

O MODELO ATÓMICO DE BOHR E A SUA RECEPÇÃO EM PORTUGAL

Augusto Correia Cardoso¹, Carlos Fiolhais², Sebastião J. Formosinho^{1*}

¹ Departamento de Química, Universidade de Coimbra

² Departamento de Física e Centro de Física Computacional, Universidade de Coimbra
sformosinho@qui.uc.pt

Em 1913 Niels Bohr publicava o seu primeiro artigo sobre o modelo atómico. Após um resumo do quadro histórico em que aparece o modelo de Bohr, criado no contexto da teoria quântica de Planck e Einstein, dá-se notícia da sua recepção em Portugal até aos finais da década de 40, quando as dificuldades iniciais da teoria quântica já tinham sido resolvidas, a ponto de se começar a entender a natureza da ligação química. A recepção inicial do modelo atómico de Bohr em Portugal deu-se antes de 1920 graças a um “estrangeirado” italiano Giovanni Costanzo, professor do Instituto Superior Técnico, uma escola então muito recente. Nos começos dos anos 20, o modelo de Bohr passou a ser ensinado nessa escola pelo professor de Matemática Aureliano de Mira Fernandes, na disciplina de Mecânica Racional. Nas Universidades de Coimbra, Porto e Lisboa o modelo de Bohr também foi fazendo a sua aparição, mas nelas a novidade científica do modelo de Bohr restringiu-se a acções de divulgação e seminários, ao contrário do Técnico, onde essa novidade foi mais cedo incorporada no ensino.

1. INTRODUÇÃO

O início do século XX ficou marcado nas Ciências Físico-Químicas pela formulação de duas teorias que abalaram a visão clássica: a teoria da relatividade e a teoria quântica. A primeira data de 1905 e deve-se essencialmente ao físico suíço e norte-americano de origem alemã Albert Einstein (1879-1955). A segunda data de 1900, com a descrição da radiação do corpo negro pelo físico alemão Max Planck (1858-1947), prosseguiu em 1905 com a interpretação do efeito fotoeléctrico por Einstein e continuou em 1913 com o modelo atómico do físico dinamarquês Niels Bohr (1885-1962), que conjugava as ideias de Planck e Einstein com o modelo atómico do britânico Ernest Rutherford (1871-1937), assente na existência do núcleo atómico (Rutherford, para sua admiração, pois se considerava físico, foi Prémio Nobel da Química em 1908).

Esta teoria quântica, dita “antiga”, ampliada pelo dualismo onda-corpúsculo do francês Louis de Broglie (1892-1987), haveria de conduzir à teoria quântica “moderna”, que ficou praticamente completa em 1926, graças aos trabalhos do alemão Werner Heisenberg (1901-1976), do austríaco Erwin Schrödinger (1887-1961), do alemão Max Born (1882-1970) e do inglês Paul Dirac (1902-1984), que, nas palavras deste último, “explica toda a química e quase toda a física” [1].

Foi há cem anos que o jovem Niels Bohr, em três artigos publicados no *Philosophical Magazines* (e que estão traduzidos em português num livro da Fundação Calouste Gulbenkian, publicado em 1969, “Textos Fundamentais da Física Moderna II”, com prefácio do físico José Luís Rodrigues Martins) [2], apresentou a sua proposta revolucionária de modelo atómico, no qual, com genial intuição, introduzia à escala atómica as ideias quânticas. Só então se começou a perceber a origem da emissão e absorção de

luz pelos átomos. O acordo com a fórmula empírica de observações espectroscópicas com luz visível do suíço Johann Balmer (1825-1898) para o átomo de hidrogénio era inequívoco quanto à validade da nova teoria. Essa fórmula é um caso particular da fórmula posterior devida ao sueco Johannes Rydberg (1854-1919). A versão moderna da teoria quântica, conseguida quer pela mecânica das matrizes de Heisenberg quer pela mecânica ondulatória de Schrödinger, esta última mais na linha do pensamento de de Broglie, haveria de conservar exactamente os níveis espectroscópicos de Bohr para o átomo de hidrogénio.

