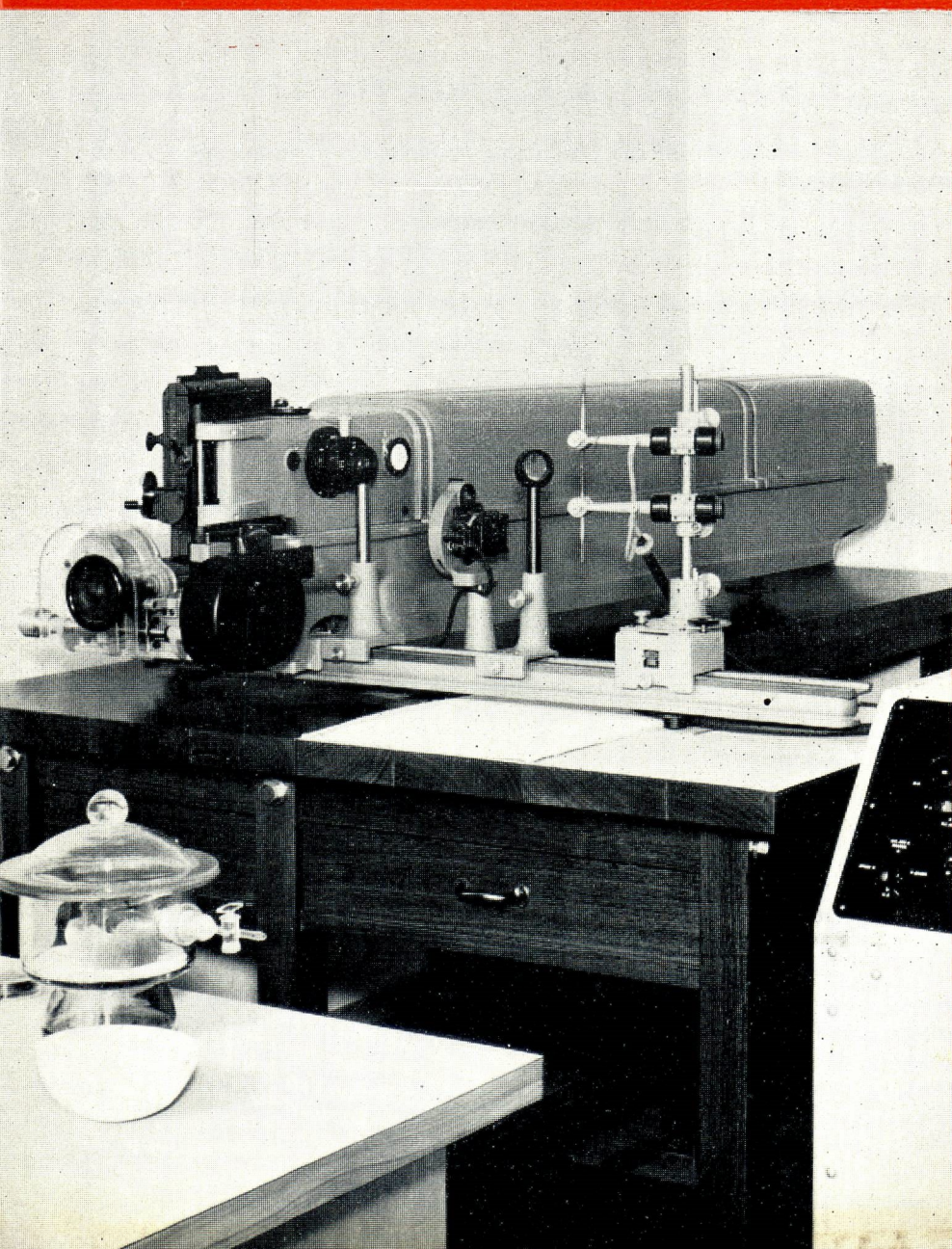


GAZETA DE FISICA

REVISTA DOS ESTUDANTES DE FÍSICA
E DOS FÍSICOS E TÉCNICO-FÍSICOS PORTUGUESES

VOL. IV, FASC. 2
OUTUBRO 1962



Espectrógrafo *Hilger* de grande dispersão instalado, em Lisboa, no Laboratório de Técnicas Físico-Químicas Aplicadas à Mineralogia e Petrologia, da J. I. Ultramar

(Ver pág. 33)

VOL. IV

FASC. 2

OUTUBRO — 1962

GAZETA DE FÍSICA

PUBLICAÇÃO DESTINADA AOS ESTUDANTES DE FÍSICA
E AOS FÍSICOS E TÉCNICO-FÍSICOS POR-
TUGUESES • VOLUMES PUBLICADOS:
VOL. I — 1946 A 1948 — IX FASCÍCULOS — 288 PÁGINAS
VOL. II — 1948 A 1953 — X FASCÍCULOS — 280 PÁGINAS
VOL. III — 1953 A 1960 — IX FASCÍCULOS — 276 PÁGINAS

S U M Á R I O

| | |
|--|----|
| O Centenário da Análise Espectral — Os trabalhos de Bunsen e Kirchhoff e as discussões acerca da prioridade dessa descoberta, <i>por R. A. David Gomes</i> | 33 |
| Novo sistema de unidades físicas — O Sistema Internacional (S.I.), <i>tradução, coordenação e notas marginais de Rómulo de Carvalho</i> | 45 |
| Progressos recentes em Física Corpuscular, <i>por Max Hoyaux e Paul Gans</i> | 54 |
| Pontos de exame. | 62 |
| Noticiário | 64 |

— A matéria de cada artigo é tratada sob a inteira responsabilidade do autor —

COMISSÃO DE REDACÇÃO: — Rómulo de Carvalho — Lídia Salgueiro
— José V. Gomes Ferreira — Maria Helena Sampaio Carepa
— F. Bragança Gil — J. Sousa Lopes — Maria Teresa Gonçalves

★

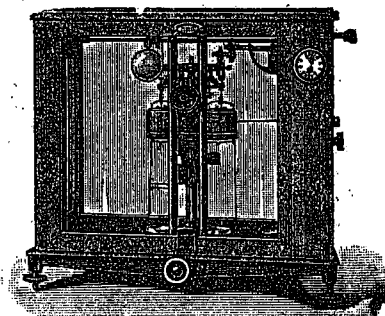
PROPRIEDADE E EDIÇÃO: GAZETA DE MATEMÁTICA, LDA. * CORRESPONDÊNCIA: GAZETA DE FÍSICA — LABORATÓRIO DE FÍSICA DA FACULDADE DE CIÊNCIAS DE LISBOA — RUA DA ESCOLA POLITÉCNICA — LISBOA * NÚMERO AVULSO: ESC. 15\$00 * ASSINATURA DE 4 NÚMEROS: PORTUGAL, ESC. 50\$00; ESTRANGEIRO, ESC. 70\$00 * DISTRIBUIÇÃO PARA AS LIVRARIAS: RUA DAS CHIAGAS, 17-1.º, D, TELEFONE 366917, LISBOA

PIMENTEL & CASQUILHO, L.^{DA}

INSTRUMENTOS DE PRECISÃO

BALANÇAS DE PRECISÃO E ANALÍTICAS,
CAIXAS DE PESOS, LUPAS, TERMÓMETROS,
DENSÍMETROS, CONTA-SEGUNDOS

MATERIAL DE VIDRO,
PORCELANA E QUARTZO



RUA DO JARDIM DO REGEDOR, 24-2.º

LISBOA

TELEF.: 324314 • TELEG.: TECNA

TELEF. 77 66 82

Correia & Polónia, L.^{da}

- PAPELARIA
- TIPOGRAFIA
- ENCADERNAÇÃO
- E ARTIGOS DE ESCRITÓRIO

Rua Conde Sabugosa, 7-A (à Av. Roma)
LISBOA



GENTRO FORNECEDOR DE MÓVEIS

FABRICANTES

MÓVEIS E DECORAÇÕES

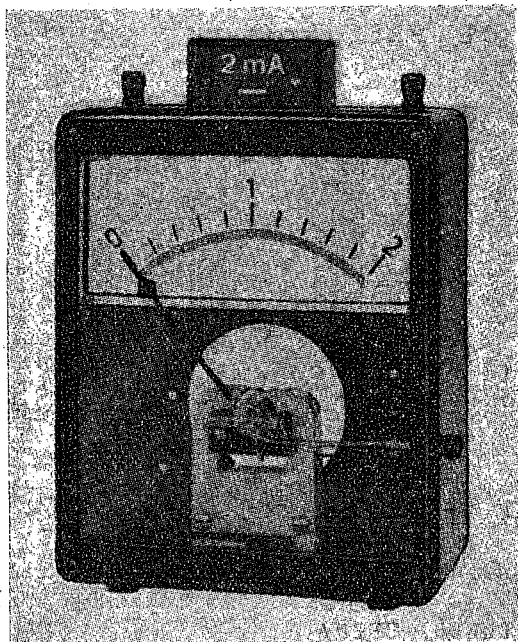
▲
Especializados em mobiliário
comercial

▲
Estudos e orçamentos em mobiliário
de qualquer estilo

Rua da Madalena, 112-1.º
Telef. 869281 - LISBOA

MATERIAL DIDÁCTICO

de Física,
Química
e Biologia



Galvanómetro



PHYWE

PHYWE AG.
Goettingen — Alemanha Ocd.



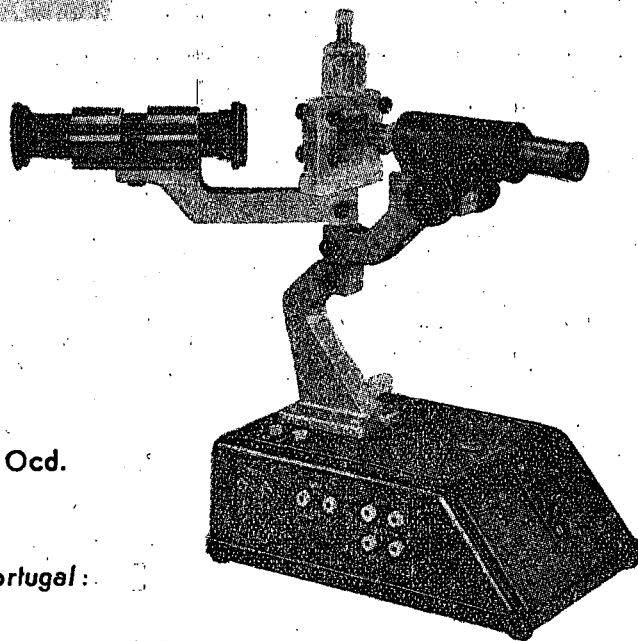
Representante exclusivo para Portugal:

LUSOMAX

Sociedade de Importação e Exportação, Lda.

RUA DOS CORREIROS, 123-3.º-DT.º

TELEF. PPC 30607 * LISBOA 2



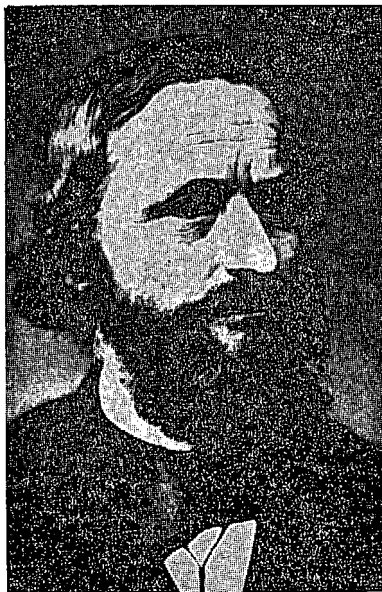
Aparelho de Millikan

O Centenário da Análise Espectral

Os trabalhos de Bunsen e Kirchhoff e as discussões
acerca da prioridade dessa descoberta

por R. A. DAVID GOMES

(Investigador da Junta de Investigações do Ultramar)



GUSTAV ROBERT KIRCHHOFF
(1824-1887)



WILHELM BUNSEN
(1811-1899)

Os criadores da Análise Espectral

«A ciência é construída com factos da mesma maneira que uma casa o é com pedras. Mas do mesmo modo que um monte de pedras não é uma casa, uma colecção de factos não chega a ser ciência».

POINCARÉ

«All this new growth of science has its roots in the past. If we see farther

than our predecessors it is because we stand on their shoulders — and it is not surprising if they receive a few kicks as we scramble up. A new generation is climbing on to the shoulders of the generation to which I belong; and so it will go on. Each phase of the scientific advance has contributed something that is preserved in the succeeding phase. That, indeed, is our ground for hope

that the coming generation will find something worth preserving — something that is not wholly illusory — in the scientific thought of the Universe as it stands to-day».

Sir ARTHUR EDDINGTON,
New Pathways in Science

Embora de significado mais lato, as palavras de Poincaré e Eddington acima transcritas merecem bem serem postas em destaque ao recordar-se a descoberta da análise espectral e as discussões que tiveram lugar a propósito da prioridade de tal descoberta.

Não nos sentimos competentes para pesar, com justiça, toda a argumentação dos que contestaram os méritos de Bunsen e Kirchhoff mas, felizmente, uma tarefa de tal responsabilidade foi já levada a cabo e por quem estava em posição de bem apreciar as opiniões contraditórias.

Limitamo-nos, por isso, a transcrever e a agrupar alguns testemunhos que nos pareceram responsáveis e a oferecê-los nessa forma como modesta homenagem a dois grandes nomes da ciência do século XIX: o físico Gustav Robert Kirchhoff e o químico Wilhelm Bunsen.

Para uma justa apreciação dos méritos de Bunsen e Kirchhoff parece-nos indispensável ter presente a importância da descoberta da análise espectral para o subsequente desenvolvimento das ciências físicas. Vejamos pois o que, a propósito, diz Max Born na sua *Optica* (1). Ao mesmo tempo, melhor se compreenderá o interesse de tantos cientistas em figurarem na história como os verdadeiros autores daquela descoberta.

«A teoria electromagnética conseguiu explicar, na sua essência, todos os fenómenos respeitantes à propagação da luz. Em contrapartida não explicava os processos de emissão e de absorção da luz, nos quais se deve considerar a interacção entre matéria e energia.

As leis destes processos são objecto da óptica moderna, e mesmo de toda a Física actual. O seu ponto de partida foi o estudo dos espectros: o primeiro passo foi devido a Fraunhofer (1787-1826) que observou linhas «escuras» no espectro do Sol, as quais devido às observações de Bunsen (1811-1899) e Kirchhoff (1824-1887), foram interpretadas como linhas de absorção.

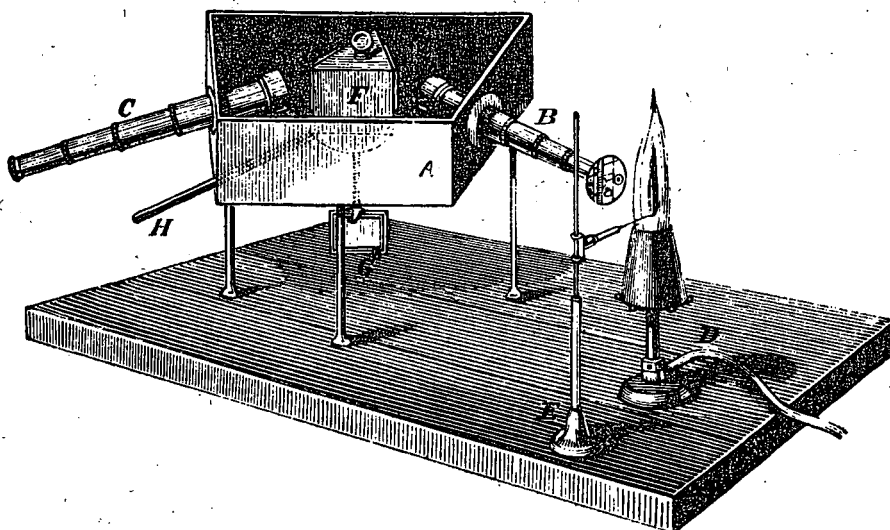
Esta descoberta foi ao mesmo tempo a origem da análise espectral, que se baseia no conhecimento de que a cada elemento químico gasoso corresponde um espectro de linhas característico. A investigação destes espectros constituiu até aos nossos dias um objecto fundamental de estudo e o facto de utilizar métodos ópticos faz com que se considere como fazendo parte da teoria da luz. No entanto, o estudo da maneira como a luz é produzida nos átomos ou de como é destruída, não pertence ao domínio da óptica pura, mas diz respeito à mecânica do átomo; as leis sobre as linhas espectrais revelam mais as particularidades das partículas emisoras do que as da própria luz.

