

PHENOMENOS
MAGNETO-OPTICOS

POR

Anselmo Ferraz de Carvalho

LICENCIADO EM PHILOSOPHIA NATURAL



COIMBRA
IMPrensa DA UNIVERSIDADE
1901

Inst. Bot de Coimbra

A-5/11

RECEIVED

J. A. GIBBS & CO.

PRINTED BY J. A. GIBBS & CO.

NEW YORK

1880

de W. van der Graaf

Dr. Julius Augusto Henriques

homenagem repentina

Coincha, maio de 1901

do autor

PHENOMENOS

MAGNETO-OPTICOS

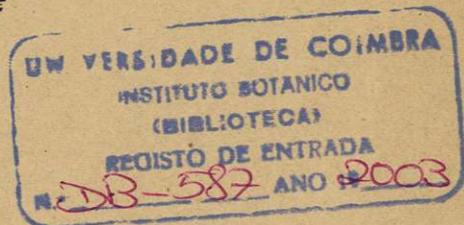
PHENOMENOS

MAGNETO-OPTICOS

POR

Anselmo Ferraz de Carvalho

LICENCIADO EM PHILOSOPHIA NATURAL



COIMBRA
IMPRESA DA UNIVERSIDADE
1901



216

APPROVED TO YOUR ORDER
BY THE BOARD OF DIRECTORS
OF THE BANK OF AMERICA
AND TRUST COMPANY OF N.C.
AT RALEIGH, N.C.



DISSERTAÇÃO INAUGURAL

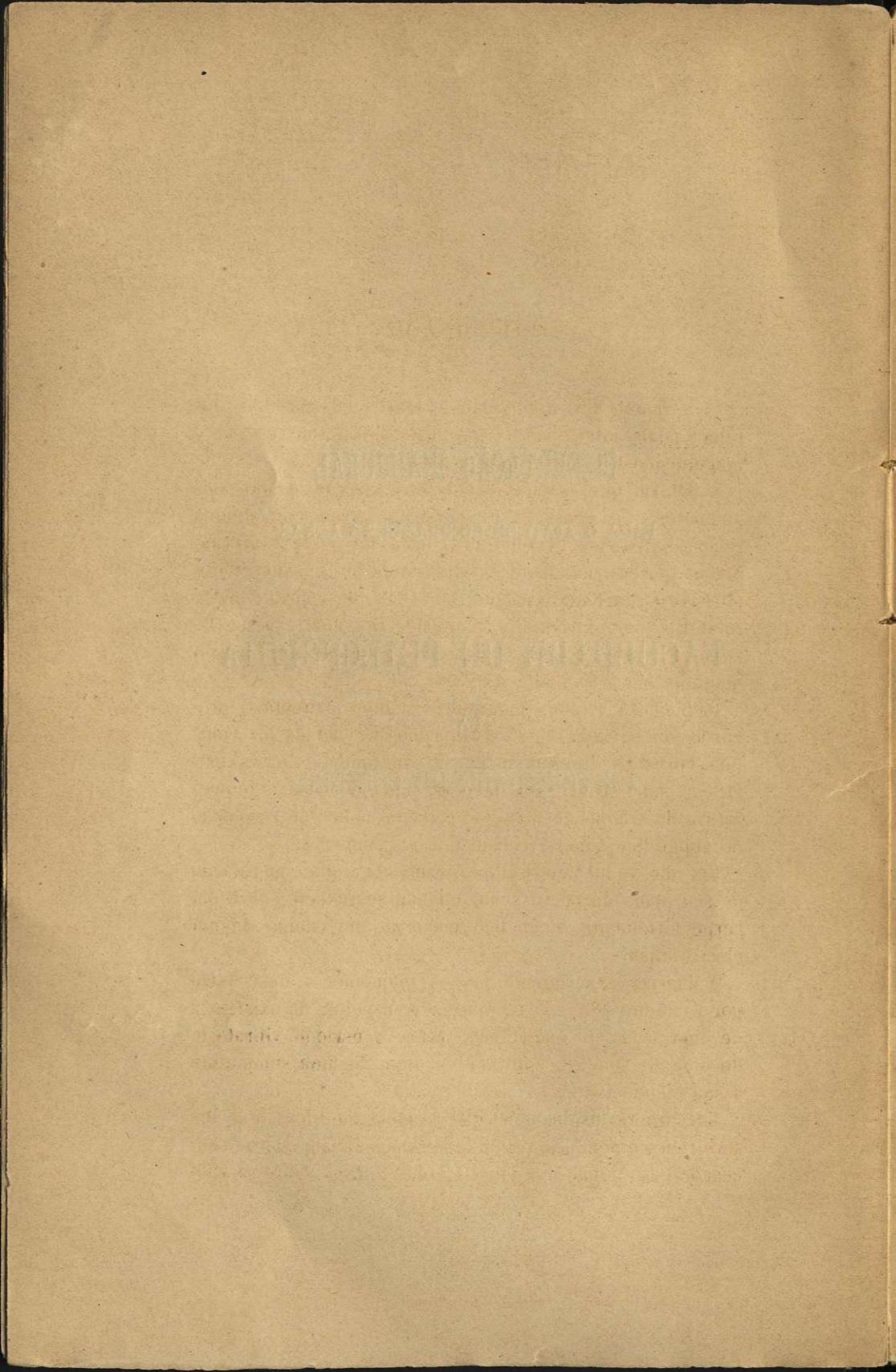
PARA O ACTO DE CONCLUSÕES MAGNAS

NA

FACULDADE DE PHILOSOPHIA

DA

UNIVERSIDADE DE COIMBRA



INTRODUÇÃO

O assumpto de que vamos tratar relaciona dois dos ramos mais interessantes da Physica — o que estuda o magnetismo e o que estuda a luz.

É natural que, apenas conhecidas as propriedades dos magnetes, procurassem os physicos reconhecer alguma relação entre o magnetismo e «as outras forças da natureza». Não ha, porém, noticia de tentativas anteriores ás do celebre physico inglez FARADAY, que, em 1845, descobriu o poder rotatorio temporariamente adquirido por uma espessa lamina de vidro, collocada entre os polos de um electro-magnete em actividade.

Dispondo a origem luminosa no campo magnetico, procurou ver se tinha logar alguma modificação da luz emitida. Foi esta a ultima investigação experimental de FARADAY (1862), cujo insuccesso deve attribuir-se á baixa temperatura da origem de luz, e ao pequeno poder de resolução do apparatus dispersivo com que a examinava.

Um raio de luz polarisada experimenta aiuda uma rotação do seu plano de polarisação, quando se reflecte sobre um corpo fortemente magnetico collocado no campo de um electro-iman.

A analyse experimental d'este phenomeno, descoberto por KERR em 1887, levou ZEEMAN a suspeitar da existencia de uma acção do magnetismo sobre o periodo vibratorio de uma luz simples, emittida por uma chamma submettida á sua influencia.

Elle proprio explicou (1) que as idéas theoricas, que lhe serviram de ponto de partida, se relacionavam com as concepções de CLERK MAXWELL e LORD KELVIN sobre os mo-

vimentos em turbilhão num meio magnetisado: «l'examen de ces systèmes m'amena à ne point rejeter, comme impossible *a priori*, une modification de la période vibratoire».

Foi esta a origem das suas experiencias, a primeira das quaes nada lhe revelou que confirmasse as suas suspeitas. Mas, influenciado por uma noticia dos trabalhos de FARADAY, não desistiu do seu intento; e, aproveitando os meios actuaes da analyse espectral, conseguiu, por fim, resolver affirmativamente o problema que se tinha proposto.

ZEEMAN desconhecia os trabalhos anteriores, comprehendidos por FIEVÉZ e cujos resultados não tinham um character decisivo.

Na continuação das suas inveetigações, foi ZEEMAN guiado por uma theoria electro-magnetica da luz, devida a LORENTZ.

*
* *

Depois de um capitulo sobre a espectroscopia, analysaremos successivamente as influencias de um campo magnetico sobre a emissão, absorpção e propagação da luz.

Não tencionando, neste trabalho, desenvolver as theorias propostas para relacionar os phenomenos magneto-opticos conhecidos, abrimos uma excepção para a theoria elementar, a primeira estabelecida por LORENTZ, a fim de não prejudicarmos, pela suppressão de uma das suas operações, o bello exemplo do methodo experimental em Physica apresentado pela descoberta de ZEEMAN.

(1) *Archives Néerlandaises*, [S. II], t. I, (1897), pag. 44.

CAPITULO I

Sobre espectroscopia

Summario.— 1. Definição das radiações.— 2. Espectros dos solidos e liquidos.— 3. Espectros dos gazes.— 4. Espectros de absorpção.

1. Definição das radiações.— A luz branca emittida pelo sol é composta por uma infinidade de luzes simples, caracterisadas physiologicamente pela sua coloração. Esta definição physiologica de cada radiação, — a primeira que se apresenta ao espirito, e a unica conhecida durante uma longa serie de seculos — é pouco precisa e illusoria, pois que a mesma sensação de côr pôde corresponder a phenomenos totalmente differentes. Deve portanto considerar-se como um immenso progresso a idéa de definir as radiações pelo seu indice de refração. As differentes côres são desigualmente desviadas quando passam atravez de um prisma, e a luz transmittida, quando recebida sobre um diaphragma branco, estampa sobre elle uma banda colorida ou um espectro.

Esta definição de radiação foi considerada perfeita emquanto as medidas foram tão pouco precisas, ou tão pouco variadas, que era permittido acreditar na *proporcionalidade* dos indices das diversas substancias transparentes para todas as radiações.



Mas a breve trecho se reconheceu como falsa a igualdade de dispersão. Foi então que a theoria das ondulações forneceu a nova variavel independente, característica de cada radiação — o comprimento de onda — de que o indice de refração é uma funcção, definida para uma substancia dada, variavel de um corpo para outro (1).

As linhas de referencia descobertas no espectro solar por WOLLASTON, estudadas cuidadosamente por FRAUNHOFER, deram aos comprimentos de onda uma significação metrologica precisa.

O comprimento de onda não é, comtudo, a mais simples e a mais immediata das noções precisas pelas quaes as radiações podem definir-se.

(1) Os physicos têm desde muito tempo procurado estabelecer a lei que liga os indices de refração aos comprimentos de onda nos corpos transparentes.

Em 1833, CAUCHY emite uma das primeiras hypotheses segundo a qual, num corpo transparente, o ether e as moleculas ponderaveis se comportam como um meio unico.

Em 1860, BRIOT suppõe, pelo contrario, que só o ether soffre uma vibração sensivel.

Estas duas principaes theorias tornadas classicas, e que convenientemente interpretadas representam satisfatoriamente o phenomeno na pequena região visivel do espectro, estão em completa desharmonia com os factos no caso das substancias absorventes que dão logar á dispersão anormal. As theorias mais recentes de SELMEIER (1871) e O. E. MEYER (1872), introduzindo nas formulas hypotheses novas, representam o phenomeno de uma maneira mais perfeita.

Desde alguns annos o estudo do espectro infra-vermelho, emprehendido por LANGLEY, SNOW, RUBENS, etc., com instrumentos de uma sensibilidade notavel, — o bolometro ou o radiometro, — tem permitido reconhecer que nenhuma das formulas propostas até hoje representa completamente a relação $n = f(\lambda)$ em toda a parte conhecida do espectro (de $0\mu,2$ a 20μ) e isto mesmo para os corpos considerados até aqui como completamente transparentes.

Antes de se espalhar no ether, em que toma pela primeira vez um certo comprimento de onda, a vibração luminosa recebe da origem uma qualidade fundamental: a frequência ou o periodo. É esta qualidade que a radiação conserva até á sua transformação completa, quaesquer que sejam as modificações que possa soffrer ulteriormente.

O raio luminoso poderá refractar-se ou reflectir-se, polarisar-se de todas as maneiras possiveis: uma oscillação completa effectuar-se-ha sempre no mesmo tempo. Mas não acontece o mesmo ao comprimento de onda, que muda com todos os meios atravessados e com a temperatura d'esses meios ou a pressão a que estão submettidos.

A frequência é, pois, mais immediata e mais primordial que o comprimento de onda e, ao mesmo tempo, é menos variavel.

Ora, nós não sabemos hoje medir directamente o periodo vibratorio T de uma radiação dada, e por isso definimos o logar que ella occupa na serie das radiações, por meio do comprimento de onda correspondente, λ , no vacuo.

Admitte-se que no espaço vasio de materia ponderavel, no ether livre, todas as côres se propagam com a mesma velocidade e, portanto, dada a relação $\lambda = vT$, nesse meio, os comprimentos de onda estarão entre si como os periodos de vibração.

Fazendo *no ar* experiencias de interferencia, podemos calcular o valor de λ , caracteristico da radiação estudada.