Consultado o perfil de citações de Niels Bohr entre 1912 e 1950, podemos definir três períodos temporais: um primeiro de 1913 até 1922 referente ao impacto imediato do modelo atómico de Bohr, um segundo período até 1932 no qual já se reflecte o impacto de uma visão mais global sobre os espectros atómicos, mormente o artigo de 1923 “Line spectra and atomic construction” [3] e um terceiro mais centrado em aplicações da moderna teoria quântica até ao fim da década de 40. Depois de efectuarmos aqui um resumo histórico sobre o aparecimento do modelo de Bohr, daremos notícia da sua recepção em Portugal ao longo destes três períodos.

2. A PROPOSTA DO MODELO DE BOHR

Em 1911 Rutherford, na Universidade de Manchester, perante os resultados alcançados pelos seus alunos Hans Geiger (1882-1945), alemão, e Ernest Marsden (1889-1970), inglês, sobre a deflexão de partículas- α em finas lâminas de ouro, postulou que os átomos tinham um núcleo concentrando quase toda a massa do átomo e carregado positivamente. Foi o início tanto da física nuclear como da física atómica. Bastante mais tarde, Rutherford descreveu estes resultados surpreendentes do seguinte modo: “*It was about as credible as if you had fired a 15-inch shell at a piece*

of tissue of paper and it came back and hit you". Nesse mesmo ano Bohr alcançava o seu doutoramento na Universidade de Copenhaga, com uma tese sobre a aplicação da teoria do electrão a fenómenos termoeléctricos. O electrão tinha sido descoberto pelo inglês Joseph John Thomson (1856-1940), tendo sido anunciado ao mundo num *Friday Evening Discourse* da *Royal Institution*, em 30 de Abril de 1897. Uma vez obtido o seu grau, Bohr foi, no Outono de 1911, colaborar com J. J. Thomson no famoso Laboratório Cavendish, em Cambridge. Não foi feliz a ida de um jovem de 26 anos para trabalhar com um cientista já célebre com quase 56 anos. Bohr falava mal inglês e alguns erros científicos que apontou a Thomson não facilitaram a relação entre os dois. A verdade é que Bohr, desiludido com o seu trabalho em Cambridge, acabou, na Primavera de 1912, por ir para Manchester, integrando o grupo de Rutherford, então com 40 anos de idade e na plenitude da sua carreira. Bohr ainda tentou realizar algum trabalho experimental sobre radioactividade, indicado por Rutherford, mas decididamente preferia o trabalho teórico. Rutherford teve o grande mérito de deixar Bohr trabalhar com grande independência e foi nesse ambiente que ele veio a desenvolver o modelo atómico cujo centenário agora se comemora (Figura 1). Apesar ou talvez mesmo por haver inconsistências teóricas graves com o seu modelo (os electrões em órbita do núcleo deveriam radiar, conduzindo à desintegração do átomo), Rutherford não se interessou por o aprofundar: o seu interesse era experimental e não teórico e, além disso, tinha a sua atenção fixa na radioactividade e nas reacções nucleares obtidas por colisões e não na estrutura atómica. Bohr dedicou-se sozinho durante alguns meses à reflexão sobre a estrutura do átomo, baseando-se na recente descoberta do núcleo atómico por Rutherford, mas procurando compreender a estabilidade atómica que parecia inexplicável.



Figura 1 – Ernest Rutherford, Niels Bohr e as respectivas esposas

Em Agosto de 1912 foi de Manchester a Copenhaga para se casar com Margrethe Nørlund (1890-1984), com quem

namorava há dois anos e de quem haveria de ter seis filhos (Figura 2).