A espectroscopia tem-se por isso desenvolvido cada vez mais num campo especial, que fornece as bases empíricas para a Física Atómica e Molecular.»

Definida a posição da análise espectral no domínio da Física, e posto em relevo o papel por ela desempenhado no desenvolvimento da Física Atómica e Molecular, não nos deverá escapar outro aspecto importante dos trabalhos de Bunsen e Kirchhoff: a síntese que representam de experiências anteriores, acumuladas durante anos e anos com aspectos por vezes contraditórios e, mesmo, desconexos. Estas experiências necessitavam ainda de serem relacionadas de maneira inteligente e funcional para que o «monte de pedras» referido por Poincaré pudesse transformar-se num sólido edifício científico. Para isto nos chama a atenção Oswald Schiek (2) nas palavras iniciais do texto que a seguir transcrevemos em parte:

«O desenvolvimento da Ciência Natural caracteriza-se essencialmente por o conhecimento obtido a partir da experiência se transformar em facto reconhecido mediante a descoberta de um princípio ou de uma lei. Torna-se então possível, não só ordenar logicamente os factores já conhecidos como, ao mesmo tempo, se cria a possibilidade de desenvolver organizadamente a investigação a partir do novo ponto de vista. Neste sentido, devem ser mencionadas as descobertas de Kepler cuja teoria permitiu «confirmar» como certas as rigorosas observações de

«Em 1704, Isaac Newton notou que a luz do sol, que penetrava num quarto obscurecido através de um pequeno orifício, se fraccionava ao incidir num prisma. Daí em diante passou a dar-se a designação de «espectro» à «banda colorida» que daquele modo se formava sobre um cartão branco. Posteriores investigações de W. Herschel, realizadas por volta do ano de 1800, mostraram que o aquecimento do suporte na região vermelha do espectro, que pode ser evidenciado com o auxílio de um termómetro, se manifesta mesmo além da zona visual-



Espectroscópio utilizado por BUNSEN.

Tycho de Brahe. Na mesma linha, devem citar-se as não menos importantes descobertas de Max Planck que ordenaram assuntos passados, explicaram a distribuição da energia da radiação do corpo negro e tiveram uma estimulante e positiva influência no futuro da moderna física atômica.»

«Semelhantermente, embora o nível histórico não seja exactamente idêntico, temos as descobertas do físico Gustav Robert Kirchhoff e do químico Wilhelm Bunsen, que permitiram remontar às suas origens um grande número de observações e determinações dos 150 anos anteriores».

mente perceptível; descobriu-se assim o «espectro do calor» (infravermelho). Pouco mais tarde, J. W. Ritter conseguiu detectar o «espectro químico» (ultravioleta) ao observar a transformação química sofrida pelo cloreto de prata quando colocado na região adjacente ao extremo violeta do espectro. O refinamento dos dispositivos de observação permitiu a Fraunhofer descobrir, em 1814, as «riscas espectrais»: observando, com um teodolito, a luz que, recebida por uma fenda estreita, passa através de um prisma de vidro, mostrou que no espectro solar, até então considerado contínuo,

existia na realidade um grande número de riscas escuras. Anos mais tarde, em 1822, Fraunhofer substituiu por uma rede de difracção o prisma utilizado na decomposição espectral; assim, ao dispositivo básico constituído pelo espectrómetro de prisma veio juntar-se o espectrómetro de rede. Nos anos seguintes muitos espectros, produzidos com as fontes de excitação nessa altura disponíveis — chama, arco e fâsca — foram observados, mas sem que se apreciasse devidamente a importância desses espectros. A virtude dos trabalhos de Kirchhoff e Bunsen foi a transformação do conhecimento da existência dos espectros, conhecimento esse adquirido apenas pela experiência, na base científica do desenvolvimento que depois teve a análise espectral.

«Nos relatórios mensais, de há cem anos, da Real Academia Prussiana de Ciências, de Berlim, lê-se: Hr. du Bois-Reymond apresentou «um relato do Prof. Kirchhoff a respeito das riscas de Fraunhofer. Heidelberg, 20 de Outubro, 1859». Diz-se nesse relatório: «No decorrer da experiência realizada por Bunsen e por mim, e ainda não publicada, a respeito dos espectros das chamas coradas, foi-nos possível reconhecer a composição qualitativa de complicadas misturas pela observação dos espectros das suas chamas; daí tirámos conclusões que deram inesperadas explicações acerca da origem das riscas de Fraunhofer e justificam a suposição referente à composição da atmosfera do sol e também, possivelmente, das estrelas fixas brilhantes.»

«Descrevendo as experiências que levou a cabo juntamente com Bunsen, Kirchhoff dá em seguida uma prova importante de que as riscas D de Fraunhofer coincidem no espectro solar com duas riscas observadas no espectro de uma chama a que se tivesse juntado cloreto de sódio. Investigações posteriores permitem-lhe, então, concluir «que as chamas coradas, cujos espectros apresentam riscas brilhantes e bem definidas, ao serem atravessadas por raios das cores dessas riscas, reduzem bastante a intensidade dessa cor; assim,

se uma fonte luminosa suficientemente intensa for colocada atrás de uma chama fraca, o espectro dessa fonte apresentará riscas escuras no lugar onde antes se observavam riscas brilhantes. Concluo ainda que as riscas escuras do espectro solar, que não sejam causadas pela atmosfera terrestre, serão devidas à existência, na atmosfera incandescente do Sol, daquelas substâncias cujos espectros de chama apresentam riscas brilhantes nessas mesmas posições. Sendo lícito supor-se que as riscas brilhantes do espectro de chama coincidentes com as Riscas D são sempre originadas pelo sódio, então, da presença de Riscas D escuras no espectro solar, poderá concluir-se, que o sódio existe na atmosfera solar.» Realizou-se assim a primeira análise espectral qualitativa: a identificação de um elemento a partir do seu espectro. Noutro relatório, do mesmo ano, Kirchhoff apresenta o fundamento teórico do aparecimento das riscas de Fraunhofer sob a forma de uma lei «sobre a correlação entre a emissão e a absorção da luz e do calor». Observações posteriores, que também proporcionaram a descoberta de novos elementos químicos, possibilitaram a Bunsen e Kirchhoff fazer a seguinte declaração num trabalho acerca da «Análise química por meio de observações espectrais» (Ann. d. Phys. u. Chem. 1860, CX, pp. 161-189): «A Química não está em condições de apresentar qualquer reacção que, mesmo remotamente, possa ser comparada à análise espectral que permite assinalar à vista até 3.10^{-7} mg Na... As posições das riscas espectrais no espectro pressupõem uma propriedade química que é tão invariável e fundamental como o peso atómico das substâncias e podem portanto ser determinadas com um rigor quase astronómico. O método espectroanalítico adquire ainda uma importância especial pelo facto de estender, quase infinitamente, os limites que até agora restringiam as características químicas da matéria.»

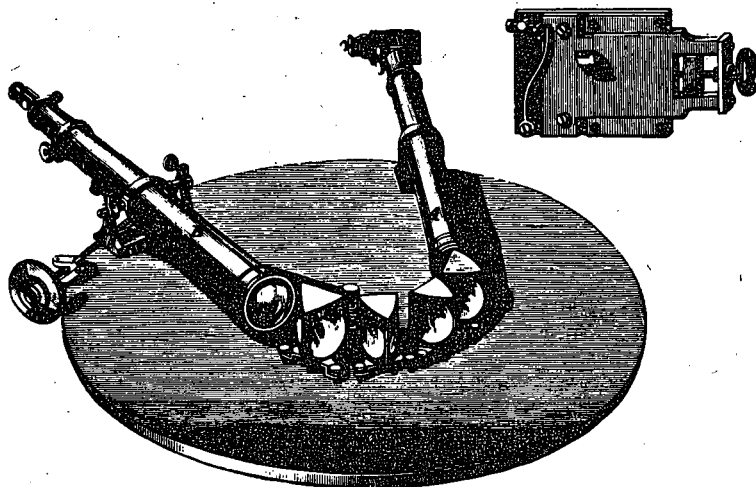
Conforme vimos, a história da análise espectral pode ser recuada até às experiên-

cias de Newton sobre a dispersão da luz. Desde então, numerosos foram os investigadores que se ocuparam do estudo dos espectros e, a pouco e pouco, acumularam as experiências e conhecimentos cuja síntese seria mais tarde feita. Assim aumentaram os nossos conhecimentos da natureza dos espectros e foram aperfeiçoados os instrumentos requeridos para o seu estudo. Cada etapa vencida correspondeu ainda à criação de novas possibilidades de progresso e vale bem a pena ter presentes os degraus da escada que conduziu à cúpula constituída pelos tra-

meiro cálculo de comprimentos de onda (Young)

1802: Primeira observação de riscas escuras no espectro solar (Wollaston)

1817: O trabalho de Fraunhofer: construção do primeiro espectroscópio e sua utilização na primeira observação das riscas de emissão dos metais (duplete amarelo do sódio); primeira medição das riscas do espectro solar e primeiras observações do espectro de uma estrela; medida dos índices de refração de



Espectroscópio utilizado por KIRCHHOFF.

balhos de Bunsen e Kirchhoff. Vejamos pois as datas e nomes considerados mais importantes por alguém, como F. Twyman (3), intimamente ligado ao desenvolvimento mais recente da análise espectral:

1672: Descoberta da dispersão da luz (Newton)

1800: Descoberta do espectro infravermelho (William Herschel)

1801: Descoberta do espectro ultravioleta (Ritter)

1802: Explicação da formação dos espectros pelas redes de difracção e pri-

vários vidros para as principais riscas do espectro solar; primeira observação do espectro de uma fiação eléctrica.

1823: Progresso na técnica de produzir a risca amarela (Herschel)

1826: Observação das riscas do sódio, potássio e estrôncio (Talbot)

1832: As riscas de Fraunhofer explicadas pela absorção (Brewster)

1834: Os espectros do lítio e do estrôncio (Talbot)

1835: A natureza do espectro contínuo (Talbot)

- 1835: Diagramas dos espectros de fásca do sódio, mercúrio, zinco, cádmio, bismuto, estanho e chumbo (Wheats-tone)
- 1836: Os espectros da prata, ouro e cobre (Talbot)
- 1840: Pesquisa de riscas espectrais no ultravioleta (J. F. W. Herschel)
- 1840: Fotografia de espectros de absorção (J. F. W. Herschel)
- 1842: Primeiras fotografias de um espectro (espectro solar) (Becquerel e Draper, independentemente)
- 1845: Fotografias de espectros obtidos com redes de difracção (Draper)
- 1852: Diagramas do espectro ultravioleta do Sol obtido com prismas de vidro e a partir de observações visuais (Stokes)
- 1852: Antecipação parcial do estabelecimento da análise espectroquímica em bases firmes por Kirchhoff (Stokes)
- 1855: Observação visual do espectro ultravioleta do Sol com um espectroscópio de quartzo (Helmholtz)
- 1856: Introdução, no espectroscópio, de uma lente colimadora para a determinação do índice de refracção e do poder dispersivo de vários meios (Meyerstein)
- 1856: Um espectrógrafo de quartzo com dois prismas (Crookes)
- 1856: Medições de comprimentos de onda no espectro ultravioleta (Esselbach)
- 1858: Espectros de fásca de sais, obtidos com eléctrodos metálicos (Willigen)
- 1860: Fotografia das riscas do espectro ultravioleta do Sol (Müller)
- 1859
e
- 1860: Explicação da inversão das riscas espectrais, e estabelecimento da análise espectroquímica em bases firmes (Kirchhoff; Kirchhoff e Bunsen)
- 1873
e
- 1874: Observação das riscas «compridas»

e «curtas», e primeira análise espectroquímica quantitativa (Lockyer; Lockyer e Robert)

1931: Ressurgimento da análise espectroquímica (Twyman e Smith)

Estas datas mostram bem em que medida os trabalhos de Bunsen e Kirchhoff beneficiaram dos esforços anteriormente feitos para a compreensão da origem e significado dos espectros e, entre os nomes citados, o de Fraunhofer merece uma referência muito especial. Contudo, o conjunto de tais esforços não chegou a dar a explicação desejada nem poderia servir de base a um verdadeiro método analítico antes das rigorosas experiências de Kirchhoff e Bunsen e das conclusões que estes souberam tirar dos resultados obtidos. Só depois da sua publicação é que alguns cientistas se deram devida conta do que poderiam ter feito ou comunicado e, se lêssemos apenas as suas reivindicações de prioridade, poderíamos até correr o risco de nos deixarmos convencer pelos seus argumentos.

Hoje, porém, estando nós mais livres de preferências, ou antipatias, em relação às pessoas em causa, podemos certamente beneficiar de uma perspectiva melhor que a dos contemporâneos de tais disputas. O actual reconhecimento dos méritos de Bunsen e Kirchhoff pode, assim, ser ilustrado com as palavras escritas por E. K. Weise (4) ao tratar da história da espectroscopia numa enciclopédia editada em 1960:

«Nos anos seguintes à primeira publicação de Kirchhoff e Bunsen iniciou-se uma violenta discussão quanto à prioridade das suas descobertas. Actualmente parece haver completo acordo entre os historiadores em que as reclamações de prioridade feitas por ou em nome de homens como Ångström, Thomson, Stokes, Stieren, Alter, Talbot, Steward e outros, não são justificáveis. Tem de admitir-se que muitos desses primeiros investigadores se aproximaram bastante dos fundamentos da espectroscopia mas não

descobriram os tijolos que ainda deviam ser postos em ordem para que fosse possível erguer o altivo edificio da análise espectral. Nem um só deles reconheceu a relação fundamental entre a emissão e a absorção que levaria ao sucesso alcançado por Kirchhoff e Bunsen.» ... «Se o leitor estiver interessado em pormenores destas discussões deverá consultar as páginas escritas por Kayser sobre este assunto no seu Manual.»

Sigamos pois o conselho dado por Weise e vejamos o que a propósito diz Kayser (5)

Kirchhoff não tinha descoberto nada de essencialmente novo, que eles próprios, ou outros, teriam sabido e dito o mesmo havia já muito tempo; os outros — o seu número é porém muito reduzido — diziam serem falsas, precipitadas, ou imperfeitas, as conclusões de Kirchhoff. Quem se propõe escrever uma história da Análise Espectral, tem o desagradavel dever de relatar também estes ataques a Kirchhoff, o que se fará, no que se segue, *sine ira et studio.*»

Mesmo no tempo de Kirchhoff, embora

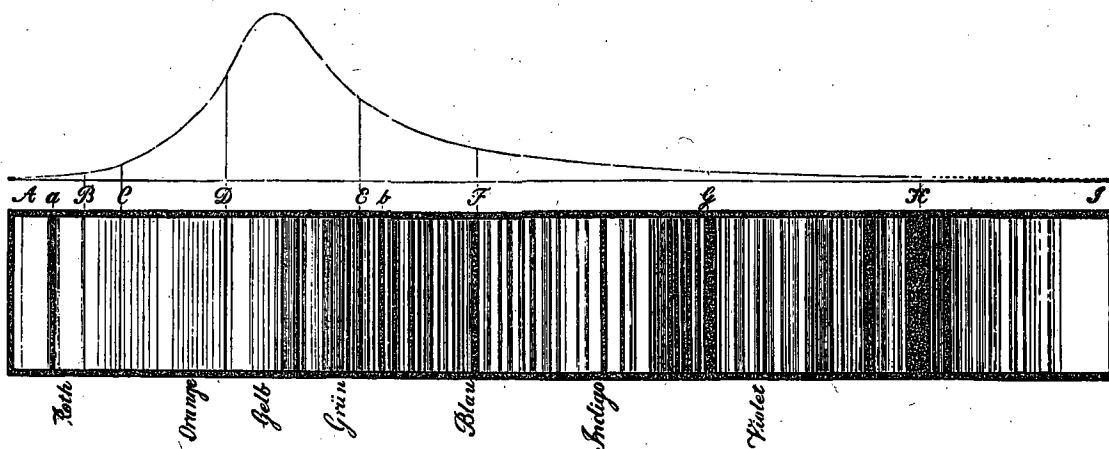


Diagrama das riscas escuras do espectro solar; FRAUNHOFER (1814-15).

na obra mais extensa e completa até hoje publicada sobre a espectroscopia.