Alem do micrão, μ (10^{-3} mm), e da millesima de micrão, (10^{-6} mm), emprega-se muitas vezes para medir os comprimentos de onda a *unidade de ANGSTRÖM U. A.*, que corresponde ao quarto algarismo significativo dos comprimentos de onda do espectro visivel, expressos em micrões, e que vale $10^{-4} \mu$. Esta unidade, muitas vezes designada nas obras inglezas por μ' , é chamada por MICHELSON *tenth metre*, por ser $1 U. A. = 10^{-10}$ metro.

No estudo das radiações emprega-se o instrumento chamado espectroscopio.

Os espectroscopios ordinarios, formados por prismas, não podem ser empregados em investigações que demandem grande precisão e sensibilidade. No espectro a que dão logar, as diversas côres experimentam desvios differentes, que dependem do systema refringente adoptado e que não são proporcionaes aos comprimentos de onda, como acontece nos espectros chamados *normaes*. Para obter estes ultimos, devemos recorrer ás redes de difracção, as quaes, quando convenientemente empregadas, podem dar-nos indicações directas sobre as mudanças nos comprimentos de onda, o que facilita muito as investigações quantitativas.

No estudo das riscas espectraes é de grande alcance o celebre methodo de MICHELSON, — o da visibilidade das franjas de interferencia.

Notando o grande physico americano que este methodo tem o inconveniente de exigir medidas muito longas, propoz-se introduzir aperfeiçoamentos importantes na construcção das redes; com M. STATTON, construiu uma machina de dividir, em que se corrigem os defeitos do parafuso, pela observação das franjas de interferencia, e pensa poder dar aos traços uma fôrma tal que a maior parte da luz seja concentrada num só espectro. Por outro lado, imaginou um aparelho, a que chama *espectroscopio de degraus*, cujo principio consiste em collocar, umas sobre outras, laminas de vidro de igual espessura e dispostas como os degraus de uma escada.

O systema produz o effeito de uma rede muito poderosa.

Passando agora ao estudo das differentes origens luminosas, decompondo, por meio do espectroscopio, a luz que emittem, demorar-nos-hemos especialmente na analyse dos espectros dos gazes. Grande parte d'este trabalho é dedicado ás alterações experimentadas por certos d'estes espectros, quando a origem está submettida á influencia de um

campo magnetico e que representam a unica acção directa, conhecida, do magnetismo sobre a emissão luminosa.

2. Espectros emittidos pelos corpos solidos e pelos corpos liquidos.— Os solidos e liquidos incandescentes emittem espectros continuos e mais ou menos extensos, segundo a temperatura.

Quando se eleva progressivamente a temperatura de um corpo nestes dois estados physicos, mostra a observação que a irradiação é primeiro puramente calorifica; a incandescencia manifesta-se depois, no espectro, pelo apparecimento da região de maior intensidade luminosa e que apresenta uma côr indefinida, acinzentada, cujo comprimento de onda é approximadamente o da risca D do espectro solar. Elevando mais a temperatura, o espectro estende-se para um e outro lado da parte cinzenta que se transforma em amarella. A uma temperatura sufficiente, o espectro, alem de apresentar a parte luminosa comprehendida entre o vermelho e o violeta, prolonga-se para um e outro lado em duas regiões invisiveis— o espectro infra-vermelho e o espectro ultra-violeta. O segundo tem sido estudado por meio da photographia; o primeiro, com o auxilio de instrumentos muito sensiveis á acção calorifica, como o bolometro, a pilha thermoelectrica, o radiometro e o radiomicrometro.

3. Os diversos espectros emittidos pelos gazes.— A emissão dos gazes, como a dos corpos solidos e liquidos, não se limita ás radiações visiveis; estende-se pelo infra-vermelho e pelo ultra-violeta. Como é commodo applicar ao estudo do ultra-violeta o methodo photographico, tem esta região sido estudada quasi completamente. Pelo contrario, são poucos os trabalhos sobre os espectros dos gazes no infra-

vermelho. Nas questões de que tratamos, as investigações apenas se têm dirigido ao espectro visível; assim, occupar-nos-hemos sómente da *luz* emitida pelos gazes.

Podemos distinguir tres especies de espectros: os espectros *continuos*, os espectros de *bandas* e os espectros de *riscas*.

Alguns gazes e vapores dão espectros continuos, pelo aquecimento ou combustão; noutros gazes, os espectros de riscas, emitidos pela acção de descargas electricas, estendem-se de tal modo, quando a pressão augmenta, que, para pressões muito altas, têm absolutamente o aspecto de espectros continuos. Emfim, em quasi todos os casos em que os gazes fornecem espectros intensos de bandas ou de riscas, o espaço que separa as linhas brilhantes e as bandas não é completamente escuro, de modo que parecem collocadas sobre um fundo continuo fracamente luminoso. Não ha certeza a respeito da origem dos espectros continuos. Quando provêm de descargas electricas, não os considera CAZIN como espectros de gazes; attribue-os a particulas solidas ou liquidas que se destacam dos electrodos. As opiniões, comtudo, são desencontradas, não sendo por emquanto possivel uma solução definitiva.

Embora seja muitas vezes difficil distinguir os espectros de bandas dos espectros de riscas, e, em certas circumstancias, possivel obter simultaneamente estas duas especies de espectros, devemos admitir que a differença entre ellas é não só quantitativa, mas tambem qualitativa. O que torna muito verosimil esta hypothese, é que as notaveis leis de repartição, conhecidas nos espectros dos corpos simples, são essencialmente differentes para os espectros de riscas e os espectros de bandas.

Os espectros de riscas só se produzem com corpos simples; os espectros de bandas, com corpos simples e corpos compostos. Admittia-se que, no caso dos corpos simples, que produzem estas duas especies de espectros,

ões de bandas se produziram a temperaturas baixas, enquanto seria necessaria uma temperatura mais elevada para se produzir um espectro de riscas. Uma experiencia de van WONKHOEVEN tornou esta affirmação insustentavel. Tomou um tubo de GEISSLER com estrangulamento capillar, com quatro electrodos e que dava simultaneamente o espectro de bandas e o espectro de riscas do azote, quando este gaz era atravessado ao mesmo tempo por duas correntes: uma era uma corrente de indução; no outro circuito intercallava uma garrafa de LEYDE.

Van WONKHOEVEN attribuiu a differença observada á maneira de excitar o gaz. Julgam outros observadores que a differença entre os espectros de bandas e os de riscas provém de serem os primeiros produzidos pelas moleculas, e os segundos, pelos atomos, opinião refutada pelas experiencias sobre o mercurio, de moleculas monoatomicas, que mostram possuir este elemento as duas especies de espectros. Não é todavia impossivel ainda a hypothese de ser o espectro de bandas produzido por moleculas complexas.

a) *Differentes modos de produzir os espectros dos gazes.* — O methodo mais empregado para produzir a emissão dos gazes consiste no empregò das descargas electricas.

Podem usar-se tres processos: 1.º descarga nos gazes rarefeitos; 2.º as faiscas entre electrodos metallicos ou soluções salinas; 3.º o arco electrico.

1.º *Gazes rarefeitos.* — Os gazes muito rarefeitos no interior de tubos de vidro emittem radiações quando são a séde de descargas electricas. Empregam-se frequentemente tubos de GEISSLER da seguinte fôrma: duas grandes em-polas unidas de electrodos reunidas por um tubo capillar. Como origem de electricidade — as machinas de influencia, as bobinas de indução, as baterias a alta tensão, as ondas hertzianas ou as correntes de TESLA.

No tubo de GEISSLER, que descrevemos, observa-se muitas vezes nas partes largas o espectro de bandas, no tubo capillar o espectro de riscas, podendo um e outro produzir-se a temperatura inferior à incandescencia, o que mostra não ser a luz sómente produzida por uma irradiação calorifica propriamente dita, mas pelas próprias descargas electricas.

Os espectros obtidos differem muito segundo a maneira porque se produz a emissão; dependem geralmente do modo de excitação. Em geral, podemos dizer que os espectros de bandas, correspondem a excitações mais fracas que os de riscas.

O espectro de bandas parece ligado tambem á presença de maiores quantidades de vapor.

Mostraram TROWBRIDGE e RICHARDS (1) que o caracter e a constituição da luz emittida se modificam completamente quando se passa de uma descarga continua a uma descarga oscillatoria. Na emissão dos gazes rarefeitos sob a acção das oscillações de TESLA, encontrou EBERT (2) que a intensidade relativa das riscas de um mesmo corpo se modifica com o numero de oscillações das ondas excitadoras.

Mostram estas observações e muitas outras de WIEDEMANN, SCHMIDT, etc., que a emissão dos gazes rarefeitos essencialmente depende, como já dissemos, do modo de excitação, e as differenças obtidas para os espectros de um mesmo corpo, segundo a maneira por que são produzidos, conduz a rejeitar completamente a hypothese segundo a qual estes phenomenos seriam função de uma só variavel: a temperatura. Póde haver emissão mesmo á custa de energia chymica (SCHUSTER e WARBOURG).

2.º *Descarga pela faisca.* — Quando uma faisca salta no

(1) J. TROWBRIDGE e TH. W. RICHARDS — *Phil. mag.*, 5.ª serie, t. VLIII, 1897.

(2) H. EBERT — *Wied. Ann.* t. LIII; citado in *Journal de physique*.

interior de uma massa gazosa, á pressão ordinaria, entre electrodos metallicos, não só o gaz é luminoso; destacam-se tambem pequenas particulas dos electrodos, que dão espectros caracteristicos. Aparecem, em geral, muito brilhantes as riscas spectraes dos metaes, tanto no caso de serem os electrodos metallicos como no caso de serem saes metallicos em dissolução. Pelo que diz respeito aos gazes luminosos, podemos admittir que o phenomeno é para elles o mesmo que no tubo de GEISSLER. Porque, aqui, como no caso precedente, são os vehiculos da electricidade que atravessa o espaço comprehendido entre os electrodos.

Como o espectro que emittem é de riscas, devem as particulas destacadas dos electrodos, pelo menos emquanto são luminosas, encontrar-se no estado gazoso, quer directamente por acção electrica, quer ainda pela grande elevação de temperatura que esta produz.

Devemos comtudo dizer que esta separação de particulas dos electrodos é considerada como um phenomeno secundario. É assim que, sendo a faisca bastante longa, e sobretudo muito pequena a pressão do gaz, deixa de predominar a influencia dos electrodos e o espectro acaba por ser exclusivamente composto pelas riscas caracteristicas do gaz.

3.^o *Arco electrico*. — Só se distingue da descarga pela faisca em ser muito mais intenso o transporte da electricidade. A descarga toma a fôrma continua, tornando-se os gazes entre os electrodos mais quentes e mais conductores. Além da energia electrica e da energia calorifica interveem aqui reacções chymicas muito vivas, que são muito importantes para a emissão. Só por acções chymicas se pôde explicar o seguinte facto importante: as riscas spectraes de certos metaes só apparecem depois de se introduzir no arco pequenas quantidades de outros metaes. Em todo o caso, devem os gazes luminosos no arco electrico conside-

rar-se em grande parte como os vehiculos da electricidade e, como nos tubos de GEISSLER, tornados luminosos pela descarga.

São estes dois ultimos processos os mais empregados para obter os espectros dos metaes.

Passemos a outro methodo para obter a emissão.

Chammas. — Uma chamma illuminante como a das velas, apresenta um cone interior obscuro que encerra em excesso os gazes combustiveis, depois um involucro brilhante, azul na sua parte interna, em que a combustão é incompleta, e, finalmente, um cone exterior pouco luminoso, tendo ar em abundancia.

No bico BUNSEN, em que o gaz combustivel é misturado com ar, desaparece o involucro intermedio e a chamma deixa de ser luminosa; o cone interior termina por uma ponta azul cujo espectro possui um systema muito complexo de riscas brilhantes, que se apresentam com o gaz de iluminação e todos os hydrocarbonatos e parecem devidas ao carbone no estado gazoso. Mas o carbone livre só pôde existir depois de transformações chymicas e, por consequencia, não podemos obter o seu espectro por simples aquecimento d'aquelles corpos.

Experiencias ha que demonstram serem phenomenos chymicos capazes de por si só produzir luz, sem intervenção de temperatura.

Pelo que diz respeito ao espectro infra-vermelho das chammas de hydrocarbonetos, é interessante notar que se compõe dos espectros do vapor de agua e acido carbonico nelles formados, espectros que coincidem com os emittidos por estes gazes quando quentes.

A chamma de BUNSEN fornece um meio muito commodo de obter origens de luz monochromatica.