Figura 2 – Niels e Margrethe Bohr com os filhos e netos por ocasião do seu 70º aniversário (1955)

Em carta enviada a Rutherford, em 31 de Dezembro de 1912, Bohr alertava para o facto de o trabalho que estava a desenvolver sobre a constituição de átomos e moléculas ainda não abordar o cálculo das frequências correspondentes à luz do espectro visível. Mas achava que devia haver alguma relação entre as energias dos electrões nas suas órbitas atómicas e essas frequências, conforme sugeria a teoria da radiação de Planck. Em Fevereiro de 1913, Bohr encontrou a chave que o levou à formulação da sua bem sucedida teoria quântica do átomo. Em conversa com o espectroscopista dinamarquês Hans Hansen (1886-1956), Bohr foi questionado sobre o modo como a sua teoria poderia explicar as séries espectrais descritas pela fórmula de Rydberg. Até então Bohr não se interessara por esse tipo de questões, por achar os espectros ópticos demasiado complexos. Tentava apenas discutir a constituição dos átomos e das moléculas nos seus estados estacionários.

Bohr regressou, em 1913, à Dinamarca. Foi aí que completou o trabalho realizado em Manchester aplicando o seu modelo à interpretação da estrutura atómica. Publicou três sucessivos artigos, com o patrocínio de Rutherford, no *Philosophical Magazine*, o primeiro dos quais [26, 1-25 (Julho 1913)] com o título “On the constitution of Atoms and Molecules”. Na descrição aí contida os electrões nos núcleos só podiam ocupar certas órbitas, com níveis de energia obtidos por uma quantização *ad hoc* e as transições entre estes níveis correspondiam a emissão e absorção de luz. As frequências da luz emitida ou absorvida estavam associadas a “saltos” entre estados e não aos próprios estados atómicos. Este notável artigo foi o primeiro de uma “trilogia”, que veio a ser prosseguida na mesma revista com artigos publicados em Setembro e Novembro do mesmo ano, acrescido de um outro sobre o efeito de campos eléctricos e magnéticos nas linhas de espectros atómicos, publicado no volume seguinte da mesma revista, no início de 1914. Seguiu-se, ainda em 1914, uma nota na *Nature* [92, 231-232 (1914)] intitulada “The spectra of helium and hydrogen”. O génio de Rutherford consistiu em ter acarinhado a espantosa criatividade de Bohr. Restavam dificuldades conceptuais (Rutherford apontou logo a falta de determi-

nismo para poder prever o destino de um electrão excitado), mas a concordância com as observações espectroscópicas era tão impressionante (a constante de Rydberg era obtida com razoável precisão a partir da constante de Planck) que os artigos de Bohr conheceram logo uma rápida expansão no mundo, então pequeno, da Física moderna.

De facto, com os seus artigos, Bohr levou a cabo uma significativa mudança na forma de pensar a estrutura atómica, abrindo caminho a uma nova Física que viria rapidamente a impor-se. Entre os cientistas que ficaram impressionados com as ideias de Bohr estava Einstein que afirmou ter tido ideias semelhantes às de Bohr, mas que não tivera ânimo para as desenvolver. Einstein não demorou a reconhecer que Bohr estava certo. A primeira vez que as ideias de Bohr foram amplamente discutidas foi por ocasião do 83rd Meeting of the British Association of the Advancement of Science, realizado em Birmingham de 10 a 17 de Setembro de 1913. Na sessão de abertura o astrónomo e físico-matemático inglês James Jeans (1877-1946) fez uma revisão dos trabalhos sobre a teoria da radiação, desde a radiação do corpo negro até ao recente trabalho de Bohr, que «conseguiu uma explicação engenhosíssima, sugestiva e, penso que devemos acrescentar, convincente das leis das riscas espectrais». No entanto, as ideias de Bohr não foram partilhadas por outros “monstros sagrados” da Física inglesa. Por exemplo, Lord Rayleigh [John William Strutt (1842-1919)] evitou comprometer-se, proferindo uma observação jocosa: «Pessoas de mais de 60 anos não devem proferir juízos sobre ideias novas». Dos estrangeiros, o holandês Hendrick Lorentz (1853-1928) foi o único a questionar Bohr, perguntando-lhe qual era a explicação mecânica do seu modelo atómico, tendo obtido como resposta que a teoria ainda não estava completa, mas que era necessária para explicar os átomos. A reacção do alemão Arnold Sommerfeld (1858-1951), não foi muito diferente da dos seus pares ingleses. Ao receber o trabalho que Bohr lhe enviara, escreveu-lhe uma carta na qual declarava o seu cepticismo em relação aos modelos atómicos em geral, achando apenas interessante o facto de Bohr encontrar uma relação entre a constante de Rydberg e a constante de Planck, algo aliás de que ele mesmo suspeitara e falara a Debye [Peter Debye (1884-1966)] anos antes. Nessa mesma carta, indagou se Bohr já havia aplicado seu modelo para explicar o efeito Zeeman [do holandês Pieter Zeeman (1865-1943)]. Seria o próprio Sommerfeld quem, em 1916, viria a aplicar o modelo de Bohr com órbitas elípticas para os electrões para explicar o efeito Zeeman no hidrogénio [4].