«A imensa importância e a fertilidade do novo meio auxiliar oferecido à ciência por Kirchhoff e Bunsen com a Análise Espectral eram tão óbvias, e os seus trabalhos tinham sido executados de forma tão segura e irrepreensível, que causaram em todo o mundo a maior sensação, não só entre os sábios directamente interessados — físicos, químicos e astrónomos — como entre todas as pessoas cultas. Mas, enquanto por um lado se exprimia admiração pelos descobridores da Análise Espectral, não faltavam, também, os ataques que lhes eram dirigidos segundo duas direcções: uns afirmavam que

se atribuisse o devido peso aos estudos de outros investigadores, não se deixava de reconhecer a importância fundamental e a prioridade dos trabalhos realizados por ele e por Bunsen. Assim, Roscoe (6), em 1868, diz:

«As experiências que acabei de relatar, e os resultados delas deduzidos, foram principalmente levadas a cabo por um químico e um físico alemães cujas importantes descobertas tornaram os nomes de Bunsen e Kirchhoff celebrados no mundo científico.»

«Apesar destes filósofos serem os verdadeiros descobridores deste método, por o terem realizado com o devido rigor científico e estabelecido os fundamentos em que ele hoje se apoia, não devemos supor

que o caminho que conduziu a essa descoberta estivesse inteiramente por percorrer. Nenhuma grande descoberta é feita de uma só vez: encontram-se sempre os degraus que levaram até essa posição, e é um dever tomar conhecimento do que previamente tenha sido feito e dar o devido crédito aos observadores mais antigos.»

Veremos mais adiante que, se Kirchhoff reconhecia o interesse e importância de alguns trabalhos anteriores, não deixava de sentir igualmente as limitações que neles encontrava. Vem a propósito citar mais um extracto do Manual de Kayser que se refere, precisamente, à atitude de Kirchhoff perante os ataques que lhe eram dirigidos:

«Kirchhoff responde a uma parte dessas acusações passando porém em silêncio, e com todo o direito, os ataques feitos à justiça das suas observações e conclusões. Discute os trabalhos de Herschel, Talbot, Miller, Ångström, não lhe sendo difícil demonstrar em todos eles as contradições, ou inexatidões, que também pus em evidência ao mencionar esses trabalhos e que, precisamente, apesar das numerosas investigações, dificultaram até a Kirchhoff e Bunsen a descoberta da Análise Espectral e a sua difusão.»

Para bem compreendermos estas palavras de Kayser e ficarmos com uma ideia do rigor com que Kirchhoff expunha as suas opiniões, o que certamente traduzia uma atitude semelhante na execução do seu trabalho experimental, apresentamos em Apêndice uma tradução das «Contribuições para a História da Análise Espectral» de Kirchhoff.

Para terminar, e como homenagem a todos os que contribuíram para o estabelecimento de uma técnica experimental tão

frutuosa nas suas implicações teóricas como nas suas aplicações práticas, não encontrámos melhores palavras do que as de L. H. Ahrens (7):

«Spectrochemical analysis has sometimes been likened unto a skilled art — this indeed it becomes when we take up the merry chase of seeking the elements in their mineral hideouts. There they often defy our probing. Their unyielding tenacity to remain hidden is then matched by all the skill and ingenuity of the analyst. Very slowly, by dint of perseverance, each — even the rarest — is made to tell the fascinating story of its distribution in the crust and waters of the earth. Those elegant little lines have done their job. Here, however, the chase never ends... there is evermore to be told; and so, back to work.»

BIBLIOGRAFIA

- (1) *A Evolução da Óptica* (extracto da trad. do pref. do livro *Optik* de Max Born; tradução de L. Salgueiro) — *Gazeta de Física*, vol. II, Fasc. 3, pp. 71-75, 1950.
- (2) Schiek, Oswald — *Centenary of Spectral Analysis, in Commemoration of its Discovery by Robert Kirchhoff and Wilhelm Bunsen*. JENA REVIEW, n.º 5, pp. 143-146, 1959.
- (3) Twyman, F. — *Metal Spectroscopy*. Charles Griffin & Company Limited, London, pp. 1-41, 1951.
- (4) Weise, E. K. — *History and Origin (of Emission Spectroscopy)*. *The Encyclopedia of Spectroscopy*. Ed. George Clark, Reinhold Publishing Corporation, New York, pp. 188-199, 1960.
- (5) Kayser, H. — *Handbuch der Spectroscopie*. Verlag von S. Hirzel, Leipzig, vol. I, pp. 90-91 e 96, 1900.
- (6) Roscoe, Henry E. — *Spectrum Analysis*. Macmillan and Co., London, pp. 100-101, 1873, (3.ª ed.).
- (7) Ahrens, L. H. — *Spectrochemical Analysis*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1954 (2.ª ed.).

APÊNDICE

Contribuições para a História
da Análise Espectral (*)

Por G. KIRCHHOFF (1)

Nas minhas «Researches on the solar Spectrum and the Spector of the Chemical Elements» (2) fiz uma série de considerações acerca de anteriores pesquisas sobre esse mesmo assunto. Nessas observações mantive silêncio em relação a certas publicações — nuns casos por não estar a par delas, noutros por me parecer não apresentarem interesse especial para a história das descobertas em questão. Tendo entretanto tomado conhecimento da existência da primeira classe de publicações, e verificado que se tem dado maior peso à segunda classe de publicações do que eu tinha feito, esforçar-me-ei agora por completar aquela pesquisa histórica.

Entre os que se dedicaram à observação dos espectros das chamas coradas, devo mencionar em primeiro lugar Herschel e Talbot. Os seus nomes justificam uma notícia especial pois eles indicaram distintamente os serviços que este modo de observação pode prestar aos químicos. O conhecimento das suas investigações devo-o principalmente ao Professor W. Allen Miller, que delas apresentou um extracto numa prelecção republicada no número de 19 de Abril de 1862 do *Chemical News*. Ali se afirma que no volume de 1812 das *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, pp. 455, Herschel descreve abreviadamente os espectros do cloreto de estrôncio, cloreto de potássio, cloreto de cobre, nitrato de cobre e do ácido bórico. Diz o mesmo observador no seu

artigo sobre a Luz, na «Encyclopaedia Metropolitana», 1827, pp. 438: «Os sais de sódio dão um amarelo abundante e puramente homogêneo; os de potássio, um belo violeta pálido.» A seguir descreve as cores dadas pelos sais de cálcio, estrôncio, lítio, bário, cobre e ferro, e prossegue: «Entre todos os sais são os muriatos os que dão melhores resultados, sendo isso devido à sua volatilidade. Essas mesmas cores também aparecem quando um qualquer dos sais em questão é colocado (sob a forma de pó) na torcida de uma lamparina de álcool. As cores assim comunicadas à chama pelas diferentes bases fornecem, em muitos casos, um rápido e elegante processo de detectar quantidades extremamente diminutas dessas bases. Quando, segundo a recente prática do Tenente Drummond, pela acção do gás de oxigénio sobre as chamas de várias lamparinas de álcool, se aquecem violentamente pequenas esferas de terras puras, as suas superfícies produzem luzes de extraordinário esplendor que, ao serem examinadas pela análise prismática, mostram possuir em excesso os raios peculiares e definidos que caracterizam as tonalidades das chamas por eles coradas; desse modo não pode haver dúvidas de que tais cores resultam das moléculas da matéria corante reduzida a vapor e em estado de violenta ignição.»

Talbot diz (3): «A chama de enxofre e salitre contem um raio vermelho que me parece de natureza digna de menção. Este raio vermelho parece possuir uma refringência definida e ser característico dos sais de potássio, tal como o raio amarelo o é dos sais de sódio, embora, devido ao seu fraco poder iluminante, só possa ser detectado com um prisma. Se tal se puder admitir eu sugeriria, então, que quando um prisma revela a existência de um raio homogêneo de qualquer cor esse raio indica a formação ou a presença de um composto químico definido.» Um pouco adiante, referindo-se ao espectro

(*) Cf. «Spectrum Analysis» por Henry E. Roscoe, Macmillan and Co., Londres, pp. 132-139, 1863.

(1) Comunicação apresentada ao Phil. Mag., Fourth Series, Vol. XXV, p. 250, pelo Prof. Roscoe.

(2) «Researches on The Solar Spectrum and The Spectra of The Chemical Elements» Publicado pela Macmillan and-Cò., Cambridge e Londres, 1862.

(3) Brewster's Journal of Science, vol. V, 1826; Chemical News, April 27, 1861.

do fogo vermelho e à frequente ocorrência da risca amarela, diz: «As outras riscas podem ser atribuídas ao antimônio, estrôncio, &c. que entram nesta composição. O raio cor de laranja, por exemplo, pode ser o efeito do estrôncio pois o Sr. Herschell encontrou na chama do muriato de estrôncio um raio daquela cor. Se esta opinião estiver certa, e for aplicável aos outros raios definidos, um relance de olhos sobre o espectro prismático de uma chama pode indicar que ela contém substâncias que só poderiam ser de outro modo detectáveis mediante uma laboriosa análise química.» O mesmo físico, numa comunicação subsequente⁽⁴⁾, depois de dar uma descrição dos espectros do lítio e do estrôncio, continua: «Não hesito, portanto, em dizer que a análise óptica é capaz de distinguir uma da outra as mais ínfimas porções dessas duas substâncias e com igual segurança, senão maior, do que qualquer outro método conhecido.»

Nestas expressões, a ideia da «análise química mediante observações espectrais» é apresentada da maneira mais clara. Contudo, outras afirmações dos mesmos observadores, que aparecem nas mesmas memórias de onde foram extraídas as anteriores citações (mas não mencionadas no extracto do Professor Miller) contradizem redondamente as conclusões anteriores e colocam os fundamentos deste modo de análise em terreno altamente inseguro.

Herschell, na página 438 do seu artigo sobre a Luz, e quase imediatamente antes das palavras acima citadas, diz: «Em certos casos, quando a combustão é violenta, como no caso de uma lamparina de óleo soprada com um maçarico de boca (segundo Fraunhofer), ou na parte superior da chama de uma lamparina de álcool, ou ainda quando se deita enxôfre num cadinho ao rubro branco, produz-se uma grande quantidade de luz amarela definida e puramente homogênea que, no último caso, constitui quase toda a luz.

O Dr. Brewster também descobriu que a mesma luz amarela é produzida quando o espírito de vinho diluído com água é inflamado.»

Talbot declara: «Assim, os raios amarelos podem indicar a presença de sódio; contudo, eles aparecem frequentemente onde não se pode supor que o sódio esteja presente⁽⁵⁾. Refere a seguir que a luz amarela do enxôfre ardente, descoberta por Herschel, é idêntica à luz da chama de uma lamparina de álcool com uma torcida salgada e declara sentir-se inclinado a acreditar que a luz amarela que aparecia ao deitar sal numa folha de platina posta sobre uma chama «era mais devida à água de cristalização do que ao sódio: mas então,» continua, «Não é fácil explicar porque razão os sais de potássio, &c., quando colocados numa chama de gás dão, além da sua própria chama, mais ou menos luz amarela, a qual tenho verificado ser sempre igual nas suas características. O único princípio que estes vários corpos têm em comum com os sais de sódio é a água; apesar disso, penso que a formação ou a presença de água não pode ser a origem desta luz amarela pois o enxôfre ardente, substância com a qual se supõe não ter a água qualquer analogia, produz *exactamente a mesma luz amarela.*» «Talvez valha a pena assinalar,» acrescenta ele na mesma nota, «embora isso seja provavelmente accidental, que a densidade do enxôfre é 1,99 e quase *exactamente o duplo* da da água.» «Também é notável», continua ele no texto, «que o álcool queimado num vaso aberto, ou numa lamparina com torcida metálica, dê apenas um pouco de luz amarela enquanto que se a torcida for de algodão se obtém uma quantidade considerável dessa luz, e durante tempo ilimitado (Tenho verificado outros casos de mudança de cor das chamas, devidos à *simples presença* de uma substância *sem que em consequência esta sofra qualquer diminuição.* Assim, uma partícula de muriato de cálcio colocada na torcida de uma lamparina

(4) Phil. Mag 1834, vol. IV, p. 114; Chemical News, April 27, 1861.

(5) Brewster's Journal, vol. V, 1826.

de álcool produzirá durante uma noite inteira uma quantidade de raios vermelhos e verdes e sem que ela própria diminua sensivelmente»⁽⁶⁾.

Mais adiante, nessa memória, ele atribui a risca amarela, uma vez à presença de sais de sódio, e outra à presença do enxofre. Assim, na declaração acima mencionada, feita acerca dos espectros do fogo vermelho diz: «A risca brilhante no amarelo é sem dúvida causada pela combustão do enxofre»⁽⁷⁾.

Em vista do que atrás se disse temos de admitir que das investigações de Herschel e Talbot não é possível tirar a conclusão de que a referida risca amarela possa constituir uma demonstração positiva da presença na chama de compostos de sódio. Antes pelo contrário, as numerosas maneiras como a risca é produzida, levariam melhor à conclusão de que ela não depende de qualquer constituinte químico da chama, mas resulta de um processo de natureza desconhecida que pode manifestar-se, umas vezes mais facilmente, outras com dificuldade, com os mais diferentes elementos químicos. Se aceitarmos tal explicação, no que se refere à risca amarela, teremos de aceitar uma opinião semelhante em relação às outras riscas observadas no espectro que tinham sido examinadas muito mais imperfeitamente; nisto seríamos apoiados pela afirmação de Talbot de que um fragmento de cloreto de cálcio apenas *pela sua presença* na torcida de uma chama, e sem sofrer qualquer diminuição, faz com que apareçam no espectro uma risca vermelha e outra verde.

As experiências de Wheatstone⁽⁸⁾, Mas-

son, Ångström, Van der Willigen, e Plücker, a respeito dos espectros da fiação eléctrica ou da luz eléctrica (às quais já fiz referência nas minhas «Researches on the Solar Spectrum and Spectra of the Chemical Elements», Macmillan, Londres, 1862, p. 8), bem como as de Despretz⁽⁹⁾, das quais esse físico concluiu que as posições das riscas brilhantes do espectro da luz produzida por uma bateria galvânica permaneciam inalteradas ao variar a intensidade da corrente, poderiam servir de apoio à ideia de que as riscas brilhantes do espectro de um gás incandescente são unicamente dependentes dos constituintes químicos do gás; mas não poderiam ser consideradas como uma *demonstração* dessa opinião, pois as condições em que foram efectuadas tais experiências eram demasiado complicadas e os fenómenos que têm sede na fiação eléctrica eram por demais mal compreendidos. A força demonstrativa das experiências acima referidas torna-se menos persuasiva no assunto em questão devido às diferenças de cor visíveis na luz eléctrica de diferentes zonas de um tubo de Geysler, pela circunstância observada por Van der Willigen que obteve espectros diferentes ao fazer saltar uma fiação eléctrica, entre os mesmos eléctrodos, num gás de composição química constante, quando a densidade do gás variava entre limites suficientes e, finalmente, por uma observação descuidadamente feita por Ångström. Este físico diz⁽¹⁰⁾: «Wheatstone já notou que, quando os polos são constituídos por dois metais diferentes, o espectro contem as riscas de ambos os metais. Deste modo, torna-se interessante verificar se um composto desses metais, especialmente um composto químico, também dá as riscas de ambos os metais, ou se o composto se manifesta pela ocorrência de novas riscas. A experiência mostra que a primeira suposição está certa. A única dife-

⁽⁶⁾ Brewster's Journal, vol. V, 1826.

⁽⁷⁾ Um breve relato dos resultados de Herschel e Talbot, tal como aqui foram citados, foi feito por mim numa preleção realizada na Royal Institution em 5 de Abril, 1862, e reproduzida no Chemical News de 10 de Maio de 1862. — H. E. R.

⁽⁸⁾ Wheatstone procedeu a experiências não só com a fiação de uma máquina eléctrica mas utilizou igualmente uma fiação de indução voltaica (Report of the British Association, 1835; Chemical News, March 23 and March 30, 1861).

⁽⁹⁾ Comptes Rendus, vol. XXXI, p. 419, (1850).

⁽¹⁰⁾ Pogg. Ann, vol. XCIV, p. 150 (Translated in Phil. Mag. for May 1855).

rença observada é que certas riscas ou estão ausentes ou aparecem com menor nitidez; mas, nas ocasiões em que foram observadas, apareceram sempre nas posições em que ocorrem nos metais separados.» Porém, na frase seguinte, ele declara «Que no caso do zinco e do estanho as riscas do azul estavam um tanto deslocadas na direcção do extremo violeta mas esse deslocamento era muito insignificante.» Se esse deslocamento, por menor que fosse, *realmente* tivesse sido verificado, teríamos de concluir que as riscas brilhantes do espectro de fiação obedecem a outras leis diferentes das dos gases incandescentes, ou que estas riscas *não* dependem só dos constituintes químicos do gás considerados separadamente.