Quando n'ella se introduzem certos vapores metallicos, toma uma côr caracteristica e vêem-se no espectro as riscas intensas dos metaes que figuram nos saes introdu-

zidos. Pensava-se que os vapores salinos eram dissociados em razão da alta temperatura e que o metal, tornado livre, manifestava a emissão correspondente à temperatura da chamma. Esta opinião não é exacta. Com effeito, não se descobre nenhuma risca metallica quando num forno se aquece a alta temperatura um tubo de porcelana, fechado dos dois lados por placas de vidro e contendo um sal metallico e gaz neutro. A emissão começa, se, em lugar d'este gaz, se empregar hydrogenio ou gaz de illuminação, gazes reductores. Demonstra isto que, nas chammas, a emissão de luz pelos metaes que entram nos saes introduzidos, tem por origem as reduções chymicas e não a volatilisação e a dissociação.

Não fica comtudo esclarecida a questão da natureza da emissão. Restaria saber, o que para nós não tem grande interesse, se o vapor metallico, produzido pela redução, emite uma irradiação calorifica propriamente dita por causa da alta temperatura, ou antes se a luz é uma consequencia directa do phenomeno de redução. Devemos no entanto dizer que PRINGSHEIM admite que a luz é emitida no momento da redução e, por conseguinte, emquanto o gaz está no estado nascente.

Podemos, em resumo, dizer que os gazes podem emittir espectros continuos e espectros de bandas por simples elevação de temperatura.

Para as temperaturas que até agora se têm podido attingir experimentalmente, nenhum gaz emite um espectro de riscas sem que tenham lugar phenomenos particulares (chymicos, electricos). Mesmo na producção dos espectros de bandas por descargas electricas interveem os phenomenos electricos que ainda podem complicar-se com transformações chymicas.

Estamos longe de uma theoria completa da emissão

espectral. Na ultima parte d'esta dissertação, exporemos as theorias actuaes e veremos como, excluida a idéa de a attribuir ás oscillações intramoleculares dos atomos, têm os physicos considerado as vibrações de particulas de muito pequena massa em relação á dos atomos chymicos e carregadas electricamente — os iões — cuja existencia são levados a admittir pelo estudo dos raios cathodicos e dos raios de GOLDSTEIN.

«Serão talvez estas particulas identicas aos vehiculos hypotheticos das perturbações luminosas dos atomos». Assim termina PRINGSHEIM a sua communicação sobre a emissão dos gazes ao Congresso de Physica, reunido em Paris em 1900 (1).

b) Constituição dos espectros de riscas. — Os espectros de riscas não são sempre da mesma estructura. Alguns ha em que as riscas se dispõem aos pares ou em grupos de tres ou, mais abreviadamente, em *doublets* e *triplets*, cujas componentes podem ordenar-se em series que convergem para um limite finito. Noutros é impossivel distinguir *doublets* ou series do mesmo character que no grupo precedente.

Consideremos os espectros do primeiro typo e a que podemos chamar *espectros de series convergentes*. As series podem ser de diferentes especies, formando grupos as da mesma especie. Qualquer d'ellas é constituida por uma sequencia de riscas cuja distancia e cuja intensidade diminuem igualmente quando diminue λ . Por isso o character de uma serie melhor se reconhece considerando a extremidade ultra-violeta do espectro; na parte visivel, as linhas que formam serie são muitas vezes de tal maneira desviadas, que é impossivel distingui-la.

(1) *Mois scientifique et industriel*, 2.º anno, n.º 2 (julho de 1900), pag. 147.

Os grupos de series podem reduzir-se a tres: grupo *principal* ou das series *principaes*, grupo *estreito* ou das *segundas series secundarias* e o grupo *nebuloso* ou das *primeiras series secundarias*. Os segundos nomes são empregados por KAYSER e RUNGE.

1.º O grupo *principal* é composto por duas ou tres series que convergem para um limite commum. A differença das frequencias das riscas correspondentes das differentes series, riscas que formam *doublets* ou *triplets*, diminue quando o numero de ordem dos termos augmenta.

As series principaes só são conhecidas nos espectros dos metaes alcalinos, e dos elementos do grupo do oxygenio.

As series differentes do Li e H não foram ainda separadas.

2.º O grupo *estreito* consiste em duas ou tres series simples cujos termos correspondentes formam *doublets* ou *triplets*, caracterizados pelas differenças constantes entre as frequencias das riscas. As series possuem limites separados, cujas differenças são expressas pelos mesmos numeros que as de dois ou tres termos correspondentes quaesquer.

A serie menos refrangivel é a mais forte.

3.º O grupo *nebuloso* é formado por series duplas ou triplas, como o grupo anterior, mas os dois primeiros termos dos *triplets* e o primeiro dos *doublets* são riscas compostas. Quando o poder da resolução do espectroscopio não é sufficiente para separar as componentes, apresenta-se a risca composta nebulosa do lado vermelho, em que estão situadas as componentes fracas.

Na constituição dos espectros de grande numero de metaes só entram series secundarias.

Todas as series possuem approximadamente a mesma forma. O comprimento de onda no vacuo é proporcional ao periodo vibratorio. A quantidade inversa d'aquella representa o numero dos comprimentos de onda comprehen-

dados na unidade de comprimento, ou a *frequencia* das vibrações durante o tempo gasto pela luz em percorrer o mesmo caminho.

Sejam n essa frequência, m o número de ordem de um termo, numa serie, e $n = F(m)$ a equação da serie. A equação da outra serie pôde exprimir-se approximadamente pela equação $n - a = F(m - \mu)$.

Numa primeira approximação, qualquer serie pôde representar-se por uma equação da fôrma

$$n = n_{\infty} - \frac{N_0}{(m + \mu)^2}$$

em que N_0 é uma constante commum a todas as series ($= 10,97216$) (1), n_{∞} , o limite para que tendo o valor de n , quando m se torna infinito e μ outra constante especifica da serie.

Como exemplo, temos a formula de BALMER para a serie do hydrogenio

$$n = 10,97216 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

Voltemos á consideração das series secundarias e designemos por d a differença de frequencia nos *doublets* e por d_1 e d_2 as differenças nos *triplets*. Em geral, é approximadamente $d_1 = 2d_2$.

Esta differença é a constante espectroscopica mais importante de um elemento dado, constante que está numa relação definida com o respectivo peso atomico.

Extrahimos do livro de NERNST, *Theoretical Chemistry*,

(1) MASCART — *Traité d'optique*, t. III, pag. 557.

(trad. de PALMER), a seguinte tabella em que, na primeira columna, estão escriptas as differenças de frequencia d , (d ou d^1), na segunda, os pesos atomicos e , na terceira, os quocientes d'aquellas differenças pelo quadrado d'estes pesos.

Elementos	I d	II A	III $\frac{d}{A^2}$
Li	0	7	
Na	47	23	0,00321
K	57	39	375
Rb	234	85	324
Cd	545	133	308
Cu	348	63	625
Ag	921	108	769
Au	3877	196	999
Mg	41	24	717
Ca	104	40	645
Sr	394	87	517
Zn	388	65	921
Cd	1165	112	934
Hg	4633	200	1161

Poder-se-hia agora construir uma tabella mais completa. É assim que o oxygenio, enxofre e tellurio dão para $\frac{d}{A^2}$ os numeros bastante proximos, 0,00145, 0,00177 e 0,00166; o aluminio, o gallio, o indio e o thallio dão para o mesmo quociente os valores 0,00152, 0,00168, 0,00172 e 0,00187.

A periodicidade dos espectros de riscas, tanto quanto podemos julgar-o actualmente, é da mesma natureza que

a da maior parte das qualidades physicas e chymicas. Estudando a influencia do magnetismo sobre a emissão, veremos que, quando se examinam os espectros do mesmo grupo chymico, não só as riscas se dispõem em grupos semelhantes, mas tambem as riscas correspondentes dos differentes espectros são semelhantemente modificadas pelo campo magnetico.

5. Os espectros de absorpção. — Todos os corpos têm a propriedade de extinguir, de absorver mais ou menos energeticamente as vibrações luminosas que os atravessam. Se esta absorpção é fraca e sensivelmente a mesma para todos os raios do espectro visivel, o corpo será incolor, e, recebendo um fasciculo de luz branca, deixará igualmente passar luz branca, se a sua espessura for moderada. Na maior parte dos casos não é assim; a absorpção é muito desigual para as diversas côres, cujas proporções na luz transmittida dependem da espessura de corpo, e não são as mesmas que na luz branca; o corpo é então córado.

Se designarmos por I_0 a intensidade de uma radiação simples, pôde admittir-se que, depois de atravessar uma espessura z do corpo estudado, a sua nova intensidade é

$$I = I_0 e^{-\alpha z};$$

em que α é um coefficiente de absorpção que depende da natureza do corpo e do comprimento de onda da luz empregada.

Podemos fazer uma idéa geral da variação de α com o comprimento de onda numa substancia dada, collocando uma lamina d'esta substancia deante da fenda de um espectroscopio e illuminando-a com luz branca. O espectro

é então mais ou menos enfraquecido ou extinto nas regiões em que α tem o maior valor.

Encontra-se assim que a maior parte dos corpos solidos e liquidos só são transparentes para uma região limitada do espectro, tanto mais extensa, quanto maior fôr a espessura sob que se consideram. Algumas vezes transmittem muitas regiões distinctas, vê-se o espectro cortado por bandas escuras que correspondem ás radiações absorvidas. Emfim, mesmo sob uma fraca espessura, o corpo pôde ser completamente opaco para todo o espectro.

É particularmente interessante este estudo da absorpção para os corpos no estado gazoso.

Quando estudados sob uma espessura sufficiente, todos elles, mesmo os incolores, exercem uma absorpção electiva caracterizada por riscas mais ou menos estreitas, como as de FRAUNHOFER, mas dispostas de maneira diversa, segundo a sua natureza. Para observar estes phenomenos é preciso que a origem da luz branca esteja a uma temperatura mais elevada que os gazes ou vapores absorventes. Os espectros de absorpção correspondem aos que estes gazes emittem e este phenomeno, conhecido pelo nome de inversão das riscas espectraes, é um caso particular da regra *qualitativa*, conhecida sob o nome de regra de KIRCHHOFF, e que não deve confundir-se (1) com a *lei de KIRCHHOFF*.

Esta lei estabelece uma relação entre todos os corpos que é funcção conhecida da temperatura e do comprimento de onda.

A *regra qualitativa* é mais geral e liga, para um dado corpo, a absorpção e a emissão. O seu enunciado é o seguinte: *Se um corpo emittre, numa direcção determinada, um fasciculo que propaga certas vibrações, definidas pelo*

(1) COTTON — *Revue générale des sciences*, 10.º anno, pag. 103.

seu periodo e pelo seu estado de polarisação, é esse corpo absorvente para um fasciculo que propague em sentido inverso as mesmas vibrações.

Como já dissemos, relacionam-se a esta regra, como casos particulares, os phenomenos de inversão das riscas espectraes dos gazes.

Já nos referimos á inversão *propriamente dita*. O que se chama a *inversão espontanea* consiste em apparecer uma risca escura no meio da risca brilhante emittida pelo gaz, que, ao mesmo tempo, se apresenta mais larga. Esta *inversão parcial* foi pela primeira vez observada na chamma do sodio ardendo no ar e é attribuida ao involucro exterior mais frio que a rodeia. Existe igualmente num grande numero de riscas dos metaes na faisca ou no arco.

Sob este ponto de vista ha differenças essenciaes entre as riscas de um mesmo corpo, differenças que, como veremos, se revelam tambem sob a acção de um campo magnetico.

CAPITULO II

Influencia do campo magnetico sobre a emissão

Summario.—1. Primeiras experiencias de ZEEMAN. — 2. Hypothese de LORENTZ, theoria elementar.

1. As primeiras experiencias de Zeeman.— Já nos referimos á origem das investigações que levaram ZEEMAN a mostrar de um modo irrefutavel a existencia de uma acção directa do magnetismo sobre a emissão.

Para chegar a este resultado, collocava a chamma de um maçarico oxyhydrico entre os polos de uma bobina de RUMKORFF, e introduzia nesta chamma um filamento de asbesto imbebido em chloreto de sodio. Por meio de uma rede ROWLAND de 10 pés inglezes de raio de curvatura e de 14438 traços por pollegada, produzia o espectro da chamma e observava-o, primeiro, na ausencia de campo magnetico, depois, enquanto a bobina funcionava. Na primeira observação as duas riscas D, vistas á lupa, desenhavam-se nitidas sobre o fundo escuro; sob a acção da corrente, que tinha uma intensidade media de 17 amperes, as duas riscas alargavam notavelmente e voltavam á sua largura primitiva logo que ella fosse interrompida. A acção era instantanea.

A risca vermelha do lithio, empregado sob a fôrma de carbonato, apresentava phenomenos analogos.

Ora, visto que a magnetisação modifica a fôrma da chamma e portanto tambem a sua temperatura, a uma elevação d'esta poderia attribuir-se a alteração observada. ZEEMAN eliminou esta interpretação por meio da seguinte experiencia:

Dentro de um grosso tubo de porcelana, aqueceu fortemente fragmentos de sodio afim de espalhar vapor d'este corpo por todo o tubo. Este era fechado, em cada uma das extremidades, por meio de peças de metal, munidas de placas de vidro de faces parallelas, e rodeadas de pequenos refrigerantes nos quaes passava uma corrente de agua fria, o que arrefecia sufficientemente as placas de vidro e as peças de metal, ainda mesmo que o tubo estivesse ao rubro.