Em 1914, Rutherford nomeou Bohr para um lugar de *reader* de Física na Universidade de Manchester, posição que este exerceu apenas durante um ano. Rutherford bem gostaria que Bohr tivesse continuado no seu grupo, mas ele acabou por regressar à Dinamarca, tornando-se professor de Física na Universidade de Copenhaga em 1916, onde permaneceu ao longo da sua vida, tendo fundado o “Instituto para a Física Teórica” em 1921, hoje denominado “Instituto Niels Bohr”.

Bohr desempenhou um papel essencial quer no desenvolvimento da sua teoria quântica como depois na aplicação dessa teoria ao núcleo atómico (é dele e do norte-americano John A. Wheeler (1911-2008) a explicação, dada em 1939, do mecanismo da cisão nuclear usando o modelo de gota líquida e o efeito túnel) e, principalmente, no desenvolvimento de uma interpretação que ficou conhecida por “escola de Copenhaga”, da qual pedras basilares foram os princípios da complementaridade e da correspondência. Tornou-se, para as novas gerações, uma espécie de patriarca (Figura 3) [5].

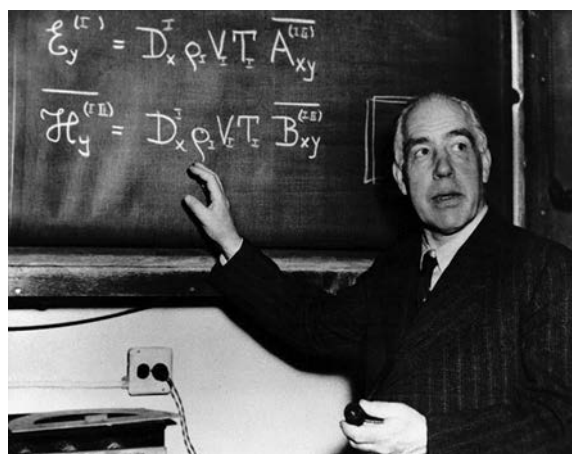


Figura 3 – Niels Bohr em 1950

3. RECEPÇÃO DAS IDEIAS DE BOHR EM PORTUGAL

O que se passou em Portugal nas Ciências Físico-Químicas nessa época? Quando e como foi recebida a teoria atómica de Bohr? No primeiro quartel do século xx, Portugal, como outros países do sul da Europa, tinha uma actividade científica em Física e Química de reduzido impacto na comunidade internacional, um panorama que se manteve, entre nós, até à década de 70, para sofrer um enorme incremento a partir de 1990. A investigação ligada às universidades era reduzida e de índole bastante doméstica. Consultando a *Web of Knowledge* para o período compreendido entre 1900 e 1950 encontram-se apenas 43 artigos, dos quais só sete são das áreas de Física e de Química [6]. De Química registam-se quatro artigos, todos eles da autoria de Karl Schön, um judeu alemão emigrado que trabalhou, na década de 1930, na Universidade de Coimbra, no “Laboratório de Química Biológica e de Físico-Química” da Faculdade de Medicina, em carotenóides. Dos sete artigos de Física, dois são da autoria de Guido Beck (1903-1988) - físico austríaco, também de origem judaica, que tinha sido assistente de Heisenberg e que, refugiado em Portugal, foi, entre Dezembro de 1941 e 1943, professor visitante de Física da Universidade de Coimbra e com o qual se doutorou José Luís Rodrigues Martins, tendo ambos publicado um artigo na *Physical Review* [7] - havendo ainda um artigo de Manuel Teles Antunes (1905-1965), professor de Física da Universidade de Lisboa. Em suma, na primeira metade do século passado não havia praticamente investigação com impacto internacional nas áreas de Física e de Química, em forte contraste com alguma investigação em Medicina. E, como se viu, da pouca pesquisa que houve, a maioria deveu-se a cientistas judeus que viveram algum