O assunto em questão, referente às riscas dos gases incandescentes, só poderia ser satisfatoriamente resolvido por meio de experiências realizadas nas condições mais simples — tais como, por exemplo, o exame dos espectros das chamas. O Professor W. Allen Miller fez observações desta natureza no ano de 1845 mas estas não trazem qualquer contribuição à solução do problema. O Dr. Miller tem o mérito de ter sido o primeiro a publicar diagramas dos espectros de chamas⁽¹¹⁾, mas estes diagramas só ao de leve atingem os seus fins, apesar de o Sr. Crookes, numa reimpressão do trabalho que acompanhava aqueles diagramas e publicada no *Chemical News*⁽¹²⁾, declarar: «Não podemos, é claro, reproduzir os diagramas coloridos com que [o trabalho de Miller] foi originalmente ilustrado; mas podemos garantir aos nossos leitores que, dando desconto à imperfeição da cromolitografia dezasseis anos atrás⁽¹³⁾, os diagramas dos espectros apresentados pelo Professor Miller são sob vários aspectos *mais rigorosos* do que os espectros coloridos apresentados em números recentes dos

periódicos científicos.» Em resposta a esta «garantia» do Sr. Crookes devo apenas fazer notar que, à laia de experiência, mostrei os diagramas do Professor Miller a várias pessoas familiarizadas com os espectros particulares, pedindo-lhes que indicassem o diagrama que pretendia representar, respectivamente, os espectros do estrôncio, do bário e do cálcio, e que de nenhuma vez foram escolhidos os que estariam certos.

Swan foi quem primeiro tentou comprovar experimentalmente se a risca amarela que aparecia quase sempre poderia ser unicamente devida à presença de compostos de sódio. No seu clássico trabalho de investigação «On the Spectra of the Flames of the Hydrocarbons»⁽¹⁴⁾ (referido tanto nas minhas «Researches» como no trabalho publicado por Bunsen e por mim) Swan mostra quão diminuta é a quantidade de sódio que produz esta risca distintamente; verifica que tal quantidade é inconcebivelmente pequena e conclui: «Quando de facto temos presente a difusão quase universal dos sais de sódio, e a notável energia com que produzem luz amarela, parece altamente provável que a risca amarela *R*, que aparece nos espectros de quase todas as chamas, seja, em todos os casos, devida à presença de diminutas quantidades de sódio».

O tema restrito da investigação de Swan era a comparação dos espectros das chamas de vários hidrocarbonetos. «Dessa comparação tem resultado que, em todos os espectros produzidos por uma substância, seja da forma C_rH_s ou da forma $C_rH_sO_t$, as riscas brilhantes têm-se mostrado idênticas. Contudo, em alguns casos, não foram observadas algumas das riscas muito fracas que aparecem no espectro da lamparina de Bunsen. O brilho das riscas varia com a proporção entre o carbono e o hidrogénio da substância que é queimada, sendo maior quando há mais carbono... A absoluta identidade que assim se mostra existir entre os espectros

⁽¹¹⁾ Phil. Mag. for August, 1845.

⁽¹²⁾ Chemical News, May 18, 1861.

⁽¹³⁾ Os diagramas do Professor Miller não foram impressos por cromolitografia, mas sim, como um exame pode mostrar, pintados à mão. — H. E. R.

⁽¹⁴⁾ Trans. Roy. Soc. of Edinburgh, vol. XXI, p. 414.

de diferentes compostos de carbono e hidrogénio não é digna de pouca nota. Ela prova: 1.º — que a posição das riscas do espectro não varia com a proporção de carbono e hidrogénio do corpo em combustão — como acontece ao comparar os espectros do hidrogénio ligeiramente combinado com carbono, CH_2 , do gás oleificante, C_2H_2 , e da essência de terebintina, $C_{20}H_8$; 2.º — que a presença do oxigénio não altera o carácter do espectro: assim, o éter, C_4H_5O , e o espírito de madeira, $C_2H_4O_2$, dão espectros idênticos aos da parafina, $C_{20}H_{20}$, e da essência de terebintina, $C_{20}H_8$.

«Em certos casos, pelo menos, a mistura mecânica de outras substâncias com o composto de carbono e hidrogénio não afecta as riscas do espectro. Assim, verifiquei que uma mistura de álcool e de clorofórmio arde com uma chama envolvida por um verde muito luminoso — aspecto característico da presença do cloro — e que não se observa qualquer risca no espectro. Contudo, quando a chama é soprada com um maçarico de boca, a luz do envólucro diminui e tor-

nam-se visíveis as riscas ordinárias do espectro dos hidrocarbonetos.»

Com esta investigação deu Swan uma valiosíssima contribuição para dar resposta à questão de saber se as riscas brilhantes de um gás incandescente são unicamente dependentes dos seus constituintes químicos; mas ele não respondeu, nem positivamente, nem na sua forma mais geral; de facto, não chegou sequer a pôr-se tal questão pois desejava limitar as suas investigações aos espectros dos hidrocarbonetos e só foi levado ao exame desta risca amarela pela frequência do seu aparecimento nesses espectros.

Ninguém, ao que parece, tinha claramente posto esta questão antes de Bunsen e de mim, sendo o esclarecimento de tal ponto o principal objectivo da nossa investigação em comum. Experiências muito variadas e na sua maior parte inteiramente inéditas levaram à conclusão em que actualmente se apoiam os fundamentos da análise química por observações espectrais.»

Tradução de R. A. DAVID GOMES

Novo sistema de unidades físicas

O Sistema Internacional (S.I.)

No dia 1 de Janeiro do corrente ano de 1962 entrou legalmente em vigor, em França, um novo sistema de unidades físicas denominado *Sistema Internacional* (S. I.). O respectivo decreto tem o n.º 61 — 501 e vem publicado no *Journal officiel de la République française*, de 20 de Maio de 1961 (*Lois et Décrets, Ministère de l'Industrie*, págs. 4584-4593), com a data de 3 de Maio.

O novo sistema de unidades passa a ser obrigatório em França (continental e ultramarina) não só nos estabelecimentos escolares de todos os graus de ensino como em quaisquer actividades comerciais e industriais. As infracções estão sujeitas a penas de multa e de prisão. O decreto permite o

uso de um número restricto de unidades à margem do sistema oficial, as quais são especificadas e definidas.

O Sistema Internacional consta de 6 unidades fundamentais (*unités de base*) e de unidades secundárias, que são 27. Determina o uso de múltiplos e submúltiplos das unidades anteriores (em número de 29) e autoriza o emprego de algumas unidades fora do sistema (em número de 20).

As unidades fundamentais são:

- o metro, unidade de comprimento
- o quilograma, unidade de massa
- o segundo, unidade de tempo

o **ampere**, unidade de intensidade de corrente eléctrica

o **grau Kelvin**, unidade de temperatura
a **candela**, unidade de intensidade luminosa.

Dispostemos estas unidades, e todas as outras, conforme se apresentam no decreto original, em oito grupos que se designam por: I — Unidades geométricas; II — Unidades de massa; III — Unidades de tempo; IV — Unidades mecânicas; V — Unidades eléctricas; VI — Unidades caloríficas; VII — Unidades ópticas e VIII — Unidades de radioactividade. Em cada grupo daremos as respectivas definições, incluindo as das unidades fundamentais, e as devidas relações numéricas.

I — Unidades geométricas

a) Comprimento.

Unidade (fundamental): **METRO**. Símbolo (m).

Definição: é o comprimento equivalente a 1650 763,73 comprimentos de onda, no vazio, da radiação correspondente à transição entre os níveis $2p_{10}$ e $5d_5$ do átomo de cripto 86.

Submúltiplos:

o **centímetro** (cm) ($1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m}$)

o **micron** (μ) ($1 \mu = 10^{-6} \text{ m}$).

Unidade fora do sistema: a **milha**.

Definição: é a distância média entre dois pontos da superfície da Terra situados à mesma longitude e cuja latitude difere de um ângulo de 1 minuto.

Por convenção 1 milha = 1852 m.

O emprego da milha só é autorizado em navegação (marítima e aérea).

b) Área ou superfície.

Unidade (secundária): **metro quadrado** (m^2).

Definição: é a área de um quadrado que tem 1 metro de lado.

Múltiplo: o **are** (a) ($1 \text{ a} = 10^2 \text{ m}^2$).

Submúltiplo: o **centímetro quadrado** (cm^2) ($1 \text{ cm}^2 = 10^{-4} \text{ m}^2$).

Nota: O are só é usado na medida das superfícies agrárias.

c) Volume:

Unidade (secundária): o **metro cúbico** (m^3).

Definição: é o volume de um cubo que tem 1 metro de aresta.

Submúltiplos:

o **litro** (l) ($1 \text{ l} = 10^{-3} \text{ m}^3$)

o **centímetro cúbico** (cm^3) ($1 \text{ cm}^3 = 10^{-6} \text{ m}^3$).

Nota: na medida dos volumes da madeira para aquecimento, em pilhas, o metro cúbico tem a designação de **estere** (st).

d) Ângulo plano:

Unidade (secundária): o **radiano** (rd).

Definição: é o ângulo que, tendo o seu vértice colocado no centro de um círculo, intercepta, na circunferência desse círculo, um arco cujo comprimento é igual ao do raio do círculo.

Unidades fora do sistema:

a **volta** ou a **rotação** (tr) ($1 \text{ tr} = 2\pi$) (1)

o **grado** (gr) ($1 \text{ gr} = \pi/200$)

o **grau** ($^\circ$) ($1^\circ = \pi/180$)

o **minuto** ($'$) ($1' = \pi/10\,800$)

o **segundo** ($''$) ($1'' = \pi/648\,000$)

a **hora de ângulo** (não tem símbolo) (equivale a $2\pi/24$ rd e, portanto, a 15°).

Notas: 1) Também é permitido o símbolo *rad* para o radiano; 2) A *hora de ângulo* só é usada em Astronomia e em Navegação.

(1) O símbolo *tr* vem da palavra francesa *tour*.

e) *Ângulo sólido*:

Unidade (secundária): o **estereradiano** (sr)

Definição: é o ângulo sólido que, tendo o seu vértice no centro de uma esfera, corta, sobre a superfície desta esfera, uma área equivalente à de um quadrado cujo lado é igual ao raio da esfera.

II — Unidades de massa

a) *Massa*:

Unidade (fundamental): o **QUILOGRAMA** (kg)

Definição: é a massa do protótipo de platina iridiada, sancionado pela Conferência Geral dos Pesos e Medidas, em Paris, em 1889, e que se encontra depositado no pavilhão de Breteuil, em Sèvres.

Múltiplos: a **tonelada** (t) ($1\text{ t} = 10^3\text{ kg}$)
o **quintal** (q) ($1\text{ q} = 10^2\text{ kg}$)

Submúltiplo; o **grama** (g) ($1\text{ g} = 10^{-3}\text{ kg}$)

Unidade fora do sistema: o **quilate métrico** (não tem símbolo) (equivale a $2 \times 10^{-4}\text{ kg}$).

Nota: o quilate métrico é usado no comércio dos diamantes, pérolas finas e pedras preciosas.

b) *Massa específica*: (1)

Unidade (secundária): **quilograma por metro cúbico** (kg/m^3)

Definição: é a massa específica de uma substância homogênea cuja massa mede 1

quilograma e cujo volume mede 1 metro cúbico.

Múltiplo: **grama por centímetro cúbico** (g/cm^3) ($1\text{ g}/\text{cm}^3 = 10^3\text{ kg}/\text{m}^3$)

Notas: a relação entre a massa específica de uma substância homogênea e a massa específica de outra que se toma para referência, ambas relativas a certas condições que deverão ser indicadas, chama-se *densidade* (*densidade relativa*) da primeira em relação à segunda. A densidade exprime-se por um número decimal e não tem unidade. Não é permitido exprimir a densidade de uma substância de outro modo que não seja este número decimal.

As substâncias tomadas para referência são, em geral, a água para os sólidos e para os líquidos, e o ar para os gases.

c) *Título alcoométrico*:

Unidade (secundária): o **grau alcoólico centesimal** ($^{\circ}\text{GL}$)

Definição: é o grau da escala centesimal de Gay-Lussac na qual o título alcoométrico da água é 0 e o do álcool absoluto é 100.

Notas: chama-se *título alcoométrico* de uma mistura de água e álcool à razão entre o volume de álcool absoluto, à temperatura de 15 graus Celsius, contido nessa mistura, e o volume total da mesma, a essa mesma temperatura.

A graduação dos alcoómetros tem por base a tabela das unidades das misturas de álcool absoluto e de água pura organizada pelo *Bureau National Scientifique et Permanent des Poids et Mesures*.

É permitido o uso do símbolo $^{\circ}$, para o grau alcoométrico centesimal desde que não haja possível confusão com o grau de ângulo ou com o grau de temperatura.

Não é permitido o uso de qualquer outra unidade de título alcoométrico, nomeadamente do grau Baumé e do grau Cartier.

(1) No original escreve-se *masse volumique* em vez de *masse spécifique* como é habitual ler-se nos livros franceses. Parece-nos mais sugestivo o termo *volumique* do que *spécifique* para o que se pretende exprimir. Em português poderíamos dizer «massa volúmica».

III — Unidades de tempo

a) *Tempo*:

Unidade (fundamental): o **SEGUNDO (s)**

Definição: é a fracção $1/31\,556\,925,9747$ do ano trópico para 1900 Janeiro zero, às 12 horas do tempo das efemérides (1).

Unidades fora do sistema:

o minuto (mn) ($1\text{ mn} = 60\text{ s}$)

a hora (h) ($1\text{ h} = 3\,600\text{ s}$)

o dia (j) ($1\text{ j} = 86\,400\text{ s}$).

(1) A unidade de tempo, o segundo, foi, durante longos anos, definida a partir do tempo de rotação da Terra em torno do seu eixo imaginário. Como se reconheceu que essa rotação era bastante irregular, preferiu-se referir o segundo ao tempo da revolução anual da Terra. Assim se faz desde 1952. Sucede, porém, que este movimento anual também sofre das suas irregularidades pelo que foi necessário recorrer a certas condições que são expressas do seguinte modo no livro de Decaux, *La mesure précise du temps en fonction des exigences nouvelles de la science* (1959), pgs. 12-13:

«... par raison de commodité, l'on raisonne comme si le Soleil et les étoiles tournaient autour de la Terre et que se sont leurs mouvements apparents que l'on observe; lorsque l'on dit que le Soleil passe au méridien, c'est, bien sûr, le méridien qui passe par le Soleil... Ceci étant, il a fallu choisir un point de référence; c'est l'un des points d'intersection de l'équateur et de l'écliptique de la sphère céleste, l'équinoxe de printemps ou point vernal γ . Cela permet la liaison entre le mouvement des étoiles et celui du Soleil. Malheureusement, la précession des équinoxes fait reculer le point γ dans l'équateur (de $50,26''$ par an); la nutation y ajoute une oscillation périodique. L'année se compte entre deux passages successifs du Soleil au point γ ; si l'on prend un point γ fixe, c'est l'année *sidérale*; si l'on considère le point γ moyen (reculant régulièrement sans tenir compte des mouvements périodiques), c'est l'année *tropique*. Celle-ci diminuant d'environ $1/2$ seconde par siècle, on a choisi comme référence, l'année tropique de 1900... «Les derniers mots (da definição de segundo) font allusion à un nouveau genre de temps. Les temps sidéral et solaire se rapportaient à des astres déterminés; le temps des éphémérides en est indépendant. Les éphémérides fournissent les positions calculées des divers astres, en se basant sur des équations de mécanique céleste.»

Notas: para o minuto é permitido usar o símbolo «min», assim como o símbolo «m» mas este apenas em casos em que não possa haver qualquer ambiguidade, como, por exemplo, quando se exprime o valor de um tempo não somente em minutos mas também em horas ou em segundos.

Para o dia também é permitido o símbolo d.

b) *Frequência* (1):

Unidade (secundária): o hertz (Hz)

Definição: é a frequência de um fenómeno periódico cujo período mede 1 segundo.

Nota: O hertz designa-se muitas vezes, nas telecomunicações, por «ciclo por segundo».

IV — Unidades mecânicas

a) *Velocidade*:

Unidade (secundária): metro por segundo (m/s).

Definição: é a velocidade de um móvel que percorre a distância de 1 metro em 1 segundo, com movimento uniforme.