Collocava-o horizontalmente, entre os polos de um electro-magnete em direcção perpendicular ás linhas de força, e dirigia, segundo o seu eixo, a luz de uma lampada electrica situada a 2 m. do electro-magnete, afim de evitar a acção d'este ultimo sobre o arco voltaico. Com auxilio de um mecanismo de relojoaria, imprimia ao tubo um movimento continuo de rotação em torno do eixo, de modo a evitar variações de densidade.

O espectro de absorpção mostrava as duas riscas D igualmente largas em toda a sua extensão. Fazendo funcionar o electro-magnete, alargavam consideravelmente. D'aqui naturalmente concluia que o campo magnetico alterava o periodo vibratorio da luz que examinava.

Em espectros com bandas de absorpção, não observou o phenomeno que tinha logar no espectro de riscas, o que achava de accordo com as suas idéas sobre a differença entre as duas especies de espectros (1). Um espectro de

(1) *Archives néerlandaises*. [II]. tomo 1, pag. 47.

bandas seria produzido por moléculas complexas; um espectro de riscas por moléculas com pequeno numero de átomos, e dissociadas. Nesta ordem de idéas, admittia que, sob a influencia do campo, ao lado das vibrações que produzem o espectro de riscas ordinario, tomavam logar vibrações com outros periodos. Foi então que recorreu á theoria electro-magnética de LORENTZ.

2. A hypothese de Lorentz. Theoria elementar. — Admitte-se, nesta hypothese, que as vibrações luminosas são vibrações de iões electricamente carregados e de massa definida. O estado do ether é inteiramente determinado pela carga, posição e movimento d'estes iões.

É natural pensar que, movendo-se um *ião* num campo magnetico, experiente, da parte d'este ultimo, forças mechanicas que produzam uma alteração no periodo de vibração. LORENTZ, a quem ZEEAMAN expoz as suas idéas, indicou-lhe a maneira de estabelecer a equação do movimento de um ião num campo magnetico e fez-lhe notar que, segundo a sua theoria, os bordos da risca espectral deviam apparecer polarisados circularmente.

A grandeza da mudança de periodo dependeria da relação $\frac{e}{m}$ entre a carga e e a massa m do ião e, inversamente, a medida da mudança de periodo poderia dar a conhecer aquella relação.

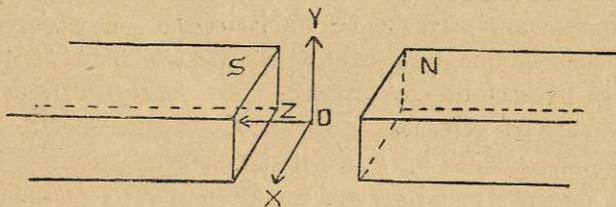


Fig. 1

Estabeleçamos agora as equações do movimento de um ião, vibrando no plano dos xy , num campo magnetico homogeneo, cuja força, de intensidade H , é dirigida segundo o eixo dos z positivos (fig. 1).

Seja e a carga (medida electro-magnetica) do ião carregado de electricidade e m a sua massa. As equações do movimento relativo a x , e a y , são

$$\left. \begin{aligned} m \frac{d^2x}{dt^2} &= -k^2x + eH \frac{dy}{dt} \\ m \frac{d^2y}{dt^2} &= -k^2y - eH \frac{dx}{dt} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1).$$

k é o coefficiente de elasticidade do ião e o primeiro termo do segundo membro é a força elastica que solicita o ião para a sua posição de equilibrio; o segundo termo é a força mechanica proveniente do campo magnetico.

Satisfazemos a (1) pondo :

$$\left. \begin{aligned} x &= \alpha e^{st} \\ y &= \beta e^{st} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

comtanto que

$$\left. \begin{aligned} ms^2\alpha &= -k^2\alpha + eHs\beta \\ ms^2\beta &= -k^2\beta - eHs\alpha \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3).$$

As quantidades m , k , e e H são dadas.

O que nos importa conhecer é o periodo T de uma vibração.

Se $H = 0$, (3) dá

$$s = i \frac{k}{\sqrt{m}} = i \frac{2\pi}{T}$$

d'onde

$$T = \frac{2\pi\sqrt{m}}{k} \dots\dots\dots (4).$$

Se H é diferente de zero, (3) dá, approximadamente,

$$s = i \frac{k}{\sqrt{m}} \left(1 \pm \frac{eH}{2k\sqrt{m}} \right),$$

e se T' representa neste caso a duração de uma vibração, temos

$$T' = \frac{2\pi\sqrt{m}}{k} \left(1 \pm \frac{eH}{2k\sqrt{m}} \right) \dots\dots\dots (5)$$

de sorte que a relação entre a mudança do periodo e o periodo inicial é

$$\frac{eH}{2k\sqrt{m}} = \frac{e}{m} \frac{HT}{4\pi} \dots\dots\dots (6).$$

Das equações (4) e (5) deduz-se

$$T - T' = \frac{2\pi\sqrt{m}}{k} \cdot \frac{eH}{2k\sqrt{m}} \dots\dots\dots (7),$$

equação que exprime a mudança de periodo do ião, e de (7) e (4)

$$\frac{T - T'}{T} = \frac{eH}{2k\sqrt{m}} = \frac{eHT}{m4\pi}$$

visto ser

$$k = \frac{2\pi\sqrt{m}}{T}$$

Finalmente, visto que $T = \frac{\lambda}{v}$ e $T' = \frac{\lambda'}{v}$, onde v = velocidade da luz, vem

$$\frac{\lambda - \lambda'}{\lambda^2} = \frac{e}{m} \frac{H}{4\pi v} \dots \dots \dots (8)$$

onde λ = comprimento de onda de uma risca espectral quando o campo magnetico é nullo.

λ' = comprimento de onda da risca sob a acção do campo magnetico.

v = velocidade da luz, 300000000 cm.

H = intensidade do campo magnetico expressa em unidades C. G. S.

Consideremos as equações (4) e (5).

Podemos decompor o movimento de que o ião está animado, antes da existencia das forças magneticas, numa vibração rectilinea parallela ao eixo dos z , e duas vibrações circulares, dextro gyra e levogyra, no plano dos xy .

Se a origem luminosa é vista em direcção parallela ao campo magnetico, segundo o eixo dos z , não é effectiva

a componente cujo movimento é paralelo a esse eixo, ficando o raio composto por dois raios componentes, polarizados circularmente, cujos periodos de rotação, no caso do campo magnetico ser nullo, têm o mesmo valor, dado pela equação (4). Para um campo magnetico de intensidade H , os periodos são diferentes e dados pelas equações (5).

Ora, sendo a variação dos periodos igual e de signal contrario, a risca original é substituida por duas outras de intensidade igual, polarizadas circularmente em sentidos oppostos e symmetricamente collocadas em relação á primeira (fig. 2, BB').

Vista em direcção normal ao campo magnetico, a componente paralela ao eixo dos z e, portanto, paralela ao eixo das correntes solenoidaes, não é alterada por elle, conserva o seu periodo e revela-se por luz rectilineamente polarizada num plano normal ao campo. As duas componentes circulares produzem raios polarizados num plano paralelo ao campo.

Assim, nesta direcção, é a risca espectral substituida por tres componentes caracterisadas pelo seu estado de polarisação que, em muitos casos, se tornam bem distinctas, se o campo magnetico é de intensidade sufficiente e o aparelho espectroscopico de regular poder de resolução. Quando não são satisfeitas estas duas condições experimentaes, as tres componentes sobrepõem-se, apparecendo a risca mais larga. Podem, comtudo, ser separadas por meio de um nicol (fig. 3, \bar{A} , A').

Nas suas primeiras observações (1), apenas notou ZEEMAN

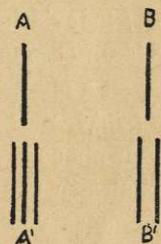


Fig. 2

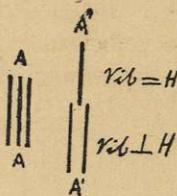


Fig. 3

(1) *Philosophical magazine*, (5), 43, pag. 226.

o alargamento das riscas; reconheceu depois o estado de polarisação particular das riscas modificadas pelo magnetismo; por fim (1), conseguiu obter o *doublet* e o *triplet* previstos pela theoria de LORENTZ.

Muitos physicos seguiram ZEEMAN no estudo d'estes phenomenos e, empregando methodos de observação variados, reconheceram não serem tão simples como o fazia suppôr a theoria elementar que expozemos. A maior parte das riscas até hoje examinadas mostram os *doublets* e os *triplets*; todavia ha numerosas excepções á regra geral. Sem duvida o caso mais interessante é o da risca D_1 , do sodio, na qual a observação normal ás linhas de força faz ver não um *triplet*, mas sim um *quadruplet*.

Este phenomeno, que foi descoberto por CORNU e PRESTON, encontra-se noutras riscas.

Algumas vezes o numero das componentes ainda é mais consideravel; MICHELSON, BECQUEREL e DESLANDRES e PRESTON têm assignalado, por exemplo, 6, 8 e mesmo 9 riscas.

(1) *Philosophical magazine*, (5), 44, pagg. 55 e 125; 45, pag. 197.

CAPITULO III

Influencia do campo magnetico sobre a emissão.—Methodos

Summario. — 1. Campo magnetico. — 2. Origem luminosa. — 3. Methodo espectro-photographico. — 4. Methodo interferencial.

No desenvolvimento experimental do problema, têm sido empregados dois methodos radicalmente differentes que passamos a expôr e a comparar.

O primeiro, que podemos chamar espectro-photographico, foi o seguido por ZEEMAN e muitos outros investigadores.

Consiste em photographar as riscas espectraes e, em seguida, medir a separação das componentes «magnetizadas», por meio do comparador. O phenomeno é observado directamente e fixo por meio da photographia.

O segundo é devido ao professor MICHELSON — é o methodo interferencial.

Usado com campos magneticos tão fracos que, pelo primeiro methodo, não eram sensiveis as alterações produzidas, possui delicadeza e sensibilidade muito superiores a qualquer photographia.

Consiste em obter as curvas de visibilidade das riscas

espectraes, com o campo magnetico nullo e com campos de differentes intensidades. A analyse d'estas curvas dá a conhecer a distribuição da luz na origem. Por meio de um nicol, é possível observar separadamente os dois planos de polarisação.

São a applicação, ao caso actual, dos methodos mais seguidos no estudo dos espectros de riscas.

Antes de passarmos a descrever a parte dos apparatus de observação que caracteriza cada um d'estes methodos — a parte optica, — digamos alguma coisa sobre as origens luminosas e a produção do campo magnetico.

1. Campo magnetico. — Nem os magnetes permanentes, nem as correntes por si só são susceptíveis de produzir os campos magneticos intensos e uniformes de que ha necessidade no estudo dos phenomenos magneto-opticos. Para esse fim, associa-se a acção de uma corrente muito intensa com a da magnetisação desenvolvida por influencia em massas de ferro macio, convenientemente collocadas. Os electro-magnetes mais espalhados são formados por uma peça de ferro macio, em forma de ferradura, cujos ramos são envolvidos por bobinas enroladas no sentido conveniente para produzir nas suas extremidades polos de signal contrario. Mas, para obter um campo magnetico uniforme, emprega-se de preferencia a disposição realisada por **RUHKORFF**, por meio da qual se podem produzir campos superiores a 30000 unidades C. G. S. Esta disposição e a de **WEISS** têm sido as mais empregadas pelos physicos no estudo do phenomeno de **ZEEMAN**.

Apenas se modificam as peças polares dando-lhe ordinariamente a fôrma de um cylindro sobre cuja base se assenta um tronco de cone de cerca de 60° e que termina por uma face de um centimetro de diametro.

No caso da observação parallela ás linhas de força, uma

das peças polares tem, segundo o eixo, um canal cylindrico de um millimetro de diametro.

2. Origem luminosa.—Têm sido empregadas, com modificações adequadas, todas as disposições de que se lança mão na producção dos espectros de riscas.

Um processo que parece dar riscas muito finas consiste em utilizar os tubos de GEISSLER com vapores metallicos, como os empregaram MICHELSON, depois HAMY, cujo apparelho é muito commodo. Regulando convenientemente a densidade do vapor e as condições da descarga, podem tornar-se muito estreitas e nitidas muitas riscas de emissão, observadas com uma rede ROWLAND, por exemplo.

Usando das chammas, devem córar-se de um lado apenas e utilizar-se os raios que, partindo d'esse lado, atravessaram o resto não córado da chamma. Isto para evitar os effeitos da inversão espontanea.

