituaes parecem ter dado aos principios da dinamica uma confirmação completa, constante e precisa. Devemos notar porém que sempre consideramos pequenas velocidades. Mercurio que é o planeta mais rapido apenas percorre 100 kilometros por segundo. Não sabemos se este astro se comportaria do mesmo modo se marchasse mil vezes mais depressa. Vêmos portanto que não nos devemos inquietar; por maiores que sejam os progressos do automobilismo passará de certo

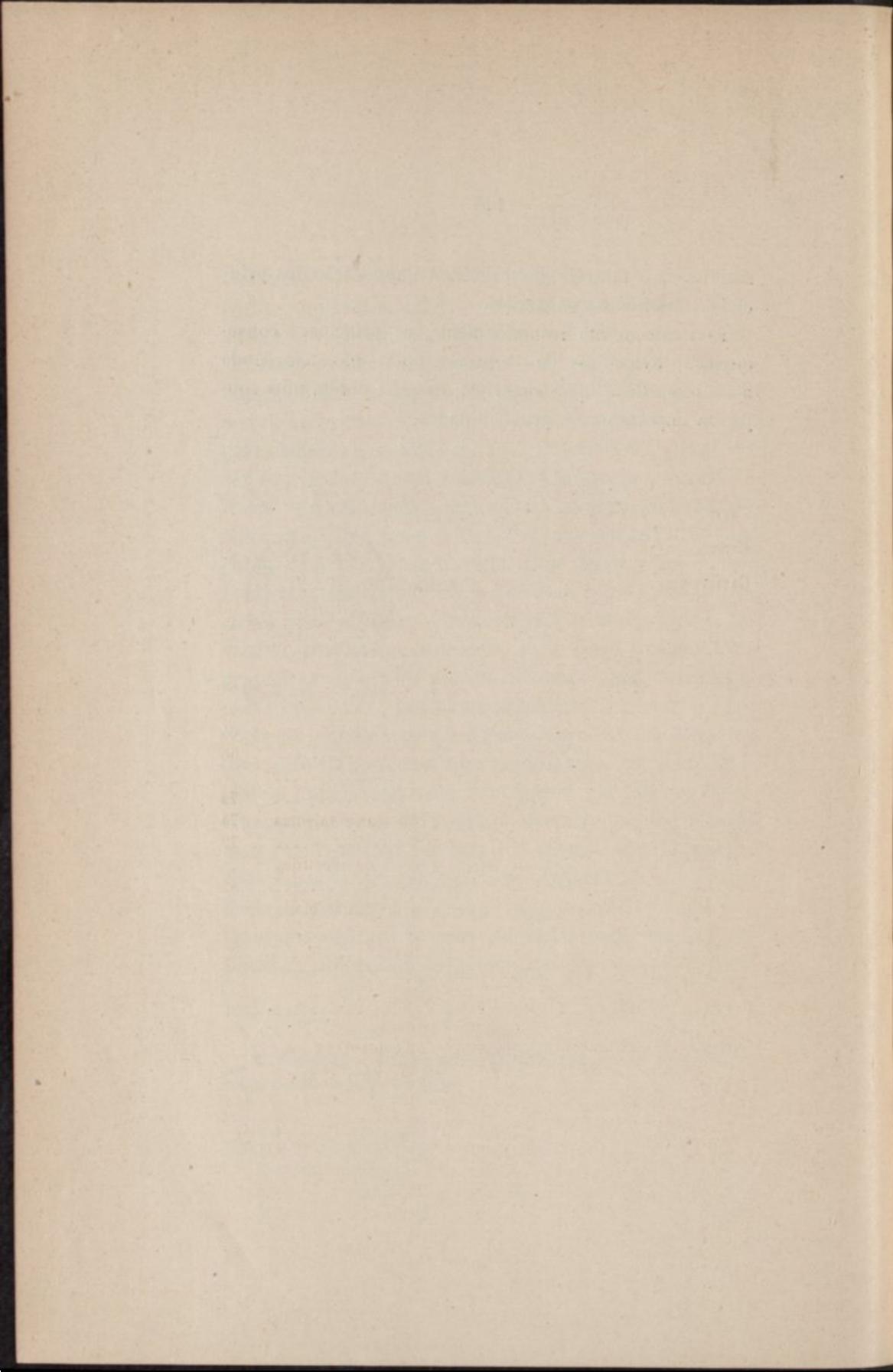
⁴ H. POINCARÉ — *La dynamique de l'electron*. Revue generale des sciences, 30 de maio de 1908.

muito tempo antes de renunciarmos á applicação dos principios classicos da dynamica».

Taes sam, muito resumidamente, as principaes consequencias dynamicas da theoria exposta que, não sendo ainda uma theoria demonstrada, assenta porém num conjuncto importante de probabilldades.



13-3-909



INDICE

	Pag.
INTRODUÇÃO.....	7
CAPITULO I — O phenomeno de Zeeman.....	15
CAPITULO II — Constituição do atomo.....	25
CAPITULO III — Conductibilidade metallica.....	35
1.ª Theoria.....	36
2.ª Theoria.....	53
Theoria da radiação de LORENTZ.....	58
CAPITULO IV — Arranjo dos electrões no atomo.....	61
Resultados experimentaes.....	62
NAGAOKA.....	64
J. J. THOMSON.....	66
Resultados theoricos.....	»
Lei periodica.....	72
Propriedades electro-quimicas e valencia.....	74
Radio-actividade.....	79
Determinação do numero de electrões existentes num atomo.....	83
Dimensões da esphera de electricidade positiva.....	91
Origem da massa do atomo.....	93
Conclusão.....	95
CAPITULO V — Combinações quimicas.....	97
CAPITULO VI — Estructura da materia, sua natureza ele- ctrica e consequencias mechanicas.....	105

INDEX

1. Introduction
2. The History of the Church
3. The Doctrine of the Church
4. The Ministry of the Church
5. The Sacraments of the Church
6. The Church and the World
7. The Church and the Future
8. The Church and the State
9. The Church and the People
10. The Church and the Mission
11. The Church and the Culture
12. The Church and the Society
13. The Church and the Economy
14. The Church and the Environment
15. The Church and the Technology
16. The Church and the Media
17. The Church and the Internet
18. The Church and the Globalization
19. The Church and the Multiculturalism
20. The Church and the Postmodernism
21. The Church and the Postcolonialism
22. The Church and the Postimperialism
23. The Church and the Postindustrialism
24. The Church and the Postcapitalism
25. The Church and the Postcommunism
26. The Church and the Postsocialism
27. The Church and the Postmaterialism
28. The Church and the Postpositivism
29. The Church and the Postmodernism
30. The Church and the Postmodernism

EMENDAS

Notem-se, entre outras, as seguintes:

pag.	linha	em vez de	leia-se
11	19	primeiro physico	primeiro pelo physico
29	14	consiituição	constituição