Submúltiplo: o centímetro por segundo (cm/s) ($1\text{ cm/s} = 10^{-2}\text{ m/s}$)

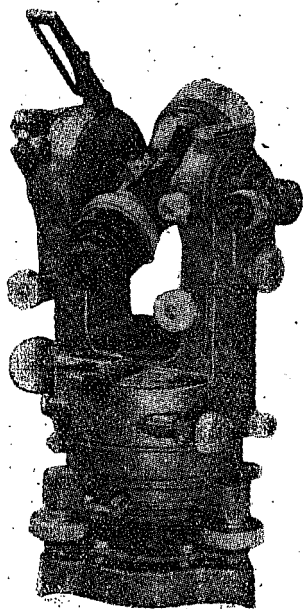
Unidade fora do sistema: o nó (não tem símbolo) ($1\text{ nó} = \frac{1\,852}{3\,600}\text{ m/s}$)

Nota: o nó é a velocidade uniforme equivalente a 1 milha em 1 hora. É permitido o seu emprego apenas na navegação (marítima e aérea).

b) *Aceleração*:

Unidade (secundária): o metro por segundo, por segundo (m/s^2)

(1) Embora uma frequência não seja um intervalo de tempo, é neste lugar que o decreto a coloca.



NUCLEON

EQUIPAMENTOS DE PRECISÃO LIMITADA

SECÇÕES:

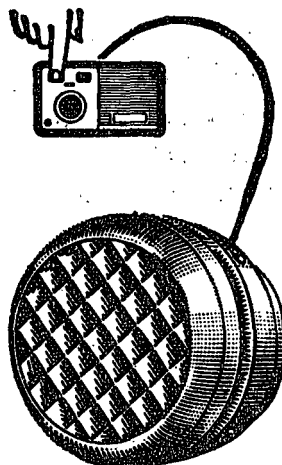
- *DESENHO TÉCNICO*
- *APARELHAGEM CIENTÍFICA*
- *APARELHAGEM DE CONTROLE INDUSTRIAL*
- *MATERIAL DIDÁTICO*
- *TOPOGRAFIA E GEODESIA*

OFICINAS DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA

A TODOS OS EQUIPAMENTOS VENDIDOS POR NUCLEON
É OFERECIDA ASSISTÊNCIA TÉCNICA E APOIO TÉCNICO
DAS SUAS OFICINAS.

Avenida António Augusto de Aguiar, 165 • Telef. 73.21.31 • LISBOA

Liberte-se do ar
viciado e cheiros
desagradáveis com
os ventiladores
Vent-Axia



NOVOS E ELEGANTES MODELOS

A VENDA EM
TODO O PAIS

Agentes gerais para Portugal e Províncias Ultramarinas
SOCIEDADE TÉCNICA DE FOMENTO, LDA
PORTO LISBOA

Tipografia // Litografia // Encadernação

S O C I E D A D E
T I P O G R Á F I C A

«A Mundial»
LIMITADA

ESCRITÓRIO:

AVENIDA ALMIRANTE REIS, 45-A

TELEFONE 83 36 66

LISBOA 1

OFICINAS: NOVAS INSTALAÇÕES,
REGUEIRÃO DOS ANJOS, 36

NUCLEAR DE CHICAGO

TODA A APARELHAGEM
PARA ENERGIA NUCLEAR

REPRESENTANTE

RUALDO, L. DA
SOCIEDADE COMERCIAL

LISBOA-2-(PORTUGAL) R. de S. José, 15-1.º

L. de Anunciada, 19-1.º

TELEGRAMAS: RUALDO

| | | |
|--------|------------|--------|
| TELEF. | Material | 30676 |
| | Armazém | 30606 |
| | Sec. Prev. | 322000 |
| | Contab. | 324859 |
| | Gerência | 325907 |

LIVRARIA ESCOLAR
EDITORA

SEDE: RUA DA ESCOLA POLITÉCNICA, 70
TELEFONE 664040

SUCURSAL: CAMPO GRANDE, 111
TELEFONE 767406

LISBOA

*Livros para o Ensino Universitário,
Liceal, Técnico e Primário*

NOVIDADES LITERÁRIAS

Rápido serviço de encomendas de livros

SECÇÃO DE PAPELARIA

*Material de desenho, canetas e artigos
de escritório*

DISCOTECA

Tipografia
LISBONENSE

de

António Joaquim de Alencastre Telo

FABRICANTE DE SACOS DE PAPEL
EM TODOS OS GÊNEROS
ENCADERNAÇÕES

IMPRESSÃO EM PAPEL CELOFANE
ARTIGOS DE ESCRITÓRIO

Rua do Passadiço, 48 a 56
Telef. 54357 - LISBOA

Definição: é a aceleração de um móvel, animado de movimento uniformemente variado, cuja velocidade varia de 1 metro por segundo em 1 segundo.

Submúltiplo: o **gal** (cm/s^2) ($1 \text{ cm/s}^2 = 10^{-2} \text{ m/s}^2$) (1).

c) **Força:**

Unidade (secundária): o **newton** (N)

Definição: é a força que comunica a um corpo, cuja massa vale 1 quilograma, a aceleração de 1 metro por segundo, por segundo.

Submúltiplo: o **dyne** (dyn) ($1 \text{ dyn} = 10^{-5} \text{ N}$).

Nota: o newton é um milésimo do **estene**, unidade de força no sistema M. T. S. (2).

d) **Energia, trabalho ou quantidade de calor:**

Unidade (secundária): o **joule** (J)

Definição: o joule é o trabalho efectuado pela força de 1 newton cujo ponto de aplica-

ção se desloca de 1 metro na direcção da força.

Submúltiplo: o **erg** (não tem símbolo) ($1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ J}$)

Unidades fora do sistema:

o **watt-hora** (Wh) ($1 \text{ Wh} = 3600 \text{ J}$)

o **electrão-volt** (eV) ($1 \text{ eV} = 1,59 \times 10^{-19} \text{ J}$)

a **caloria** (cal) ($1 \text{ cal} = 4,1855 \text{ J}$)

a **termia** (ou megacaloria) (th) ($1 \text{ th} = 4,1855 \times 10^6 \text{ J}$)

a **frigoria** (fg) ($1 \text{ fg} = -4,1855 \times 10^3 \text{ J}$)

Notas: O *electrão-volt* é a energia adquirida por um electrão acelerado sob uma diferença de potencial de 1 volt. Utiliza-se correntemente esta unidade em Física Nuclear.

A *caloria* é a quantidade de calor necessária para elevar de 1°C a temperatura de 1 grama de uma substância cujo calor específico seja igual ao da água a 15°C à pressão atmosférica normal.

Nas indústrias frigoríficas, as quantidades de calor retiradas podem ser expressas em frigorias. A *frigoria* é uma quilocaloria negativa.

O valor 4,1855 que figura nas relações numéricas anteriores é o valor experimental obtido nas determinações mais recentes.

e) **Potência:**

Unidade (secundária): o **watt** (W).

Definição: é a potência de 1 joule em 1 segundo.

Submúltiplo: **erg por segundo** (não tem símbolo) ($1 \text{ erg por segundo} = 10^{-7} \text{ W}$).

f) **Tensão** (1) e **pressão:**

Chama-se **tensão** à grandeza definida pelo cociente entre a intensidade da força

(1) O nome deste submúltiplo provém das primeiras letras do nome de Galileu.

(2) Repare-se, em particular, no desaparecimento do quilograma-força. Corajosamente procura-se terminar com a inevitável confusão entre os dois possíveis significados a atribuir à palavra quilograma (massa e força) abolindo o uso do quilograma-força não só no Comércio e na Indústria como nas Escolas.

É claro que na linguagem corrente se continuará a dizer que um corpo pesa tantos quilogramas, querendo com isso significar que o valor da massa do corpo é esse número de quilogramas. Aliás é isso que queremos dizer quando indicamos o valor obtido na pesagem de um corpo. Onde nos parece mais relevante o desaparecimento do quilograma-força é no que respeita a certas unidades de pressão, àquelas que têm nomes compostos como o «quilograma por centímetro quadrado». O nome desta unidade, pela tendência natural de se simplificar a linguagem, reduzia-se apenas a «quilograma», dizendo-se «uma pressão de tantos quilogramas» em que a palavra quilograma já não tinha o seu significado de massa e que também, só por si, não correspondia a uma pressão. Desaparecendo o quilograma-força desaparecem essas unidades compostas e todos os manómetros passarão a ter inscritos, legalmente, os valores expressos em bares.

(1) O original francês tem escrito *contrainte* que talvez não fique mal traduzido por *tensão*.

aplicada sobre um elemento de superfície, e o valor da área dessa superfície. Esta grandeza é representada por um vector que tem a direcção da própria força. Quando esse vector, que pode ser oblíquo em relação à superfície, for normal a ela, chama-se *pressão*; quando for tangencial, chama-se «*cission*»⁽¹⁾; em geral designa-se por *tensão*. A noção de *tensão* interessa particularmente no estudo da resistência de materiais.

Unidade (secundária): o **pascal** (Pa).

Definição (relativamente à *tensão*): é a *tensão* que, actuando sobre uma superfície plana de 1 metro quadrado, exerce nela a força total de 1 newton.

Definição (relativamente à *pressão*): é a *pressão* uniforme que, actuando sobre uma superfície plana de 1 metro quadrado, exerce, normalmente a essa superfície, a força total de 1 newton.

Múltiplo: o **bar** (não tem símbolo)
(1 bar = 10^5 Pa).

Submúltiplo: a **baria** (dyn/cm²)
(1 dyn/cm² = 10^{-1} Pa).⁽²⁾

Notas: o bar equivale ao hectopieze, múltiplo decimal da unidade do sistema MTS.

O valor da *pressão* atmosférica normal (0,76 m de mercúrio a 0°C, sob a aceleração normal da gravidade 9,806 65 m/s²) é igual a 101 325 Pa.⁽³⁾

g) *Viscosidade dinâmica* (ou apenas *viscosidade*).

Unidade (secundária): **poiseuille** (Pl).

Definição: é a *viscosidade* dinâmica de um fluido para o qual o movimento uniforme

e rectilíneo, efectuado sobre o seu plano, de uma superfície plana, sólida e indefinida, origina uma força retardadora de 1 newton por cada metro quadrado da superfície em contacto com o fluido, em escoamento relativo e permanente, quando o gradiente da velocidade do fluido à superfície do sólido e por cada metro de afastamento normal à referida superfície, é de 1 metro por segundo.

Submúltiplo: o **poise** (Po) (1 Po = 10^{-1} Pl).

h) *Viscosidade cinemática*:

Unidade (secundária): (não tem nome próprio) (m²/s).

Definição: é a *viscosidade* cinemática de um fluido cuja *viscosidade* dinâmica é de 1 poiseuille e cuja massa específica é de 1 quilograma por metro cúbico.

Submúltiplo: o **stokes** (St) (1 St = 10^{-4} m²/s).

V — Unidades eléctricas

a) *Intensidade de corrente eléctrica*:

Unidade (fundamental): o **AMPERE** (A).

Definição: é a *intensidade* de uma corrente eléctrica constante que, percorrendo permanentemente dois condutores paralelos e rectilíneos, de comprimento infinito e de secção circular desprezável, colocados à distância de 1 metro um do outro, no vazio, origina, entre eles, uma força de 2×10^{-7} newtons por metro de comprimento.

Múltiplo: **uem CGS** (1 uem CGS = 10 A).

b) *Força electromotriz e diferença de potencial* (ou *tensão eléctrica*):

Unidade (secundária): o **volt** (V).

Definição: o volt é a *diferença* de potencial existente entre dois pontos de um fio condutor percorrido pela corrente constante

(1) Talvez não ficasse mal traduzir *cission* por *cissão*, atendendo a que *cissão* significa «corte» e que estes vectores tangenciais sugerem o acto de cortar.

(2) Repare-se, em especial, no desaparecimento do cavalo-vapor do conjunto das unidades de potência.

(3) Outro problema linguístico aqui se levanta: como fazer o plural do substantivo comum «pascal»?

de 1 ampere, quando a potência dissipada entre esses pontos é de 1 watt.

Submúltiplo: **uem CGS** (1 uem CGS = $= 10^{-8}$ V).

Nota: o volt é praticamente igual a $1/1,0186$ da força electromotriz, à temperatura de 20° C, do elemento Weston normal (neutro e saturado) de sulfato de cádmio.

c) *Resistência eléctrica:*

Unidade (secundária): o **ohm** (Ω).

Definição: é a resistência eléctrica existente entre dois pontos de um fio condutor quando uma diferença de potencial de 1 volt, aplicada entre esses pontos, produz, nesse condutor, uma corrente de 1 ampere, desde que o dito condutor não seja fonte de nenhuma força electromotriz.

Submúltiplo: **uem CGS** (1 uem CGS = $= 10^{-9}$ Ω).

d) *Quantidade de electricidade:*

Unidade (secundária): o **coulomb** (C).

Definição: é a quantidade de electricidade transportada em 1 segundo pela corrente de 1 ampere.

Múltiplo: **uem CGS** (1 uem CGS = 10 C)

Unidade fora do sistema:
o **ampere-hora** (Ah) (1 Ah = 3600 C).

e) *Capacidade eléctrica:*

Unidade (secundária): o **farad** (F).

Definição: é a capacidade de um condensador eléctrico entre cujas armaduras se origina a diferença de potencial de 1 volt quando se carrega com a quantidade de electricidade de 1 coulomb.

Múltiplo: **uem CGS** (1 uem CGS = 10^9 F).

f) *Indutância eléctrica:*

Unidade (secundária): o **henry** (H).

Definição: é a indutância eléctrica de um circuito fechado na qual se produz a força electromotriz de 1 volt quando a corrente eléctrica que o percorre varia uniformemente à razão de 1 ampere em 1 segundo.

Submúltiplo: **uem CGS** (1 uem CGS = $= 10^{-9}$ H).

g) *Fluxo magnético:*

Unidade (secundária): o **weber** (Wb).

Definição: é o fluxo magnético que, ao atravessar um circuito constituído por uma só espira, produz nele a força electromotriz de 1 volt quando decresce até zero no intervalo de 1 segundo, com decrescimento uniforme.

Submúltiplo: o **maxwell** (M) (1 M = $= 10^{-8}$ Wb).

h) *Indução magnética:*

Unidade (secundária): o **tesla** (T).

Definição: é a indução magnética uniforme que, distribuída uniformemente sobre uma superfície de 1 metro quadrado, produz, através dessa superfície, o fluxo magnético total de 1 weber.

Submúltiplo: o **gauss** (G) (1 G = 10^{-4} T).

VI — Unidades caloríficas

a) *Temperatura:*

Unidade (fundamental): o **GRAU KELVIN** ($^{\circ}$ K).

Definição: é o grau da escala termodinâmica das temperaturas absolutas na qual a temperatura do ponto triplo da água vale 273,16 graus.

Nota: É permitido o uso do grau Celsius ($^{\circ}\text{C}$), que é igual ao grau Kelvin. O zero da escala Celsius corresponde a $273,15^{\circ}\text{K}$. As temperaturas Celsius, deduzidas da escala termodinâmica Kelvin, são determinadas, praticamente, por intermédio da escala internacional das temperaturas e de acordo com as regras fixadas pela Conferência Geral dos Pesos e Medidas.

b) *Quantidade de calor:*

(Ver: IV — Unidades mecânicas — alínea d).

VII — Unidades ópticas

a) *Intensidade luminosa:*

Unidade (fundamental): a **CANDELA** (cd)

Definição: é a intensidade luminosa, numa dada direcção, de uma abertura normal a essa direcção, que tem a área de $1/60$ do centímetro quadrado e radia como um radiador integral (corpo negro) à temperatura de solidificação da platina.

Nota: Para a realização material deste padrão, deverá o radiador integral ser estabelecido de acordo com as normas da Comissão Internacional de Pesos e Medidas.

b) *Fluxo luminoso:*

Unidade (secundária): o **lúmen** (lm).

Definição: é o fluxo luminoso limitado pelo ângulo de 1 esteradiano, proveniente de uma fonte luminosa, pontual e uniforme, de intensidade luminosa igual a 1 candela, colocada no vértice daquele ângulo sólido.

c) *Iluminação:*

Unidade (secundária): o **lux** (lx).

Definição: é a iluminação de uma superfície que recebe, normalmente, o fluxo lumi-

noso de 1 lúmen por metro quadrado, uniformemente distribuído sobre ela.

Múltiplo: o **phot** (Ph) ($1 \text{ Ph} = 10^4 \text{ lx}$)⁽¹⁾.

d) *Luminância*⁽²⁾:

Unidade (secundária): a **candela por metro quadrado** (cd/m^2).