3. Methodo espectro-photographico.—A parte optica do apparelho é, neste methodo, constituida por um espectroscopio photographico de rede plana ou concava. As redes mais frequentemente utilizadas têm sido as celebres redes traçadas com o auxilio da machina construida pelo professor ROWLAND, de Baltimore. São, como é sabido, redes *por reflexão*, traçadas sobre um espelho metallico plano ou concavo, mas, neste caso, de grande raio de curvatura.

O valor d'estes instrumentos está no seu *poder de resolução*, isto é, o poder de separar nitidamente as componentes muito proximas de uma risca multipla e que não deve confundir-se com a *dispersão* ou o desvio angular, depois de difracção, de dois raios monochromaticos dados. A dispersão é proporcional ao numero de traços por millimetro, o poder de resolução é proporcional ao producto

do numero total dos traços pela ordem do espectro observado. Ha portanto vantagem em tomar redes muito largas e em observar espectros de *ordem* elevada. Obtem-se o mesmo poder de resolução com uma rede de grande numero de traços por millimetro e de que se observam os primeiros espectros, do que com uma em que se augmenta o intervallo dos traços e de que se observa um espectro de ordem elevada.

«Se o erro absoluto do intervallo devido á machina de dividir é $0^{\text{mm}},00025$, obter-se-ha nitidez identica, quer com uma rede de 800 traços por millimetro, utilizando o primeiro espectro, quer com uma de 160 traços por millimetro, de que se utilise o quinto espectro». (1)

A última rede é muito mais facil de construir. O brilho dos espectros parece ser dependente da maneira por que são feitos os traços.

Para as melhores redes conhecidas, o valor do poder de resolução ($r = \frac{\lambda}{d\lambda} = \frac{2l}{\lambda}$, l = largura da rede = 13 centimetros) é igual a 375000, e permite separar duas radiações cujos λ differem de $0\mu,0000016$. Essas redes não podem, comtudo, rivalisar com o refractometro interferencial de MICHELSON.

Alem de introduzir aperfeiçoamentos notaveis na construcção das redes, tambem imaginou este physico um novo instrumento de difracção por meio do qual é possivel concentrar toda a luz em espectros de ordem muito elevada. Consiste numa serie de laminas de vidro de igual espessura e de largura constante, empilhadas de maneira a formar um conjuncto apresentando a fôrma de uma escada (fig. 4).

O fasciculo que transmittte é quasi exclusivamente for-

(1) WADSWORTH — *Journal de physique*, [3], v. 6, pag. 411.

mado de raios difractados pouco inclinados sobre a direcção geometrica de propagação; em geral só se veem dois es-

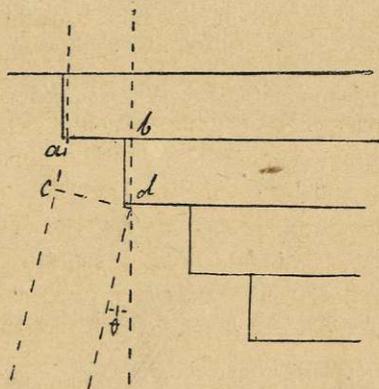


Fig. 4

pectros, ou duas riscas, se supozermos a radiação estudada sensivelmente monochromatica, caso a que se deve limitar o emprego d'este instrumento. Póde fazer-se desaparecer um dos espectros modificando ligeiramente a incidencia.

O espectro observado corresponde a raios difractados para os quaes a differença de marcha é um multiplo exacto do comprimento de onda. Esta differença de marcha é muito grande, por causa da differença dos indices do ar e do vidro, de modo que aquelle espectro é de ordem muito elevada e tanto mais, quanto maior fôr a espessura das laminas.

O poder de resolução é proporcional, por um lado, á ordem do espectro observado, por outro, á espessura total. Um d'estes instrumentos, construido por MICHELSON per-

mitte desdobrar riscas cuja distancia é $\frac{1}{900}$ da das riscas D_1 e D_2 do sodio (1).

(1) É interessante notar que é necessario um pequeno numero de elementos para obter resultados comparaveis aos das melhores redes (*).

Seja abd um degrau, e façamos $ab = s$, $bd = t$. Sendo m a ordem do espectro observado, $m\lambda = \mu \cdot bd - ac$, ou

$$m\lambda = \mu t - t \cos \theta + s \sin \theta.$$

Portanto

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{m - t \frac{d\mu}{d\lambda}}{t \sin \theta + s \cos \theta}, \quad \frac{d\theta_1}{dm} = \frac{\lambda}{t \sin \theta + s \cos \theta};$$

e, se $d\theta$ é o desvio correspondente a $\delta\lambda$, e $d\theta_1$, o que corresponde a $\delta m = 1$, empregando a formula de CAUCHY,

$$\mu = a + \frac{b}{\lambda^2},$$

e tomando o valor approximado

$$m = (\mu - 1) \frac{t}{\lambda},$$

vem

$$\frac{\delta\theta}{\delta\theta_1} = [(\mu - 1) + 2(\mu - a)] \frac{t}{\lambda} \cdot \frac{\delta\lambda}{\lambda}.$$

Para o *flint-glass* o coefficiente de $\frac{t}{\lambda}$ é approximadamente igual á unidade; de modo que, no caso de ser $\frac{\delta\lambda}{\lambda} = 001$, como acontece para as duas riscas amarellas do sodio, e $t = 5^{\text{mm}} = 10000 \lambda$, será $d\theta = 10 d\theta_1$; isto é, podem as riscas do sodio ser separadas por um comprimento dez vezes maior do que a distancia entre os espectros successivos.

(*) MICHELSON — *The Astrophysical Journal*, vol. VIII, pag. 38.

Apesar de ser o poder de resolução independente do numero das laminas, é conveniente que este seja grande; porqué, nesse caso, é maior a separação dos espectros. A sobreposição d'estes limita o emprego do instrumento ao estudo de uma região muito restricta do espectro, ao estudo de uma risca estreita.

MICHELSON na America, LORD BLYTHSWOOD e o Dr. W. MARCHANT, na Inglaterra, têm-no applicado, com successo, ao estudo das modificações experimentadas pelas riscas sob a influencia de um campo magnetico.

Representamos na fig. 5 a disposição do aparelho, quando se emprega uma rede como instrumento dispersivo, e se faz a observação parallelamente ás linhas de força do campo magnetico.

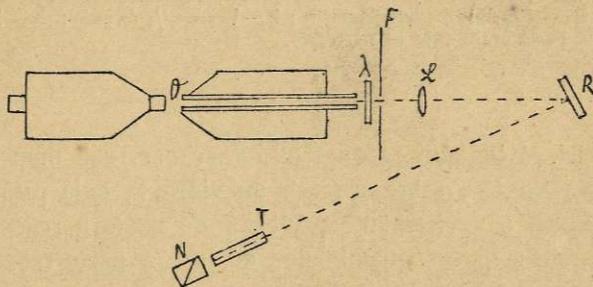


Fig. 5

O — Origem; λ — Lamina $\frac{1}{4}$ de λ ; F — Fenda; R — Rede.

4. O methodo interferencial. — O professor MICHELSON mostrou a adaptabilidade particular do interferometro a esta classe de investigações (1).

(1) *Nature* (Londres), vol. 59, pag. 440.

Compõe-se este aparelho (fig. 6) de uma placa de vidro com faces planas e paralelas E, e de dois espelhos planos

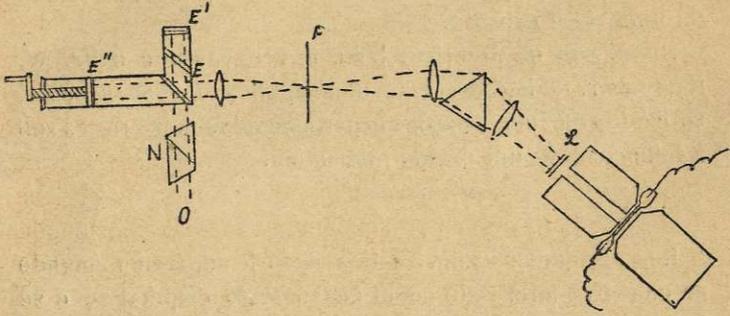


Fig. 6

E, E' E'' — Espelhos do interferometro; L — Lamina $\frac{1}{4}$ de onda; N — Nicol;
F — Fenda; O — Olho ou telescópio.

E' e E''. A luz que se quer examinar cae, sob uma incidência de 45° , sobre a placa de vidro E, cuja primeira superfície é ligeiramente prateada de modo a reflectir e transmitir iguaes quantidades de luz. A parte reflectida é reenviada pelo espelho E' e, em seguida, atravessa a placa de vidro; a outra, reflectida pelo espelho E'', reflecte-se de novo sobre a placa E e propaga-se na mesma direcção, EO, que a primeira.

Considerações elementares mostram que esta disposição equivale á sobreposição de dois fasciculos, um dos quaes seria reflectido sobre o espelho E', o outro sobre a imagem de E'' em relação á placa E, imagem que chamaremos *plano de referencia*.

Em vez de se observar, como nas redes, a interferencia

dê uma *serie* de ondas diffractadas successivas, observam-se os aneis dados por *duas ondas* sômente e cuja differença de marcha designamos por Δ . Consegue-se deduzir a distribuição de luz na origem, pela avaliação da visibilidade das franjas, quando Δ cresce progressivamente.

Supponhamos que se estuda uma origem que emitta dois systemas de radiações differindo pela millesima parte do seu comprimento de onda. Quando o *plano de referencia* e o espelho *E'* estão muito proximos, a differença de marcha é sensivelmente a mesma para as duas radiações e as franjas apparecem com a maior nitidez, visto que os maximos dos dois systemas coincidem. Á medida que aquellas superficies se afastam, diminue a nitidez até que a differença de marcha de uma das radiações tome, sobre a differença de marcha da outra, um avanço de meio comprimento de onda; a partir d'esta posição, continuando a distancia a augmentar, as franjas tornam-se mais claras, e, a uma distancia que corresponde ao avanço de um comprimento de onda, os dois systemas de franjas coincidem de novo, e assim successivamente.

Reciprocamente, se, pela observação, são reconhecidas taes variações de nitidez das franjas, poder-se-ha concluir que a luz é composta de duas radiações, medir a distancia das componentes e mesmo achar a lei de distribuição das intensidades. Este ultimo problema é muito difficil e a sua resolução obtem-se por processos graphics.

Foi este o methodo que MICHELSON e, depois d'elle, J. SHEDD applicaram ao estudo do phenomeno de ZEEMAN. A fig. 6 representa a disposição geral do apparatus para esse fim. Do trabalho experimental de SHEDD, «*An Interferometer Study of Radiations in a magnetic Field*» (1), ex-

(1) *The Physical Review*, vol. XI, n.^{os} 1, e 11.

trahimos as fig. 7 e 8 que representam as curvas de visibilidade em que a origem luminosa é uma chamma de BUNSEN impregnada de sodio, e a luz é vista perpendicular e parallelamente ao campo.

Indiquemos as vantagens e inconvenientes dos dois methodos.

O principal merito do methodo espectro-photographico está em fixar o phenomeno por meio da photographia. A

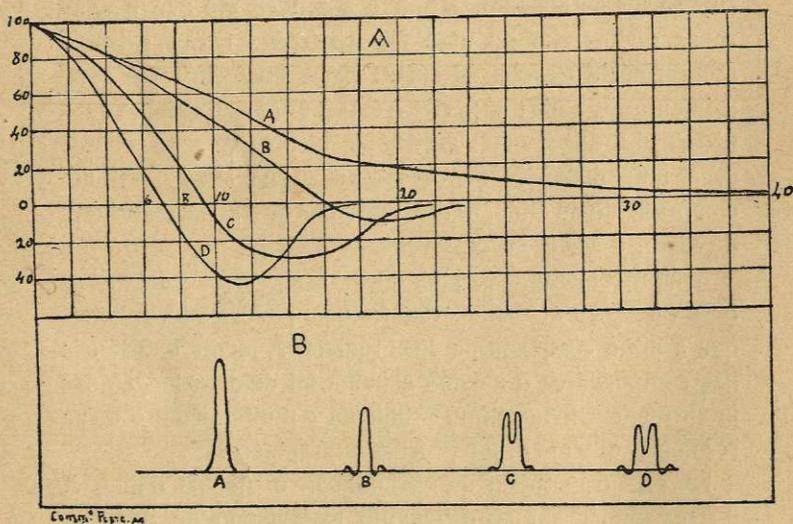


Fig. 7

Na em chamma de BUNSEN. Observação normal ao campo

A — Curvas de visibilidade

B — Curvas de distribuição

Curva	II
A	0
B	6800
C	8050
D	8950

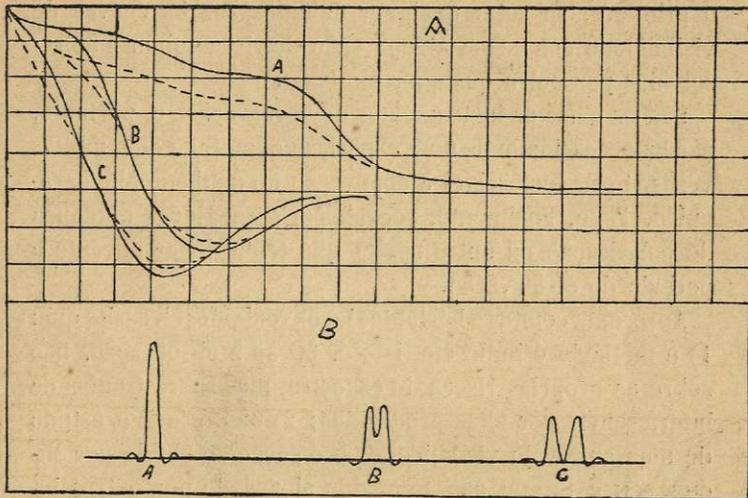


Fig. 8

Na em chamma de BUNSEN. Observação paralela ao campo

A — Curvas de visibilidade

B — Curvas de distribuição

Curva	H
A	0
B	3000
C	7700

observação faz-se directamente. É, contudo, limitado: 1) em alcance, por causa do poder de resolução praticamente obtido por meio das redes, muito pequeno em relação á delicadeza das alterações que devem medir-se; 2) em exactidão, pela larga margem para erros offerecida pelo ajustamento do micrometro, especialmente quando se pretendem medir linhas pouco nitidas. Devemos notar que, fazendo uso do espectroscopio de degraus, de MICHELSON, desaparece o primeiro d'estes inconvenientes.

O segundo methodo é sensível a campos magneticos muito fracos em relação aos que são necessarios para, com

o primeiro, se notar qualquer modificação. As curvas de visibilidade conduzem á separação de riscas ainda não resolvidas por outro qualquer methodo.

São os olhos os instrumentos de observação; e, portanto, não ha necessidade de uma exposição demorada que, muitas vezes, torna impossivel a applicação do methodo photographico. Pode, finalmente, reconhecer-se qualquer mudança de polarisação ou outro effeito que tenha logar durante o periodo de observação.

Apresenta comtudo bastantes inconvenientes. É assim que: 1) o methodo é indirecto, isto é, faz-se a observação, não sobre as proprias riscas do espectro, mas sobre franjas de interferencia por ellas produzidas; 2) não é facil o estudo de uma curva de visibilidade, e o successo obtido por MICHELSON e SHEDD não tem sido alcançado por outros investigadores; 3) não sendo o instrumento automatico, está sujeito aos erros pessoaes do observador.

CAPITULO IV

Influencia do campo magnetico sobre a emissão. — Resultados experimentaes

Summario. — 1. Observação segundo as linhas de força. — 2. Observação na direcção normal ás linhas de força. — 3. Medidas quantitativas das mudanças de comprimento de onda e da relação $\frac{e}{m}$ e classificação baseada nestas medidas.

Neste capitulo, referir-nos-hemos, apenas, ao resultado obtido quando a observação é feita nas duas direcções principaes — parallela e perpendicular ás linhas de força do campo magnetico. Já deduzimos, para estes dois casos, as consequencias da theoria elementar de LORENTZ, theoria que se não adapta a todas as modalidades do phenomeno e que, por isso, tem de soffrer alterações profundas.

Dividiremos esta exposição em duas partes:

Na primeira, apresentaremos as diversas fórmulas por que o phenomeno se manifesta, estudando grande numero de riscas espectraes que emanem do maior numero estudado de substancias differentes, com uma classificação segundo o typo da modificação produzida.

Na segunda, condensaremos as medidas das mudanças do comprimento de onda e da relação $\frac{e}{m}$, e apresentaremos a classificação baseada nestas medidas.

1. **Observação segundo as linhas de força.** — Neste caso os phenomenos observados são muito simples. Uma risca espectral separa-se sempre em duas partes da mesma intensidade e polarizadas circularmente em sentidos opostos em toda a sua largura.

Esta separação entre as duas partes componentes, para cada linha, varia proporcionalmente á intensidade do campo. Se ella não fôr sufficiente para as separar nitidamente; observa-se uma só risca, cujas margens são polarizadas circularmente e de que a parte central emite luz natural. O valor do campo necessario para produzir a separação completa depende da risca estudada e do methodo seguido na sua observação. O methodo de MICHELSON permite reconhecer a duplicidade por meio de forças magneticas relativamente fracas.

Cada uma das partes em que se divide a risca primitiva póde apresentar uma constituição complexa, se estudada com apparelho de grande poder de resolução. Após estudos, por meio do interferometro, de muitas riscas emittidas por varias origens, principalmente tubos de GEISSLER encerrando vapores metallicos, MICHELSON chega á conclusão de que, no caso geral, cada uma d'aquellas partes é um *triplet*. Para a risca verde do cadmio foi essa constituição reconhecida tambem pelo espectroscopio de degraus e pelos espectroscopios de rede ROWLAND.

Noutros casos, apresentam-se sob a fôrma de *doublets*; ex.: as riscas de ferro e muitas outras estudadas por BECQUEREL e DESLANDRES. Não nos deve surprehender esta complexidade; as riscas apparecem muitas vezes multiplas fóra da acção de todo o campo magnetico.

Seja qual fôr a constituição das duas partes da risca, a existencia d'estas duas partes, polarizadas em sentido contrario, apparece como um factio geral; de sorte que

podemos ainda, em todos os casos, fallar de *doublet* magnetico» (1).

Poderia julgar-se que a banda escura situada entre as duas componentes fosse uma risca de absorpção ordinaria. Neste caso estaria essa banda situada precisamente sobre a parte da risca de emissão, alargada pela acção do campo, que emite luz natural. Ora, diminuindo a intensidade do campo, a banda retrahe-se. Nada se oppõe, é verdade, a que uma banda de absorpção apresente o mesmo phenomeno; mas, então, deveria emittir luz natural uma parte maior da risca alargada, e a banda de absorpção só poderia cobrir uma parte d'esta ultima. Por outro lado, está estabelecido de um modo incontestavel que, mesmo no caso de ser muito estreita a porção escura, as componentes do *doublet* se apresentam polarizadas circularmente em toda a sua largura, de sorte que é impossivel admittir que a banda a que nos referimos seja uma banda de absorpção. Ha, contra esta hypothese, outro argumento. Poderia, com effeito, esperar-se encontrar esta absorpção em direcção perpendicular ás linhas de força; segundo as observações de PRESTON, nada apparece que justifique a sua existencia.

Para reconhecer o estado de polarisação das duas partes do *doublet*, faz-se passar o fasciculo que se estuda atravez de um analysador circular collocado antes do espectroscopio (2).

BECQUEREL e DESLANDRES empregavam um rhomboedro de espatho da Islandia munido de uma lamina quarto de onda apropriada á região do espectro que queriam photographar. Este analysador só deixa passar a parte que é polarizada circularmente num sentido determinado.

CORNU (3) emprega uma disposição que permite observar simultaneamente as duas componentes e que é de grande

(1) COTTON — *Le phénomène de ZEEMAN*. (*Scientia*), pag. 43.

(2) COTTON — pag. 21.

(3) C. R. 44.º semestre de 1897, pag. 556.

vantagem quando o campo magnetico ou o poder separador do instrumento de observação são insufficientes para que sejam bem desviadas as componentes do *doublet*.

Faz a observação das riscas no plano focal de uma ocular. Fixa nesse plano uma agulha de aço em direcção normal ás riscas. Atraz da ocular colloca um prisma birefringente de WOLLASTON, que desdobra a imagem da agulha; o diametro d'esta é escolhido de modo que as duas imagens tenham um bordo commum. Assim se obtêm duas bandas contiguas polarisadas, uma parallelamente, outra perpendicularmente ás riscas espectraes. Entre a ocular e o prisma birefringente, introduz-se uma lamina de mica quarto de onda, cujas secções principaes façam um angulo de 45° com as do prisma.

Excitado o campo magnetico, vê-se adelgaçar a risca nas duas bandas, e quebrar-se na linha que as separa.

Imprimindo á lamina quarto de onda uma rotação de 90° , a quebradura faz-se em sentido inverso.

A inversão dos polos inverte tambem o seu sentido. Reconhece-se alem d'isso que uma linha, situada no meio das duas riscas assim produzidas, occupa sensivelmente a posição da risca primitiva: as duas alterações no comprimento de onda são portanto iguaes e de signal contrario. Este ultimo facto tambem se reconhece facilmente, dispondo o espectroscopio de maneira que os desvios sejam proporcionaes aos comprimentos de onda; verifica-se que a separação das duas componentes do *doublet* mede o dobro da mudança do comprimento de onda experimentada por cada uma d'ellas.

Reconhecido que as duas componentes são polarisadas circularmente em sentido inverso, vejamos a relação que existe entre este sentido e o das correntes de AMPÈRE ou o da corrente que circula nas bobinas do electro-magnete.

Tem grande importancia, no caso actual, a determinação do sentido das vibrações circulares. Segundo a theoria electro-magnetica de LORENTZ, admittia ZEEMAN a existencia de cargas electricas na origem, cargas que suppoz positivas, emquanto não reconheceu o erro que tinha commettido na determinação das vibrações que se propagam segundo as linhas de força.

O facto de serem as cargas negativas está de accordo com o que pôde deduzir-se do estudo das descargas electricas, a saber, que os iões carregados negativamente têm a maior mobilidade.

São devidos a CORNU (1) e a COTTON (2) processos para reconhecer, com segurança, o sentido de uma vibração circular.

O processo de CORNU é baseado na dupla refração circular do quartzo.

Um dos de COTTON consiste no seguinte: toma-se uma lamina de espatho perpendicular ao eixo e observa-se, por meio de um nicol, o fasciculo de luz convergente polarisada circularmente que a tenha atravessado. Aparecem, em logar de um, dois systemas de anneis, de maneira que os arcos de um quadrante não correspondem aos dos quadrantes adjacentes. As partes de anneis mais proximas do centro reduzem-se a duas manchas negras que se distinguem facilmente. A linha que as une faz sempre um angulo de 45° com a secção principal do nicol; para a direita ou para a esquerda, segundo o sentido da vibração circular.

Attendendo á regra de AMPÈRE, segundo a qual uma linha de força magnetica equivale ao eixo de um solenoide cujo polo austral está para a esquerda da corrente, CORNU e KÖNIG enunciaram, independentemente, a regra seguinte: *O movimento circular de mais curto periodo tem o mesmo*

(1) *L'Eclairage électrique*, XIII, pag. 241-249, 6 nov. 1897.

(2) *Journal de physique*, VII, pag. 81 (1898).

sentido que a corrente do solenoide equivalente ao campo magnetico, ou, o que vale o mesmo, a risca situada do lado do violeta é formada por vibrações circulares cujo sentido é o da corrente magnetisante que circula nas bobinas enroladas em torno dos polos.

Sob a influencia do campo magnetico, o numero N de vibrações torna-se, em $N+n$ para as vibrações circulares que têm o sentido das correntes de AMPÈRE, em $N-n$ para as vibrações circulares que têm sentido contrario áquellas correntes.

Não se conhece excepção a esta regra.

2. Observação na direcção normal ás linhas de força. —

A maior parte das riscas espectraes, entre as quaes se observou o phenomeno de ZEEMAN, transformam-se, sob a influencia das forças magneticas, em *triplets* , conforme a theoria elementar, quando se observam em direcção normal ás linhas de força. Muitas riscas, todavia, apresentam phenomenos mais complicados.

PRESTON (1) e CORNU (2) mostraram que a risca D do sodio, em vez de um *triplet* , apresenta um *quadruplet* , cujas componentes extremas são polarizadas parallelamente ás linhas de força, as componentes medias perpendicularmente a estas linhas. *Quadruplets* analogos se têm observado em outros casos. A risca D_2 produz um *triplet* nebuloso de que cada componente parece ser um *doublet* .

PRESTON assignalou sete typos differentes, e MICHELSON (3) com o interferometro mostrou tres typos irreductiveis.

Apesar d'estas complicações, que em parte poderiam

(1) PRESTON. — *Trans. Roy. Dublin Society*, vol. VI, serie II, pag 385 (1897). Ver *Nature* (Londres), vol. LXI, pag. 41.

(2) CORNU, *Comptes rendus*, t. 126, pag. 181.