Definição: é a luminância de uma fonte luminosa com 1 metro quadrado de superfície emissora cuja intensidade luminosa é de 1 candela.

Nota: a luminância é a grandeza que anteriormente se denominava *brilho*.

e) *Vergência dos sistemas ópticos*⁽³⁾:

Unidade (secundária): a **dioptria** (δ).

Definição: é a vergência de um sistema óptico cuja distância focal mede 1 metro num meio de índice de refração igual a 1.

Nota: a vergência é a grandeza que anteriormente se chamava *potência*. A vergência positiva chama-se *convergência*; a vergência negativa chama-se *divergência*.

VIII — Unidades de radioactividade

a) *Actividade nuclear:*

Unidade (fora do sistema): o **curie** (Ci).

Definição: o curie é a actividade nuclear

(1) O símbolo Ph é tirado das primeiras letras do nome francês da respectiva unidade, *phot*.

(2) *Luminance*, no original francês.

(3) O original francês designa por *vergence* a qualidade de os sistemas ópticos desviarem os raios de luz dirigindo-os para um ponto (*convergence*) ou afastando-os de um ponto (*divergence*). Embora nos nossos dicionários não figure a palavra *vergência* parece ser razoável adoptá-la para denominação daquela qualidade. Como a par das formas latinas *convergere* e *divergere*, que deram *convergir* e *divergir*, também existe a forma *vergere* com o significado de «inclinara para», não ficará mal o termo *vergência*. A aceitação do termo, como de outros já apontados, competirá aos especialistas da linguagem.

de uma quantidade de radioelemento (ou nuclídeo radioactivo) cujo número de desintegração por segundo é de $3,7 \times 10^{10}$.

Nota: a massa de rádio cuja actividade nuclear vale 1 curie é aproximadamente 1 grama.

b) *Quantidade de radiação X ou γ :*

Unidade (fora do sistema): o roentgen (R)

Definição: o roentgen é a quantidade de radiação X ou γ tal que a emissão corpuscular que lhe está associada produz, em 0,001293 gramas de ar, os iões que transportam a quantidade de electricidade de $\frac{1}{3 \times 10^9}$ coulombs (equivalente a 1 unidade electrostática CGS), positiva ou negativa.

*

* *

Antecedendo o quadro das unidades, estabelece o referido decreto 61-501 as seguintes regras de carácter geral:

a) *Formação de múltiplos e submúltiplos decimais da unidade*

1) — Para os múltiplos:

os factores pelos quais se multiplica o valor da unidade na obtenção dos múltiplos são os seguintes, acompanhados dos prefixos que se juntam ao nome da unidade, e da letra que antecederá o respectivo símbolo:

| | | |
|-----------|-------|----|
| 10^1 | deca | da |
| 10^2 | hecto | h |
| 10^3 | kilo | k |
| 10^6 | mega | M |
| 10^9 | giga | G |
| 10^{12} | tera | T |

2) — Para os submúltiplos:

| | | |
|-----------|-------|---|
| 10^{-1} | deci | d |
| 10^{-2} | centi | c |

| | | |
|------------|-------|-------|
| 10^{-5} | mili | m |
| 10^{-6} | micro | μ |
| 10^{-9} | nano | n |
| 10^{-12} | pico | p |

b) *Designação das potências de 10, do tipo 10^{6N} em que N é um número inteiro*

Para $N = 1$, a potência 10^6 diz-se *milhão*; para as seguintes potências ($N = 2, 3, 4 \dots$) junta-se a terminação *ilido* à indicação do valor numérico de N. Assim para $N = 2$ (10^{12}) diz-se *bilhão*; para $N = 3$ (10^{18}), *trilhão*; para $N = 4$ (10^{24}), *quatrilhão*; para $N = 5$ (10^{30}), *quintilhão*; para $N = 6$ (10^{36}), *sextilhão*, etc.

c) *Nomes das unidades*

Os nomes das unidades, mesmo os que forem nomes de cientistas, são substantivos comuns e por isso a sua inicial é uma letra minúscula. Formam-se os seus plurais acrescentando um *s*.

d) *Símbolos*

Quando o símbolo de um múltiplo ou de um submúltiplo de uma unidade for afectado de um expoente, este refere-se sempre ao conjunto do símbolo e não apenas à parte que designa a unidade. Assim dam^2 , que representa a área da superfície de um quadrado cujo lado mede um decâmetro (100 m^2), não significa $\text{da}(\text{m}^2)$. Se assim fosse corresponderia a 10 m^2 e não a 100 m^2 , como deve ser.

Os símbolos não têm plural.

e) *Unidades CGS*

Os nomes das unidades CGS que se mantêm no Sistema Internacional, são escritos em itálico.

(Tradução, coordenação e notas marginais de RÓMULO DE CARVALHO)

Progressos recentes em Física Corpuscular

por MAX HOYAUX e PAUL GANZ

«Gazeta de Física» inicia neste número a publicação do excelente artigo de Max Hoyaux e Paul Ganz do Département «Études et Recherches», Division Nucléaire, da firma ACEC (Ateliers de Constructions Électriques de Charleroi), da Bélgica.

Este artigo foi publicado em ACEC Revue, N.º 4 — 1960 e N.º 2 — 1961, com o título original «Récents progrès de la physique corpusculaire». Na «Gazeta de Física» a sua publicação far-se-á em quatro números.

Aos Autores e à Direcção da ACEC Revue expressamos aqui o nosso reconhecimento pelas facilidades concedidas.

É necessário remontar ao século sexto A. C. para se encontrar a primeira referência (será realmente a primeira?) a uma possível estrutura descontínua da matéria. Isto significa que a Física Corpuscular não é, de forma alguma, um assunto de origem recente.

Contudo, que diferença entre os átomos, os «indivisíveis», de Leucipo e Demócrito, e as partículas com spin, de Luís de Broglie e continuadores! E que diferença ainda entre a pequena esfera elástica da teoria cinética dos gases, a as complicadas estruturas que as descobertas recentes no campo da Física Nuclear tornaram familiares!

Como o viajante que ao fim de longa jornada gosta de olhar para trás e rever o caminho percorrido, também o nosso desejo é rever o passado para compreendermos a forma como chegámos ao ponto em que estamos agora. Apesar disso, esta parte do presente artigo será apenas auxiliar, pois não nos sentimos qualificados para escrever uma História da Física, ou de apenas um dos seus capítulos. Preferimos descrever o conhecimento actual e mostrar a grande unidade que se está agora evidenciando em termos matemáticos (pelo preço, é certo, do que é geralmente considerado como um excessivo grau de abstracção). Mas queremos também destacar os numerosos problemas que conti-

nuam sem resposta, principalmente devido à descoberta recente dum grande número de «partículas estranhas» e aos progressos teórico e experimental em relação ao conceito de paridade.

Este artigo destina-se aos leitores com algum conhecimento geral do assunto, mas sem treino especial no campo da Física Matemática.

Apesar de uma vez ou outra se apresentarem algumas equações bem conhecidas, não se faz nenhuma dedução matemática. Contudo, com a ajuda da bibliografia indicada no fim do artigo, o leitor encontrará o trabalho onde os cálculos aqui esquematizados estão feitos em detalhe.

Desta maneira esperamos alcançar um duplo objectivo: interessar os que leiam este artigo para além da curiosidade geral, e encorajar aqueles que pretendem estudar o assunto mais profundamente.

Os nossos leitores dirão se alcançámos o fim em vista.

BREVES FUNDAMENTOS HISTÓRICOS

A hipótese atómica remonta a Leucipo e Demócrito, que viveram cerca do ano 500 A. C. Nunca se saberá se isto se deve a uma

intuição genial ou a mero acaso, pois os textos incompletos que chegaram aos nossos dias não permitem qualquer decisão.

De qualquer forma, em virtude da mentalidade que prevalecia entre os físicos gregos, que geralmente tinham prazer em discussões filosóficas sem fim, excluiu-se completamente a hipótese de que tenham chegado àquele resultado por meio dum raciocínio lógico baseado em dados experimentais concludentes. Tais experiências foram efectuadas apenas muitos séculos depois, quando o verdadeiro método científico estava suficientemente bem estabelecido. Antes o assunto não podia ser convenientemente tratado.

Os factos experimentais de base foram observados nos primeiros anos do século dezoito. Um certo número de leis, estabelecidas empiricamente, foram deduzidas. Estas leis (associadas aos nomes de Lavoisier, Proust, Dalton, Boyle⁽¹⁾, Gay-Lussac) são expressas por forma a convidarem a uma síntese. Em breve se compreendeu que a sua explicação era simples desde que se considerasse a matéria formada por moléculas, e estas por átomos semelhantes ou diferentes, de acordo com o carácter simples ou composto da substância química considerada.

Em 1811, Avogadro formulou a primeira lei importante da física corpuscular: «Sob as mesmas condições de pressão e temperatura, volumes iguais de gás contêm o mesmo número de moléculas». Foi o início da teoria cinética dos gases, a que os nomes de Maxwell e Boltzmann estão intimamente ligados. Considerando as moléculas como pequenas esferas elásticas com velocidades distribuídas ao acaso, colidindo umas com as outras e com as paredes do recipiente que as contém, é possível demonstrar todas as propriedades mecânicas dos gases.

A teoria atômica dá também uma explicação qualitativa das leis da Química e permite o estabelecimento dum simbolismo simples mas frutuoso. Dum ponto de vista

quantitativo, o progresso foi muito mais limitado, pois a natureza das forças que uniam os átomos dentro da mesma molécula era desconhecida. Só cem anos mais tarde, e com a ajuda da mecânica quântica, o problema pode ser resolvido.

Em 1887, Arrhenius utilizando a lei de Avogadro juntamente com a de Faraday, concluiu que a electricidade, tal como a matéria, devia ter uma estrutura corpuscular. O seu argumento é aproximadamente o seguinte: «Faraday afirma que o equivalente-grama da prata, por exemplo, se deposita no ânodo quando através da solução passa uma carga eléctrica de 96 400 coulombs. De acordo com Avogadro, este equivalente-grama é composto de $6,02 \times 10^{23}$ átomos. Assim, cada átomo possui uma carga eléctrica de $1,60 \times 10^{-19}$ coulombs».

Como o argumento apresentado é válido para qualquer espécie química, pode concluir-se que a Física Corpuscular apenas obriga à existência de cargas eléctricas iguais ao valor citado, ou a um múltiplo desse valor.

O valor da carga eléctrica elementar foi directamente confirmado por Millikan em 1909, usando a bem conhecida técnica da gota de óleo.

Entretanto, observaram-se novos factos que conduziram à descoberta do electrão. Com efeito, o estudo dos raios catódicos mostrou que a electricidade negativa consistia em partículas muitas vezes mais leves do que os átomos (tendo cada partícula uma carga eléctrica de valor igual ao indicado acima). Vários métodos (deflexão por um campo eléctrico, deflexão por um campo magnético, aquecimento provocado pelos choques no anticátodo) permitem-nos calcular, quer a razão carga-massa, quer directamente a massa. Esta última tem um valor cerca de 1840 menor do que a do átomo de hidrogénio.

Donde vêm estes electrões? Da matéria, evidentemente. Assim, o átomo, ou partícula de matéria, contém electrões; e não mais

(1) Mais antigo, mas deve logicamente ser citado aqui.

pode ser considerado como indivisível, ao contrário do que se depreende da sua etimologia.

Contudo, como o átomo é, pelo menos no seu estado normal, electricamente neutro, permanecia a questão: onde está a electricidade positiva que deve compensar as cargas electrónicas? Está distribuída numa nuvem central difusa como J. J. Thomson postulou? «Não», disse Rutherford em 1911, «está concentrada na forma dum núcleo central muito pequeno, que além dela possui quase toda a massa do átomo. Esta conclusão baseia-se em experiências concludentes, de Geiger e Marsden, sobre a difusão de partículas alfa do rádio por folhas metálicas finas». Rutherford descreveu o primeiro modelo planetário do átomo. No centro está um núcleo pesado com uma carga eléctrica $+Ze$; à volta dele, Z electrões cada um com a carga $-e$. O número Z caracteriza a natureza química do elemento e é exactamente igual ao número de ordem do mesmo elemento no quadro periódico de Mendeleev. A fig. 1 mostra

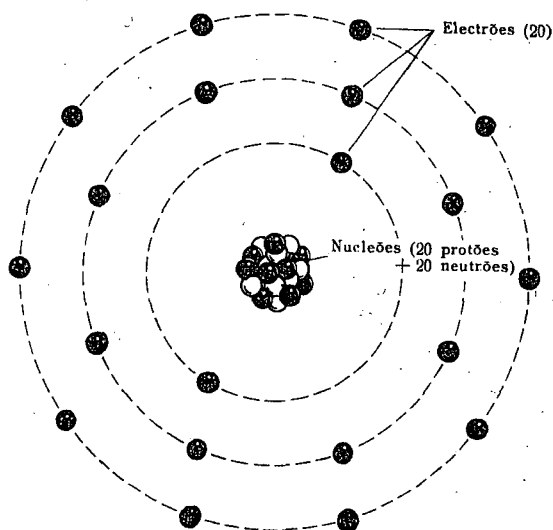


Fig. 1 — O mais bem conhecido dos modelos atómicos: no centro, o núcleo obedecendo à teoria proto-neutrónica de Heisenberg (v. texto); fora, os electrões obedecendo ao modelo de Bohr (id.). Um tal modelo é susceptível de interpretar grande número de factos, mas se se entra nos detalhes aparecem dificuldades intransponíveis.

uma versão ligeiramente modernizada deste modelo planetário.

Mas uma outra questão se pôs: são os núcleos partículas simples ou complexas? «Complexas», respondeu Rutherford na mesma ocasião, «pois que a radioactividade, descoberta por Becquerel, frequentemente nos mostra núcleos que se desintegram espontaneamente em dois novos núcleos».

Em 1898, Becquerel estudava a fluorescência dos sais de urânio quando descobriu

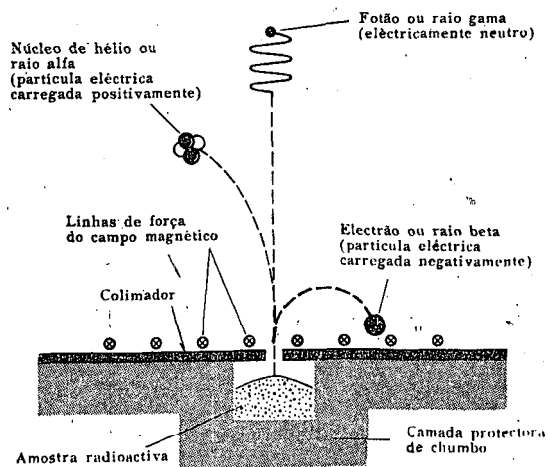


Fig. 2 — Os três tipos de radiações do rádio: o rádio, ou seus descendentes radioactivos, emitem três espécies bem definidas de radiações (Rutherford, 1902) separáveis entre si por um campo magnético. A emissão alfa é uma interacção «forte»; a emissão beta uma interacção «fraca»; e a emissão gama, uma interacção electromagnética (V. texto).

que estes emitiam radiações duma natureza desconhecida. Mais tarde Rutherford deu uma explicação parcial do facto, e distinguiu três espécies de radiações:

- (a) Raios alfa, constituídos por partículas positivas, mais tarde identificadas com núcleos de hélio;
- (b) Raios beta, constituídos por electrões rápidos;
- (c) Raios gama, semelhantes à luz ordinária, mas com um comprimento de onda muito mais pequeno.

Mais tarde Pierre e Marie Curie descobriram novos elementos muito mais activos do que o urânio; foi o começo duma classificação em três famílias radioactivas. Ao mesmo tempo compreendeu-se que a emissão duma partícula alfa ou beta corresponde a uma mudança nas propriedades químicas do elemento (leis de Soddy), isto é, no número Z . Os núcleos são assim susceptíveis de se transformarem noutros; é aconselhável admitir-se que eles são formados por um certo número de partículas elementares.