(3) MICKELSON — *Nature* (Londres), vol. LIX, pag. 44 e *The Astro physical Journal*, vol. VIII, pag. 45.

depende da complexidade da risca primitiva, tal como ella se mostra fóra da acção do campo magnetico, poder-se-hia, em geral, fallar de um *triplet*, intendendo por isso que, no grupo de riscas observadas perpendicularmente ao campo, a parte média é polarisada como a risca média do *triplet* normal, e as partes lateraes conservam a polarisação característica das riscas exteriores. Mas existem alguns casos, de que BECQUEREL e DESLANDRES (1) estudaram o primeiro numa das riscas de ferro, em que as partes média e exteriores trocaram entre si os estados habituaes de polarisação ou, por outras palavras, em que as riscas polarisadas perpendicularmente ao campo comprehendem entre si as riscas polarisadas parallelamente.

Portanto, o facto mais geral póde enunciar-se da seguinte maneira: *Sob a acção de um campo magnetico, uma risca de emissão separa-se em varias riscas componentes, polarisadas rectilineamente de uma maneira completa e com que se podem formar dois grupos caracterisados, um, pela sua polarisação parallela ás linhas de força, outro, pela sua polarisação perpendicular ás mesmas linhas.*

Podemos com um nicol annullar um d'estes grupos, examinando-os, assim, separadamente. Mas a melhor maneira de estudar o phenomeno, por meio do espectroscopio, consiste em collocar, antes da fenda, um prisma birefringente de WOLLASTON, ou mesmo um rhomboedro de espatho. D'este modo produzem-se na fenda duas imagens da origem, das quaes, uma corresponde a um grupo, a outra, ao outro grupo (fig. 3), vendo-se os grupos simultaneamente, e podendo photographar-se nas mesmas condições de producção. Mas a principal vantagem em os separar está em serem, muitas vezes, tão pequenas as diferenças de comprimento de onda, que se sobrepõem as componentes ainda que o campo magnetico tenha grande intensidade.

(1) BECQUEREL e DESLANDRES — *Comptes rendus*, 4 de abril de 1898.

De harmonia com a theoria elemental, devem as duas componentes lateraes do *triplet* normal corresponder ás duas componentes do *doublet* observado na direcção parallela ao campo.

Representam estas quatro riscas dois movimentos na origem, ambos elles circulares, de trajectoria situada num plano normal ás linhas de força, movimentos que se propagam conservando o seu character.

Embora isso não seja susceptivel de uma demonstração experimental rigorosa, para o que concorre a desigualdade de condições de intensidade e uniformidade do campo magnetico, parece averiguado que, todas as vezes que as componentes do *doublet*, na observação parallela ás linhas de força, se apresentam multiplas, tambem assim se mostram as duas partes que, na observação perpendicular áquellas linhas, são polarisadas num plano que lhes é parallelo.

Tem este facto uma confirmação valiosa na progressiva mudança de polarisação, desde a recta até ao circulo, atravez de ellipses cada vez menos excentricas, que experimentam as componentes lateraes do *triplet* normal, quando a direcção da observação faz successivamente, com as linhas de força, angulos comprehendidos entre 90° e 0° .

a) Modalidades do phenomeno. — Passamos a analysar os varios aspectos apresentados pelas riscas espectraes, referindo-nos, para maior facilidade de exposição, ás fig. 9, 10 e 11.

Nas duas primeiras é dada a classificação segundo PRESTON. Na fig. 9, são eschematicamente representadas photographias obtidas collocando antes da fenda do espectroscopio um prisma birefringente, correspondendo as riscas superiores ás vibrações parallelas ás linhas de força, e as inferiores ás vibrações normaes ás mesmas linhas.

A A' e 1 representam o *triplet* normal, como se apresenta nas riscas 4678 do Cd; 5167,5 do Mg; 4680 do Zn

e na vasta maioria das outras riscas espectraes. O qualificativo de normal é justificado, pelo menos, em razão da sua frequencia.

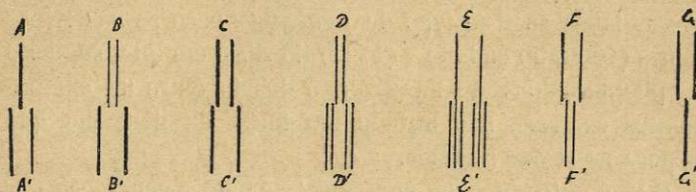


Fig. 9

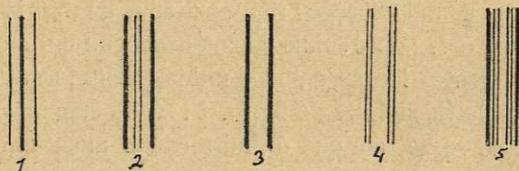


Fig. 10

Este caso nem sempre se observa com facilidade, sendo necessarios campos muito mais intensos do que os suficientes para a separação completa das componentes do *doublet* observado parallelamente ao campo. Supprimindo o aparelho de polarisação, como está representado na fig. 10, é preciso estudar riscas muito finas, particularmente favoraveis, como a risca azul do cadmio, para que se observe de uma maneira bem nitida o *triplet* 1. Se as forças magneticas não têm a intensidade sufficiente, ou as riscas não são finas, ou uma e outra coisa, observam-se os casos que ZEEMAN chama de transição (1) e que foram os que primeiro observou.

(1) *Archives néerlandaises des sciences exactes et naturelles*, S. II, tom. 1, pag. 384

O segundo typo, representado por 2 (fig. 10) e BB' (fig. 9) é um *quadruplet* em que, em lugar de uma risca média simples, apparecem duas riscas muito junctas e fracas, parecendo que quasi toda a luz se concentra nas duas riscas lateraes. Este typo de *quadruplet* occorre nas riscas azues (4800) do cadmio e (4722) do zinco em que, segundo as photographias de PRESTON, o desvio entre as componentes centraes não attinge um terço da distancia que separa as riscas lateraes.

C C' é outro typo de *quadruplet* no qual a separação das duas riscas médias é quasi tão grande como a das duas lateraes, de modo que, não usando o prisma birefringente, apparecem as modificações representadas na (fig. 10), pelos numeros 3 e 4, isto é: dois finos *doublets* ou um só *doublet* de componentes largas e pouco nitidas. Esta fórma é apresentada pela risca 4934 do bario, 5172 do magnésio e pela risca D₁ do sodio, em que é muito clara, mostrando-se as componentes tão finas e tão brilhantes que, estudadas directamente, apparecem nitidas e separadas por intervallos obscuros.

O quarto typo DD' e 5, é formado por seis riscas finas e uniformemente separadas, correspondendo cada par a uma das componentes do *triplet*. Observa-se na risca D₂ do sodio.

Em EE' ha duas riscas polarisadas num plano perpendicular ao campo e dois *triplets* formados de riscas cujo plano de polarisação é parallelo ás linhas de força do campo magnetico: é exemplo d'este typo a risca 5850 do bario.

Serão todas estas modificações realmente um effeito do campo magnetico, produzidas exclusivamente por elle? ou antes terão por causa acções secundarias que alterem o *triplet* produzido pelo campo magnetico? Poderiam varias d'estas fórmas ser devidas á inversão parcial causada por absorpção na parte externa da faisca ou outra origem

luminosa empregada. B, por exemplo, derivaria de A por inversão, e o mesmo a respeito de C e de D e D'.

Ora, em primeiro lugar, nota PRESTON (1) que o aspecto d'estas riscas não é o que geralmente apresentam as riscas modificadas pela absorção em vapores que envolvem a origem luminosa. Mas poderia este facto ter uma justificação nas condições especiaes a que ella estava submettida, e, por isso, tratou de invalidar tal explicação de uma maneira mais precisa. Examinou muitas riscas, que apresentam fôrmas diferentes do *triplet* normal, em campos magneticos cuja intensidade crescia gradualmente, e notou que as componentes da parte central, B, C e D, não se conservavam á mesma distancia. Pelo contrario, a distancia entre ellas augmentava, quando crescia a intensidade do campo. A distancia entre as componentes B ou C, como a distancia entre as riscas lateraes B' ou C', é proporcional á intensidade do campo magnetico. O mesmo tem lugar em relação aos typos DD' EE'.

Parece portanto estabelecido, fóra de duvida, que todas estas fôrmas do phenomeno são verdadeiras perturbações magneticas, da mesma natureza que o *triplet* normal, e que podem as vibrações parallelas ao campo, como as perpendiculares, formar um *doublet* muito nitido, que póde mesmo ser formado de riscas mais separadas do que o outro, como vamos ver.

São as fôrmas representadas em FF' e GG', observadas em certas riscas do espectro de ferro e a que BECQUEREL e DESLANDRES chamam riscas de polarisação invertida (2)

Em EE' as vibrações parallelas ao campo formam um *doublet*; as vibrações perpendiculares formam tambem um

(1) *Nature* (de Londres), vol. 59, pag. 226.

(2) *Comptes rendus*, 2.º semestre de 1898, pag. 22.

doublet nitido, menos desviado do que o das vibrações parallelas. Tal é o caso da risca 2411 do ferro.

Em GG' o *doublet* das vibrações parallelas ao campo é nitido, mas as vibrações perpendiculares formam uma banda diffusa; taes são as riscas de ferro

$$\lambda = 3888, \lambda = 3587, \lambda = 2730.$$

Esta fôrma foi tambem estudada por AMES, EARHART e REESE (1).

É digno de nota um caso particular d'este ultimo, observado por BECQUEREL e DESLANDRES nas riscas 3865,67, 3733,44, 2566,99, 2517,25 e 2413,37 de ferro. O *doublet* das vibrações parallelas ao campo é formado de riscas finas e intensas; as vibrações perpendiculares apresentam uma risca média forte, depois, quando a pose é sufficiente, apparecem duas riscas novas, fracas, no prolongamento das duas riscas fortes do *doublet* das vibrações parallelas ao campo. As vibrações perpendiculares constituem, pois, um *triple*t.

Mostram todas estas observações que o phenomeno está longe de apresentar a simplicidade que se suppunha e a unica conclusão geral a tirar é que nas riscas modificadas se distinguem sempre duas partes: a que é formada por vibrações perpendiculares ao campo e que corresponde exactamente ao *doublet* estudado segundo as linhas de força; e uma parte formada por vibrações parallelas ás linhas de força, que coincide muitas vezes com a risca primitiva, mas que pôde tambem ser muito nitidamente modificada. A esta nada corresponde nas observações feitas segundo a direcção das linhas de força do campo magnetico.

Num dos seus ultimos trabalhos (2), PRESTON restringe

(1) *Astro. Phys.* 8, pag. 48, junho de 1898.

(2) *Phil. Mag.* (5), 45, pag. 330.

a sua classificação a tres typos, attendendo á frequencia com que se apresentam: *triplets* diffusos, *quadruplets* e *triplets* puros.

São muito interessantes os trabalhos de MICHELSON (1), porque, além de se servir de instrumentos de grande poder de resolução — o interferometro e o espectroscopio

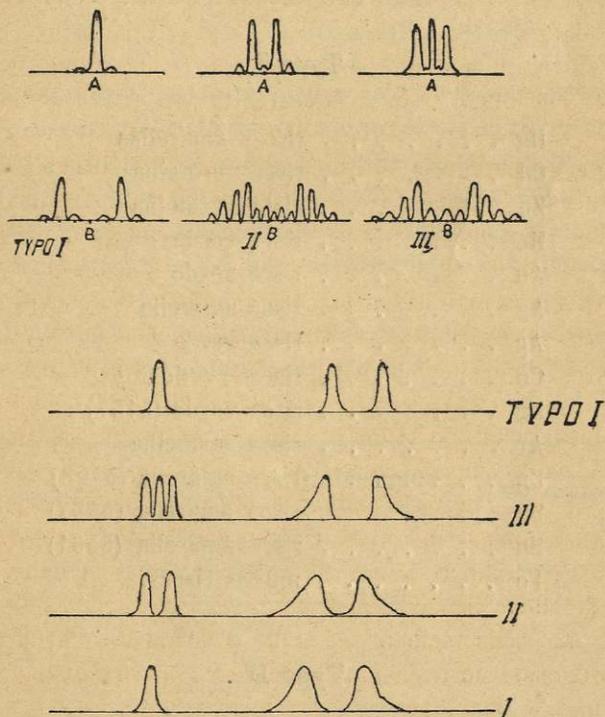


Fig. 1

(1) *Nature* (Londres), vol. 59. pag. 441.

*



de degraus—, se referem a um grande numero de riscas. Classifica os seus resultados em tres typos representados na fig. 11. As curvas superiores foram construidas segundo as observações feitas com o interferometro, e as inferiores segundo as observações feitas por meio do espectroscopio de degraus.

Os typos I e II são fundamentalmente o *triplet* puro e o *quadruplet* da classificação de PRESTON.

Eis uma lista de exemplos de cada um dos tres typos:

Typo I

Hg	riscas amarellas
Cd	risca vermelha
Zn	risca vermelha
He	risca verde
Au	risca verde
Ag	risca amarella
Ag	risca verde
Cu	riscas verdes
Mg	risca verde (5167)
Ar	risca vermelha
Sn	risca amarella (5798)
Sn	risca amarella (5587)
Sn	risca amarella (5564)
Fe	multas riscas.