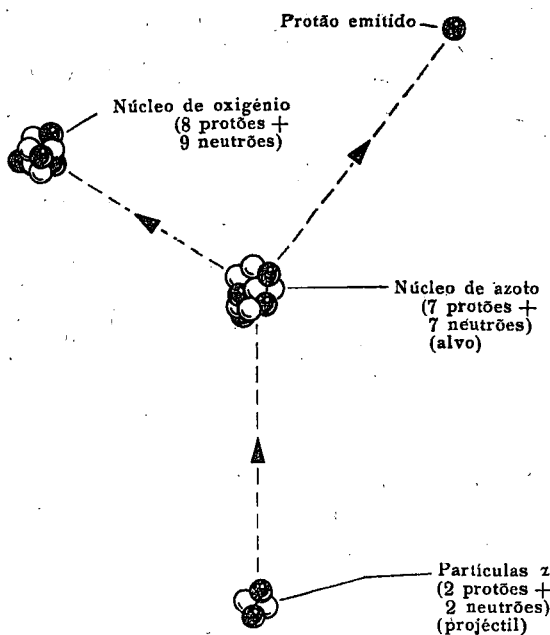


Fig. 3 — A primeira transmutação nuclear (Rutherford, 1919), representada aqui na interpretação da teoria proto-neutrónica de Heisenberg (1930).

Em 1919, Rutherford confirmou directamente esta ideia realizando a primeira transmutação artificial. Observou-se que um núcleo de azoto bombardeado por uma partícula alfa se desintegrava num núcleo de oxigênio e noutro de hidrogênio. Este, o mais leve de todos os núcleos, é considerado como elementar e designado por «protão». Como resultado de experiências semelhantes efectuadas com outros elementos, foi considerado como um componente básico na estrutura de todos os núcleos.

Para se explicar a radioactividade beta admitia-se (erradamente, como se verá adiante) a existência de electrões nucleares. Como a massa dos electrões é desprezável, qualquer massa nuclear deve ser um múltiplo inteiro da massa do protão. Assim parecia ser desde que os trabalhos de Soddy sobre elementos radioactivos e de Thomson e Aston sobre elementos não-radioactivos conduziram à introdução da noção de isotopia: por exemplo, mostrou-se que o cloro de massa atómica 35,5 era uma mistura de dois isótopos, cloro 35 e cloro 37, em certa proporção. Ambos são idênticos do ponto de vista químico, mas têm densidades diferentes.

A partícula alfa, cuja massa é quatro vezes, e a carga duas vezes, maior do que a do protão, considerava-se formada por quatro prótons e dois electrões.

Esta estrutura electro-protónica da matéria foi aceite, com maior ou menor confiança, até cerca de 1930. Nessa altura considerou-se inadequada para explicar um certo número de factos novos, e foi substituída pela estrutura proto-neutrónica de Heisenberg (fig. 1).

Em 1932, ao realizarem experiências sobre a transmutação artificial (mais ou menos semelhantes às de Rutherford), Bothe e Becker descobriram uma nova espécie de radiação muito penetrante; depois de importantes experiências de Joliot-Curie, o fisico inglês Chadwick concluiu que esta radiação era formada por partículas muito semelhantes aos prótons, mas sem carga eléctrica. Estas partículas receberam o nome de «neutrões».

A descoberta do neutrão, intuitivamente pressentida por Rutherford, foi como que um presente inesperado para se removerem as dificuldades da teoria electro-protónica. Assim a hipótese de Heisenberg de que os núcleos eram formados apenas por prótons e neutrões foi aceite imediatamente, com muito pouca dificuldade.

Electrões, prótons e neutrões são os

constituintes normais da matéria; os outros corpúsculos, que mais adiante descreveremos, aparecem apenas durante curtos instantes, e são incapazes de modificar duma forma significativa a representação actual do átomo.

Ao mesmo tempo que a estrutura corpuscular da matéria se tornava cada vez mais evidente, encontravam-se provas aparentemente convincentes de que a luz tinha a estrutura dum movimento ondulatório.

Recordemos, em primeiro lugar e duma forma breve, que a hipótese do movimento ondulatório não foi aceite imediatamente. De princípio, a propagação rectilínea da luz parecia derivar duma estrutura corpuscular.

Newton defendeu enèrgicamente a teoria corpuscular; o seu único antagonista importante foi Huyghens, defensor da teoria ondulatória, mas incapaz de fazer aceitar tais ideias pelos físicos do seu tempo.

Experiências seguintes de Newton, Young e Fresnel, permitiram a este último acumular argumentos convincentes a favor da teoria ondulatória.

O génio de Maxwell conseguiu então a síntese fundamental de todos os fenómenos electromagnéticos, simbolizada na forma de quatro equações com derivadas parciais. De acordo com estas equações pode mostrar-se que todos os parâmetros electromagnéticos fundamentais obedecem, no vácuo, à equação de D'Alembert:

$$\nabla^2 U - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = 0.$$

A análise matemática mostra que qualquer grandeza que satisfaça esta equação se pode propagar na forma de uma onda com a velocidade c ; as equações de Maxwell estabelecem a estrutura dos campos que formam a onda.

Maxwell conseguiu mostrar que a velocidade destas ondas electromagnéticas é a mesma que a da luz ordinária; e não hesitou em afirmar que a luz é apenas um caso particular dessas ondas.

É bem conhecido que as ideias de Maxwell foram depois brilhantemente confirmadas. Não só Hertz produziu, usando campos eléctricos e magnéticos convenientes, ondas como as que Maxwell tinha previsto, mas também Lorentz mostrou que o átomo, com os seus electrões em movimento, é equivalente a um pequeno emissor ou receptor, e conseguiu deduzir algumas das propriedades dos espectros ópticos.

Conseguiram deduzir-se apenas algumas, pois apareceu um estranho dilema. Quando Rayleigh e Jeans tentaram aplicar os métodos de Lorentz ao cálculo da radiação do corpo negro foram conduzidos a uma equação absurda, impossível! Contudo, na teoria não se encontrou erro algum.

Para poder reconciliar a teoria com a experiência, Planck foi obrigado a admitir que a emissão duma onda electromagnética de frequência ν apenas se podia fazer na forma de grupos de onda ou quanta de energia $h\nu$, sendo h uma constante universal que recebeu a designação de «constante de Planck». Um tal resultado é incompatível com a teoria ondulatória.

Einstein, o pai da relatividade, realçou ainda o dilema mostrando que não apenas a emissão, mas também a absorpção e outros fenómenos mostram a mesma estranha descontinuidade. E não hesitou em ressuscitar, numa forma algo diferente, a velha teoria de Newton, afirmando que a luz é feita de corpúsculos (agora chamados fotões), tendo cada um deles uma energia $h\nu$ e um momento

$$\frac{h\nu}{c} \text{ ou } \frac{h}{\lambda}$$

A teoria fotónica explica um conjunto de fenómenos que não podiam ser compreendidos com a teoria de Maxwell-Lorentz. Mencionamos aqui o efeito foto-eléctrico, que consiste no arrancar de electrões por choque dos fotões na matéria, o efeito Compton (fig. 4) ou choque elástico dum fotão com um electrão, acompanhado por uma transferência de energia (isto é, uma redução da

frequência!) e, finalmente, o efeito Raman que é um pouco mais complicado.

A seguir, primeiro Bohr, depois Sommerfeld e Uhlenbeck e Goudsmit modificaram a teoria electromagnética do átomo à luz das novas ideias e foram capazes de explicar um

que

$$\lambda = h/mv.$$

A hipótese de Luís de Broglie permite-nos reconciliar os aspectos ondulatório e corpuscular da luz. Se é aplicada ao movimento dos electrões dentro do átomo, permite-nos demonstrar a teoria de Bohr duma maneira muito elegante. Apesar de tudo, é provável que a hipótese de Broglie apenas tivesse encontrado cepticismo se não fosse uma experiência simples, de Davisson e Germer, que demonstrou que os electrões, tal como os fotões, estão sujeitos aos fenómenos de difracção. Foi assim necessário admitir que também os electrões tinham um carácter ondulatório.

A mecânica ondulatória foi desenvolvida por Schrödinger que usou alguns resultados dum trabalho paralelo devido a Heisenberg; voltaremos a este ponto mais adiante, pois agora estamos tratando de partes da ciência que parecem estar mais ou menos em forma definitiva.

Durante algum tempo a Física Teórica esteve adiantada relativamente à Física Experimental. Em 1929, Dirac deduziu a teoria relativística do electrão; com ela conseguiu interpretar correctamente todos os factos importantes relacionados com esta partícula. As suas equações levavam, porém, à conclusão de que existia uma outra partícula, idêntica em tudo ao electrão, salvo que a sua carga era positiva em vez de negativa. Depois de ser recebida com algum cepticismo, esta previsão foi experimentalmente confirmada pela descoberta do positrão nos raios cósmicos, devida a Anderson em 1932.

Em 1935 apareceu uma situação semelhante. Com o fim de explicar a origem das forças nucleares o fisico japonês Yukawa postulou a existência duma partícula hipotética, chamada mesão porque a sua massa é intermédia entre a do electrão e a do protão.

Nos anos que se seguiram vários autores afirmaram a existência, ainda nos raios cósmicos, duma partícula agora chamada mesão μ ,

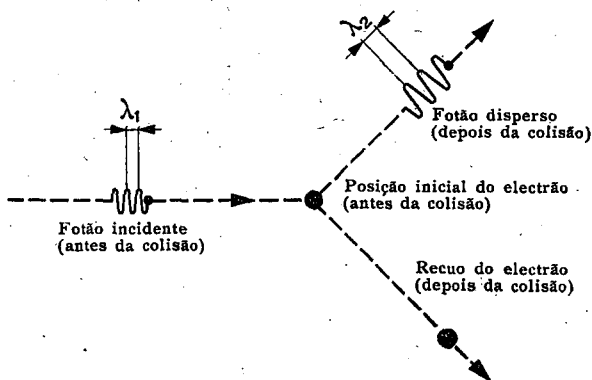


Fig. 4 — Efeito Compton: o comprimento de onda associado a um fóton muda se este sofre uma colisão; é uma das provas da teoria corpuscular da luz

grande número de factos, até então inexplicados, que se observaram na análise empírica dos espectros ópticos.

Apesar de tudo, a situação não era de per si muito satisfatória. Em primeiro lugar, os fotões estavam associados com uma frequência ν sem que se tivesse uma ideia precisa do modo de associação. Além disso, uma teoria da luz puramente corpuscular dificilmente explicava a refracção e conduzia a problemas insolúveis no que respeita à difusão e interferência.

Foi então que Luís de Broglie resolveu o dilema estabelecendo a base da mecânica ondulatória. Broglie formulou o célebre princípio de associação dos aspectos ondulatório e corpuscular:

«Qualquer onda com um comprimento de onda λ é acompanhada de corpúsculos de momento

$$mv = h/\lambda$$

e, inversamente, qualquer corpúsculo de momento mv é guiado por uma onda tal

tendo algumas das propriedades que devia ter a partícula da teoria de Yukawa. Contudo permaneciam algumas diferenças, pois que certas propriedades eram radicalmente diferentes.

Apesar de tudo lançou-se um aviso aos físicos teóricos, mais ou menos inclinados a acreditar que a teoria ia definitivamente avançada em relação à experiência; de facto, ninguém podia ver exactamente que posição

Fig. 5

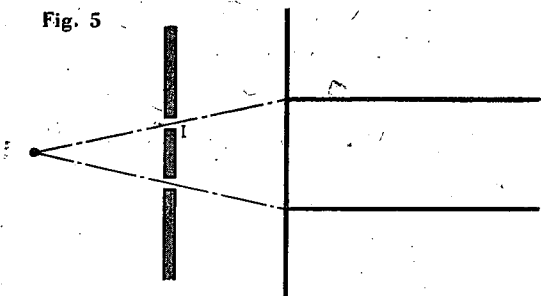


Fig. 6

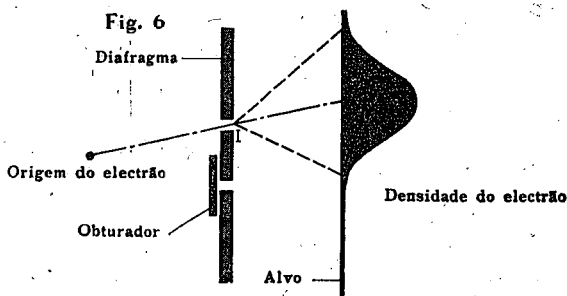


Fig. 7

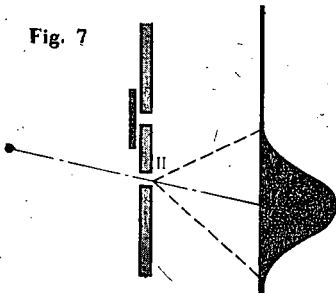


Fig. 8

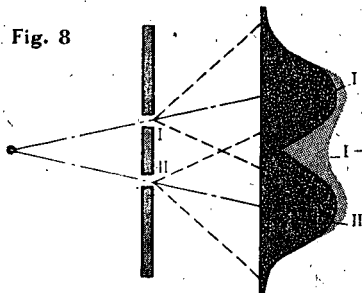


Fig. 9

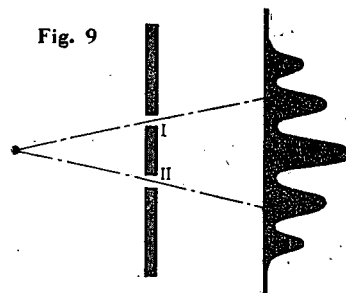


Fig. 5, 6, 7, 8 e 9 — Consequências do aspecto ondulatório do electrão: Consideremos uma fonte de electrões e um alvo com duas aberturas. A fig. 5 mostra o que aconteceria se o electrão fosse estritamente corpuscular e não houvesse qualquer interacção com os bordos das aberturas: uma mancha quase pontual no alinhamento da fonte e do orifício. A fig. 6 mostra o que acontece realmente com uma só abertura: devido a várias espécies de interacções a mancha é maior, e tanto maior quanto menor a abertura. Na fig. 7 representa-se o que acontece com a outra abertura, tapando-se a primeira. Lógicamente podia esperar-se, com as duas aberturas destapadas, uma distribuição correspondente à sobreposição das duas primeiras, como se representa na fig. 8. Na realidade aparecem franjas de interferência (fig. 9), e assim se demonstra irrefutavelmente o aspecto ondulatório do electrão. Quando o electrão passa através duma das aberturas comporta-se como se, por um processo qualquer, «tivesse conhecimento» do que acontece com a outra abertura, isto é, se está tapada ou destapada.

Na prática, a experiência não se realiza exactamente como aqui descrevemos pelo facto de o comprimento de onda associado ao electrão ser muito pequeno; mas (Davisson e Germer, 1924) utilizando um cristal, faz-se uma outra experiência que é estritamente equivalente a esta.

Mais recentemente, a natureza ondulatória do protão e do neutrão foi também provada experimentalmente duma maneira irrefutável.

Finalmente, em 1947, Powell e Occhialini demonstraram experimentalmente a existência duma outra partícula nos raios cósmicos, que se designa actualmente por mesão π , e que em breve se verificou ser idêntica em todos os aspectos à partícula hipotética de Yukawa.

ocupava o mesão π no quadro dos corpúsculos e, ainda hoje, este é um dos maiores mistérios da Física Corpuscular, como adiante se discutirá.

Com o fim de explicarem a radioactividade beta, os físicos teóricos postularam que

o mesão π é instável e que decai espontaneamente, depois de uma vida média da ordem de um microsegundo, num electrão (positivo ou negativo, de acordo com o sinal da carga do mesão π) e numa outra partícula elementar hipotética, chamada neutrino, cuja existência provável foi prevista por Pauli, antes da teoria de Yukawa.

Na realidade, o mesão π decai geralmente num mesão μ e num neutrino; foi necessário esperar até 1958 para que se provasse experimentalmente, dum maneira concreta, que uma vez em aproximadamente cada vinte mil, a desintegração se realiza da maneira prevista.

O próprio neutrino foi detectado experimentalmente em 1956 por um grupo de físicos de Los Alamos, usando um dispositivo experimental sem precedentes na história da Física. A dificuldade da detecção do neutrino é devida ao facto de que a sua massa própria, carga eléctrica e momento magnético são nulos; contudo a energia cinética e momento angular (relativistas) são diferentes de zero.

Há alguns anos, dois discípulos de Luís de Broglie, Gérard Petiau e Marie-Antoinette Tonnelat, mostraram que as propriedades dum corpúsculo chamado gravitão pareciam ser susceptíveis de explicar a gravitação newtoniana. Porém, o gravitão não foi até agora detectado experimentalmente, e não é geralmente admitido nas listas de partículas elementares.

Já em 1944 alguns físicos observaram, primeiro nos raios cósmicos e mais tarde no feixe de aceleradores gigantes, novas partículas não incluídas no quadro existente; desta forma a anomalia do mesão μ estava a reaparecer, e novas partículas «elementares» iam sendo descobertas, sem qualquer razão teórica evidente, e aumentando a lista que muitos já consideravam excessivamente longa. Estas novas partículas, designadas colectivamente por «partículas estranhas», designação que se justifica a si mesmo por mais do que

uma razão, têm massas geralmente compreendidas entre as do mesão μ e a do protão, mas nalguns casos maior do que a do protão. As primeiras são chamadas mesões k ; as segundas, hiperões.

Embora o papel exacto que estas partículas têm na interpretação da estrutura nuclear não seja ainda compreendido dum maneira clara, devemos a Gell-Mann um esquema semi-empírico genérico suficientemente preciso para que tenham sido possíveis algumas previsões confirmadas a seguir pela experiência. Presentemente este esquema é apenas qualitativo e tem que ser bastante melhorado para dar uma explicação verdadeiramente quantitativa. Voltaremos a este assunto mais adiante.

Com o fim de se explicar correctamente as propriedades das partículas estranhas, tornou-se necessário corrigir algumas leis que anteriormente se consideravam como evidentes. O exemplo mais conhecido é o da «lei da paridade», que pode ser expressa (dum maneira aproximada) em linguagem não técnica como segue:

«Se A é um fenómeno permitido pelas leis da Física, a reflexão de A num espelho plano é também um fenómeno permitido por aquelas leis».

Mais tarde examinaremos em que condições esta lei deixa de ser verdadeira.

No meio destas dificuldades, temos a satisfação de ver que a teoria de Dirac, de acordo com a qual a cada partícula corresponde uma antipartícula, idênticas em tudo excepto no sinal da carga eléctrica, continua verdadeira. O antimesão μ , o antimesão π , o antimesão K , o antiprotão, o antineutrão, e três tipos definidos de antihiperões foram sucessivamente descobertos.

Embora continuem a faltar provas experimentais concretas da existência de alguns antihiperões, considera-se já como certa essa existência. Contudo a simetria entre a electricidade positiva e negativa não é absoluta; parece finalmente que, na sua forma verdadeira, a lei da paridade deve ser combinada

com a «lei da inversão da carga eléctrica» da maneira seguinte:

«Se A é um fenómeno permitido pelas leis da Física, a sua reflexão num espelho é também um fenómeno permitido desde que a electricidade positiva seja substituída por electricidade negativa, e vice-versa».

* * *

É agora evidente como foi considerável o interesse e «suspense» na história da Física Corpuscular. Até cerca de 1925 foi essencialmente baseada na Física Experimental; caminhávamos para um melhor conhecimento das propriedades da matéria e da radiação.

De 1925 a 1950, a mecânica ondulatória caminhou de sucesso em sucesso e esteve frequentemente avançada em relação à confirmação experimental. Naquele momento parecia que bem poucos problemas básicos aguardavam solução. Uma representação relativamente simples tinha sido obtida das partículas e das suas interacções. Contudo, a descoberta do mesão μ , e depois a do mesão K , desconcertaram os físicos. Logo a seguir, a Física Corpuscular entrou em crise

aguda devido ao aumento, aparentemente sem fim, do número de partículas estranhas. Em 1953, a crise estava no auge; tornou-se necessário, ou admitir a existência de várias espécies de partículas estranhas diferindo ligeiramente umas das outras, ou desprezar leis aparentemente evidentes; durante os anos seguintes, a experiência decidia a favor da segunda hipótese, e a crise foi transferida para os fundamentos da Física Teórica.

Esta situação é semelhante à que ocorreu no campo da Química quando a lista dos elementos, antes considerada como bastante limitada, se foi tornando cada vez maior. A sistemática de Gell-Mann tem um papel comparável ao do quadro periódico de Mendeleev, e bem pode, como aconteceu ao último, ser um passo decisivo para a solução final ajudando a descobrir, sob a multiplicidade das partículas «elementares», uma ou várias unidades básicas que corresponderiam, neste campo, ao próton, electrão e neutrão no campo da Física Atómica.

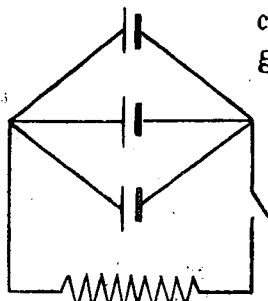
E talvez que mais tarde a história se volte a repetir.

(Continua)

PONTOS DE EXAME

Ensino liceal — Ano de 1962 — Exame do 3.º ciclo
— Prova escrita de Ciências Físico-Químicas
— 1.ª chamada.

475 — Física — I — 1. Observe atentamente as condições a que obedece o circuito eléctrico representado, esquematicamente, na figura 1.



$$R_e = 4 \Omega$$

Fig. 1

Características
comuns aos
geradores:

$$e = 1,5V$$

$$r_i = 6 \Omega$$

a) Deduza a expressão que lhe permite obter a intensidade da corrente fornecida pela associação representada.

b) Calcule o valor numérico da referida intensidade.

R: A expressão da intensidade da corrente, no caso considerado, é $I = \frac{ne}{r_i + R_e}$.

Como $n = 3$; $e = 1,5V$; $r_i = 6\Omega$; $R_e = 4\Omega$, vem $I = 0,25A$.

c) Em que condições, relativamente aos valores das resistências em presença, há vantagem em usar este modo de associação?

476 — I — 2. a) Indique algumas vantagens dos acumuladores sobre os elementos de pilha.

b) Calcule a potência absorvida pela resistência R_e , expressa em unidades do sistema M. K. S.

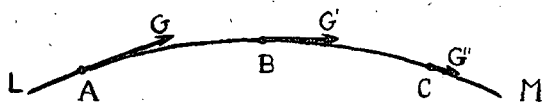
Se não tiver podido calcular um dos números neces-

sários para a resolução desta alínea, tome um valor qualquer à sua escolha, indicando-o expressamente, e determine com ela a potência pedida.

R: A potência pedida é dada por $P = I^2 \cdot R_e = 0,25^2 \cdot 4 = 0,25 \text{ W}$.

Também pode ser calculada pela expressão $P = VI$, em que V é a diferença de potencial entre os terminais de R_e , dada por $V = e - IR$, em que R é a resistência dos 3 elementos em paralelo. Será $V = 1,5 - 0,25 \cdot \frac{6}{3} = 1 \text{ V}$. Logo $P = VI = 1 \cdot 0,25 = 0,25 \text{ W}$.

477 - II - 1. Os vectores \vec{G} , \vec{G}' e \vec{G}'' (fig. 2) representam as intensidades de um campo newtoniano, nos pontos A , B e C , respectivamente.



a) Nas condições da figura 2, que designação se dá à linha LM ?

b) Defina «intensidade do campo gravítico num ponto», e diga em que unidades se exprime, nos sistemas C. G. S. e M. K. S.

c) Justifique a seguinte afirmação: «A aceleração da gravidade num dado lugar é expressa, em qualquer sistema de unidades, pelo mesmo número que a intensidade do campo gravítico nesse lugar».

478 - II - 2. a) Defina pêndulo e caracterize o movimento pendular.

O comprimento de certo pêndulo é, numericamente, igual à aceleração da gravidade no local onde oscila.

b) Qual é o período da oscilação simples do pêndulo?

c) Se o valor de g for 980 cm/s^2 , o comprimento do pêndulo que efectua uma oscilação simples em 1 s será superior ou inferior a 1 m?

Faça $\pi = 3,14$ e $\pi^2 = 9,86$.

Justifique as respostas a b) e c).

R: b) Sendo $\sigma = \pi \sqrt{\frac{c}{g}}$ vem $\sigma = \pi$ para $c = g$. Portanto $\sigma = 3,14 \text{ s}$.

c) Da expressão anterior tira-se que $c = \frac{\sigma^2 g}{\pi^2}$ que, para $\sigma = 1$; $g = 980 \text{ cm/s}^2$ e $\pi^2 = 9,86$, dá $c = \frac{980}{9,86} \text{ cm}$ que é inferior a 100 cm e, portanto, a 1 metro.

479 - III. A propósito de TERMODINÂMICA, refira-se sucintamente às matérias que constam das alíneas seguintes:

a) Transformações simples e cíclicas.

b) Rendimento teórico de uma máquina térmica; expressões que o definem e significado das letras que nelas figuram.

c) Definição de «equivalente mecânico da caloria» e unidades em que se exprime correntemente.

480 - Química - I - 1. Um composto orgânico ternário A contém 18,18% de oxigénio e 13,64% de hidrogénio. É vaporizável sem decomposição e a densidade do seu vapor, em relação ao ar, é igual a 3.

a) Determine a fórmula empírica do composto.

b) Verifique se a fórmula empírica é também molecular e escreva esta.

($C = 12$; $O = 16$, $H = 1$).

Deve apresentar todos os cálculos feitos para responder a a) e b).

Dizimas expressas sob a forma fraccionária:

$0,333 = 1/3$; $1,667 = 5/3$; $0,143 = 1/7$; $0,428 = 3/7$;
 $0,714 = 5/7$; $0,083 = 1/12$; $0,417 = 5/12$.

R: a) A percentagem de carbono no composto e dada por $100 - (18,18 + 13,64) = 68,18$.

A fórmula empírica será:

$$\frac{68,18}{12} C + 13,64 H + \frac{18,18}{16} O$$

$$\text{ou } \frac{68,18}{12 \times 13,64} C + H + \frac{18,18}{16 \times 13,64} O$$

$$\text{ou } 0,417 C + H + 0,083 O$$

$$\text{ou } \frac{5}{12} C + H + \frac{1}{12} O$$

$$\text{ou } C_5 H_{12} O$$

b) O valor aproximado do peso molecular é dado por $P_m = 29 \cdot d = 29 \cdot 3 = 87$. Como a fórmula $C_5 H_{12} O$ corresponde ao número proporcional 88, essa fórmula será molecular.

481 - I - 2. O composto A em questão é caracterizado pelas seguintes propriedades químicas:

reage com os metais alcalinos com libertação de hidrogénio; origina, por desidratação, um hidrocarboneto etilénico.

a) Indique a função química desempenhada por A .

b) Represente a fórmula de estrutura de um isómero de A que apresente um átomo de carbono terciário, e indique o nome desse isómero, de acordo com a nomenclatura de Genebra.

Se lhe não foi possível determinar a fórmula pedida em 1-b), escreva a de qualquer composto que esteja nas condições de A , para poder responder a 2-b).

482 — II — 1. a) Interprete iónicamente a reacção que se passa quando se juntam soluções dos seguintes sais: brometo de cálcio e nitrato de prata.

b) Enuncie a lei de Berthollet correspondente à reacção a que se refere a).

2. Se o grau de dissociação da solução de nitrato de prata for 85%, quantas moléculas ficam por dissociar dum conjunto de 500? E quantas partículas independentes resultam destas 500 moléculas?

Indique os cálculos que fizer.

R: Se o grau de dissociação da solução é 85%, de cada 100 moléculas ficarão 15 por dissociar. De 500 ficarão 75. As restantes 425 dissociaram-se fornecendo, cada uma, 2 iões (NO_3^- e Ag^+). O número total de

partículas independentes será 75 moléculas + 2×425 iões = 925.

483 — III. a) Represente o esquema do átomo ${}_{13}^{27}\text{Al}$.

b) Que regras seguiu, ao figurar a distribuição dos electrões?

c) Que pormenor da distribuição electrónica indica, neste caso, o número do grupo do quadro de Mendeleieff a que pertence o alumínio, e qual é esse grupo?

d) Considere os símbolos ${}_{17}^{34}\text{Cl}$ e ${}_{17}^{38}\text{Cl}$.

Que nome se dá, e porquê, às espécies de átomos que representam?

Resoluções de Rómulo de Carvalho

Noticiário

Instituto de Alta Cultura

Seminário de teorias Físicas e Física Nuclear

PROGRAMA PARA 1962-63

Correlações angulares e Níveis nucleares (13-14 de Novembro) por F. Bragança Gil.

Problemas de Estructura nuclear (4-5 de Dezembro) por J. Moreira de Araújo.

Problemas de Teoria da Relatividade (18-19 de Dezembro) por Manuel dos Reis.

Problemas de Terminologia científica (15 de Janeiro) por Rómulo de Carvalho, F. Bragança Gil e A. Sales Luiz.

Acção das radiações sobre os sólidos (29-30 de Janeiro) por J. de Almeida Santos.

Foto-efeitos em Semi-condutores (12-13 de Fevereiro) por A. Pires de Carvalho.

Chimie-Physique des rayonnements (fins de Fevereiro) por Michel Magat.

Reacções nucleares a baixa energia. Pro-

priedades das Forças nucleares (5-6 de Março) por J. Veiga Simão.

Interação da água com os meios porosos (19-20 de Março) por Fernando Soeiro.

Alguns aspectos da desintegração do ${}_{90}^{229}\text{Th}$ (2-3 de Abril) por Lúcia Salgueiro.

Origine des couplages magnétiques dans les métaux. Interactions entre défauts ponctuels et dislocations. Durcissement de trempe et d'irradiation (fins de Abril) por J. Friedel.

Leis de simetria e Partículas elementares (7-8 de Maio) por António da Silveira.

Doutoramento

Em Agosto de 1962 doutorou-se na Universidade de Cambridge o licenciado em Ciências Físico-Químicas pela Faculdade de Ciências de Lisboa, José Avelino Pais Lima de Faria. O Doutor Lima de Faria apresentou, como tese de doutoramento, um trabalho realizado no Departamento de Mineralogia e Petrologia daquela Universidade e intitulado «Transformações de fase em minerais».

*Os fabricantes dos equipamentos laboratoriais mais divulgados
no mundo científico,*

«E K C O» Electronics, Ltd.

e

«DYNATRON» Radio, Ltd.

*têm certamente nas suas gamas de fabrico todos os dispositivos
de que necessita para os estudos do seu Laboratório.*

Representantes exclusivos:

Soc. Com.

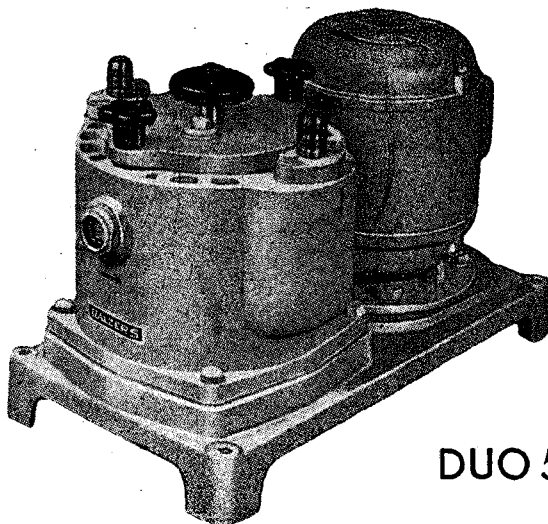
CROCKER, DELAFORCE & C.^a L.^{da}

Séde: Rua D. João V, 2-2.^o Oficinas: Rua D. João V, 29-C
Telefone 68 01 41/4

BALZERS

A BOMBA DE VÁCUO MAIS
APROPRIADA A TRABALHOS
DE CONTAMINAÇÃO

DESMONTAGEM, LIMPEZA
E MONTAGEM EM 30 MINU-
TOS SEM FERRAMENTAS



DUO 5

DOIS ANDARES
VÁCUO MÁXIMO: 8×10^{-3} mm Hg

REPRESENTANTES EXCLUSIVOS:

EQUIPAMENTOS DE LABORATÓRIO, L.^{DA}
RUA PEDRO NUNES, 47 — TELEF. 73 84 36 — LISBOA

HILGER WATTS LTD.

APARELHOS PARA ANÁLISE ESPECTRAL

POLARÍMETROS — REFRACTÓMETROS
ESPECTROFOTÓMETROS — ESPECTRÓGRAFOS
DIFRACTÓMETROS DE RAIOS X
BIBLIOGRAFIA TÉCNICA

EDWARD'S HIGH VACUUM LTD.

TUDO PARA VÁCUO

BOMBAS E APARELHAGEM DIVERSA, UTILIZANDO
O VÁCUO
APARELHAGEM DE METALIZAÇÃO POR
VÁCUO-LIOFILISADORES

BAIRD TAFLOCK LTD.

MATERIAL E APARELHAGEM DE LABORATÓRIOS
PARA INVESTIGAÇÃO E INDÚSTRIA

ET.S BETTENDORF S. A.

MATERIAL PARA LABORATÓRIOS PSICOTÉCNICOS
E PSICOLOGIA APLICADA

ASSISTÊNCIA GARANTIDA POR TÉCNICOS ESPECIALIZADOS

REPRESENTANTES

C. SANTOS, LDA.

SECÇÃO INDUSTRIAL

AV. DA LIBERDADE, 35-1.º

L I S B O A