Typo II

Hg	risca violeta
Cd	risca azul
Zn	risca azul
Na	riscas amarellas

Tl	risca verde
Au	risca amarella
Mg	risca verde (5172)
Sn	risca vermelha (6450).

Typo III

Hg	risca verde
Cd	risca verde
Mg	risca verde (5183).

A estes accrescenta um quarto de typo, a que pertencem as riscas amarellas do cobre e verde (5340) do manganésio, e em que uma risca complexa, ou larga, se simplifica, ou torna mais fina, sob a acção de um campo magnetico.

Nas riscas vermelhas do lithio e hydrogenio e amarella do helio apenas notou um alargamento sob a influencia do campo.

Tentando uma comparação entre os resultados alcançados por varios investigadores, construimos a seguinte tabella.

Riscas	Typo	Intensidade do campo	Observadores
Zn 4810	<i>Triplets</i> diffuso	—	PRESTON
Zn »	Typo II	10000	MICHELSON
Cd 5086	<i>Triplets</i> diffuso	—	PRESTON
Cd »	Typo III	10000	MICHELSON
Cd 4300	<i>Quadruplet</i>	—	PRESTON
Cd »	Typo II	10000	MICHELSON
Na D ₁	Typo II	10000	MICHELSON
Na »	<i>Quadruplet</i>	13000	CORNU
Na D ₂	Typo II	10000	MICHELSON
Na »	<i>Sexteto</i>	13000	CORNU

O resultado d'esta comparação é de pequeno valor pela insufficiencia de dados sobre a origem luminosa e intensidade do campo magnetico.

Devemos, terminando esta exposição, assignalar o facto notavel da insensibilidade dos espectros de bandas á acção do campo magnetico, facto reconhecido por MICHELSON nas riscas que compõem o espectro de bandas do carbono, e por BECQUEREL e DESLANDRES (1) nesse e no do azote. Num campo magnetico muito intenso, não mostram as riscas das bandas nem desdobramento nem alargamento apreciaveis, apesar de, em condições identicas, as riscas do espectro do ar serem, pelo contrario, fortemente divididas.

b) Dissymetria do triplet de Zeeman. — O espectro do ferro é muito rico em riscas. Entre estas, ha algumas que, num campo magnetico, apresentam o *triplet* normal; nota-se então uma symetria perfeita das componentes lateraes em relação á risca média, symetria que subsiste mesmo sob o ponto de vista das intensidades respectivas.

Mas ha outras que produzem *triplets* mais fracos do que os primeiros e cujas componentes lateraes não têm a mesma intensidade, outras apresentam a symetria das distancias entre a risca central e as exteriores e, emfim, encontrou ZEEMAN um pequeno numero de riscas que apresentam dissymetria de intensidades e de distancias.

A ordem de grandeza do phenomeno é excessivamente pequena. As riscas estudadas por ZEEMAN e que apresentam as asymetrias indicadas são: 3490; 3687,60; 3909,40; 3735; 3763,91; 3878,71.

Este estudo foi emprehendido com o fim de verificar

(1) C. R., 2.º semestre de 1898, pag. 20.

umas previsões theoricas de W. VOIGT, segundo as quaes a componente do lado do vermelho deve ter maior intensidade do que a componente do lado do violeta, a qual deve ser a mais afastada da risca média do *triplet*. Esta dissymetria, preponderante num campo fraco, deveria desaparecer num campo intenso.

Posteriormente ás investigações referidas, verificou ZEE-MAN que, no caso do *triplet* e do *quadruplet* 4678 e 4800 do cadmio e no caso do *triplet* e do *quadruplet* 4680 e 4722 do zinco, é manifesta a asymetria das intensidades, tal como fôra prevista por VOIGT. As componentes exteriores do lado do vermelho são mais intensas do que as do lado do violeta.

3. Medidas quantitativas das mudanças de comprimento de onda e da relação $\frac{e}{m}$ e classificação baseada nestas medidas. — As varias fórmulas de perturbações que acabámos de assignalar mostram que a influencia de um campo magnetico põe em evidencia diferenças até aqui desconhecidas entre as riscas de um mesmo espectro, e revela assim um novo conjuncto de factos que interessam á physica, á chymica e mesmo á astronomia. Este phenomeno póde, em particular, fornecer distincções importantes entre as riscas de um mesmo corpo, ou de corpos diferentes, e patentear grupos naturaes de riscas até aqui procurados em vão num certo numero de espectros.

Já nos referimos á insensibilidade que, sob a influencia de campos magneticos intensos, apresentam as riscas em que se decompõem os espectros de bandas do carbono e azote.

Num mesmo corpo, as alterações magneticas não são as mesmas para as diversas riscas, mesmo quando se trata de riscas muito vizinhas. É desnecessario insistir neste ponto; o exame dos exemplos apresentados na pag. 52

torna-o bem claro. Apontaremos, comtudo, alguns casos interessantes.

Assim o grupo *b* do magnésio é formado pelas tres riscas verdes b_1 (5183), b_2 (5172), b_4 (5167); observando normalmente ao campo, separa-se a primeira num *quadruplet* diffuso, a segunda divide-se nitidamente em quatro e a terceira fórma o *triplet* normal, isto é, pertencem respectivamente aos typos III, II e I, de MICHELSON. A mais nitida e fina é b_4 .

As riscas D_1 e D_2 do sodio tambem apresentam diferenças características. A mais fina e tambem a menos refrangível — D_1 — apresenta um *quadruplet* ou o typo II de MICHELSON; D_2 — transforma-se em tres *doublets* por divisão pouco accentuada das riscas do *triplet*. D'estas duas riscas é D_1 a que apresenta menos facilidade de inversão expontanea, e, assim, somos levados por diversos caminhos a admittir diferenças características entre as riscas de um mesmo espectro.

Os resultados têm já um grande interesse, se, em logar de compararmos as fórmas das modificações produzidas, passarmos a fazer um estudo comparado da grandeza da acção magnetica.

Segundo a theoria elemental, vista em direcção normal ás linhas de força, cada risca espectral, transformar-se-hia num *triplet*, de maneira que, para todas as riscas de uma substancia dada, fosse constante a relação $\frac{d\lambda}{\lambda^2}$, entre a differença de comprimento de onda das duas componentes exteriores do *triplet* e o quadrado do comprimento de onda da risca primitiva.

Por outras palavras, devia $d\lambda$ ser inversamente proporcional ao quadrado do comprimento de onda da risca considerada.

Examinado experimentalmente este ponto, em breve se reconheceu que aquella lei nem mesmo tinha o valor de uma ap-

proximação; porque, emquanto que algumas riscas mostram uma separação consideravel no campo magnetico, outras de quasi o mesmo comprimento de onda, são muito pouco influenciadas por elle.

Tem este facto muita importancia theorica, visto que mostra não ser o mechanismo, que produz as riscas espectraes de qualquer substancia, dotado da simplicidade postulada na theoria elementar d'este phenomeno.

Do grande numero de trabalhos feitos com o fim de verificar esta theoria e outras ideias theoricas dos seus auctores, podemos tirar as conclusões seguintes:

Medida a acção magnetica por meio das mudanças do comprimento de onda das riscas espectraes, 1.º, não se apresenta como uma função simples do comprimento de onda; 2.º, não é constante para todos os comprimentos de onda; 3.º, não é constante para todas as riscas de uma substancia dada; 4.º, não é uma função simples do comprimento de onda para todas as riscas de uma substancia determinada.

As investigações feitas noutra direcção têm levado a resultados valiosos.

Examinando as riscas espectraes de uma substancia, nota-se que umas são nitidas emquanto que outras são nebulosas ou diffusas, e que umas são longas e outras curtas, ou, de um modo geral, que as riscas apresentam diferenças caracteristicas difficilmente explicaveis, admitindo que sejam devidas ao movimento de um unico ião.

Tratando da constituição dos espectros de riscas, referimo-nos ás *series* de KAYSER e RUNGE. Assim, as riscas que formam o espectro de um corpo dispõem se em grupos dotados de caracteres semelhantes. Designando as riscas d'estes grupos por $A_1 B_1 C_1 \dots A_2 B_2 C_2 \dots, A_3 B_3 C_3 \dots$, podemos considerar os grupos successivos como repetição

do primeiro e chamar *serie* á successão das riscas $A_1 A_2 A_3 \dots, B_1 B_2 B_3 \dots C_1 C_2 C_3 \dots$

As riscas $A_1, A_2, A_3 \dots$ dão o mesmo valor para a relação $\frac{d\lambda}{\lambda_2}$, ou $\frac{e}{m}$, de que aquella differe por um factor constante para um campo magnetico dado, facto que, na linguagem da theoria elementar, se exprimiria dizendo que aquellas riscas possuem uma origem commum ou são produzidas pelo mesmo ião.

As outras riscas $B_1 B_2 B_3 \dots$ têm outros valores communs para $\frac{e}{m}$ e assim para as outras series.

Consideremos, por exemplo, o espectro de zinco. As riscas brilhantes que o formam dispõem-se naturalmente em *triplets*.

Designando estes grupos, na ordem ascendente de refrangibilidade por $A_1 B_1 C_1, A_2 B_2 C_2$, etc., as riscas $A_1, A_2, A_3 \dots$ mostram a mesma fôrma do effeito magnetico e têm o mesmo valor de $\frac{e}{m}$. Da mesma maneira, as riscas B_1, B_2, B_3 etc., formam outra serie caracterisada pela relação constante $\frac{e}{m}$, e semelhantemente se caracteriza a successão das riscas $C_1, C_2, C_3 \dots$

O valor de $\frac{e}{m}$ para a serie A é differente dos valores da mesma relação para as series B e C.

O espectro do cadmio é homologico do do zinco e, além d'isso, *as riscas correspondentes dos dois espectros são semelhantemente influenciadas pelo campo magnetico*. Não só o character do effeito magnetico é o mesmo para as riscas correspondentes, mas tambem o valor da relação $\frac{e}{m}$ é o mesmo para as series correspondentes de riscas, nos dois espectros.

É isto representado na tabella seguinte (1):

Efeito magnetico	Triplets complexos	Sextetos	Triplets
Cadmio..... $\lambda =$	5086	4800	4678
Zinco..... $\lambda =$	4811	4722	4680
—	—	—	—
Valor de $\frac{e}{m} =$	55	87	100

Reproduzimos do trabalho de J. SHEDD (2) a tabella seguinte, que mostra, mais completamente do que a anterior, a relação entre o valor de $\frac{e}{m}$ e a fôrma da modificação magnetica, referindo nos aos typos de MICHELSON.

Substancia	Risca	$\frac{e}{m}$	Typo de Michelson
Na	Amarella	$22,45 \times 10^6$	Typo II
Hg	Violeta	$23,81 \times \text{»}$	
Cd	Azul	$22,41 \times \text{»}$	
Zn	Azul	$23,46 \times \text{»}$	
Hg	Verde	$18,59 \times \text{»}$	Typo III
Cd	Verde	$17,48 \times \text{»}$	
Hg	Amarella	$14,35 \times \text{»}$	Typo I
Cd	Vermelha	$11,93 \times \text{»}$	

O valor $\frac{e}{m}$ é calculado por meio da formula

$$\frac{e}{m} = \frac{\lambda - \lambda'}{\lambda^2} \cdot \frac{2 \pi v}{H}$$

(1) PRESTON — *Nature*, 22 de junho de 1899, pag. 179.

(2) *Physical Review*, vol. ix, pag. 109.

O valor numerico, expresso em unidades electro-magneticas, calcula-se por meio dos valores $\lambda - \lambda'$ e H.

Entrando em especulações theoricas, somos levados a suspeitar de que, não só o atomo é formado pela associação de iões diferentes, mas que os atomos das substancias que pertencem ao mesmo grupo chymico serão talvez compostos por iões para os quaes o valor de $\frac{e}{m}$ é o mesmo.

O estudo das mudanças de comprimento de onda e dos valores de $\frac{e}{m}$ leva ás seguintes conclusões (1):

1) É de pouco valor uma classificação das riscas espectraes sómente baseada nas mudanças de comprimento de onda.

2) Tem significação uma classificação baseada nos valores de $\frac{e}{m}$. Esta agrupa as riscas segundo o typo da modificação produzida, dado pela analyse das curvas de visibilidade.

Quanto menor é o valor de $\frac{e}{m}$, menor é tambem a separação das riscas componentes e mais simples a sua estructura; reciprocamente, quanto maior o valor de $\frac{e}{m}$, maior é a separação e mais complexa a estrutura.

3) A acção magnetica é proporcional á intensidade do campo, sendo, comtudo, limitada pela pressão e temperatura; e parece possivel uma classificação segundo a classificação chymica de MENDELEJEFF e de KAYSER e RUNGE.

(1) JOHN SCHEDD — *The Physical Review*, vol. IX, pag. 411.