tempo em Portugal. Durante a Segunda Guerra Mundial, Portugal não soube fixar entre nós a presença de outros sábios de origem judaica, como, além de Beck, o romeno Alexandru Proca (1897-1955), o autor de uma equação quântica relativista para partícula de spin 1, que esteve no Porto durante alguns meses em 1944, e o italiano Sergio de Benedetti (1912-1994), que esteve alguns meses em Coimbra em 1940 [8].

Não obstante, havia, para além do ensino superior da Física e da Química, realizado em escolas de Lisboa, Coimbra e Porto, algum interesse no seio das escolas com esse ensino em acompanhar os progressos da Física e da Química que ocorriam no exterior, o que não era porém suficiente para manter o ensino actualizado. A teoria da relatividade foi introduzida por um filósofo, embora com alguma preparação matemática, Leonardo Coimbra (1883-1935), sete anos após a publicação dos artigos seminais de Einstein [9]. O historiador de ciência Augusto Fitas em artigo publicado na *Gazeta de Física* (vol. 34, nº 2) intitulado “As primícias da Mecânica Quântica e a aventura da Física Teórica em Portugal” escreveu:

«Pode afirmar-se que, no ensino da Física em Portugal e ao longo da primeira metade do século XX (sem dificuldade este período poder-se-ia estender por mais alguns lustros), a Física Teórica (FT) esteve ausente dos anfiteatros das universidades portuguesas. Para explicar tal ausência, concorriam, entre outros, dois factores: primeiro, a associação da Física à prática laboratorial e de observação fenomenológica, o seu ensino estava confinado à formação em Ciências Físico-Química e a disciplinas propedêuticas das engenharias; segundo, só na licenciatura em Matemática, abrangendo matemáticos e astrónomos, existia a Física Matemática, disciplina a que, na prática docente portuguesa, se associavam os tópicos desenvolvidos na FT e que não fazia parte dos planos de estudo dos cursos de Físico-Química e de engenharia. Não é de estranhar que tópicos como a Teoria da Relatividade, restrita e generalizada tenham sido ministrados em Portugal no século passado, no início da década de vinte, numa disciplina da licenciatura em Matemática, e, só em meados da década de trinta, a cinemática relativista fosse apresentada aos estudantes de Físico-Química. O outro grande tema da FT contemporânea, a física quântica e todas as suas derivações (física nuclear, estrutura da matéria, física de partículas elementares, etc.) situavam-se completamente à margem dos curricula oficiais. Foi também em plena década de trinta do século passado que, em diversos cursos e devido ao interesse particular do professor, eram feitas referências a este novo ramo da física, contudo não existia nenhuma disciplina ou seminário que o abordasse de um modo sistemático».

Fitas cita, em abono da sua afirmação, as memórias de Mário Silva (1901-1977), que foi professor de Física da Universidade de Coimbra e que de 1925 a 1929 fez o seu doutoramento em Paris com Madame Curie:

«Os números da revista inglesa *Nature* 107 e 108, de 1921, publicaram (...) artigos de Bohr subordinados ao título

Atomic Structure (...) [em 1922] já assistente de Física da Faculdade de Ciências de Coimbra (...) o assunto era completamente desconhecido nos programas das cadeiras de Física e Química desse tempo».

E continua Fitas:

«Embora sem investigação neste domínio da Física, pode dizer-se que Mira Fernandes [professor catedrático de Matemática do Instituto Superior Técnico], foi o introdutor nos anfiteatros universitários da teoria quântica, apresentando neste campo o que de mais actual se fazia em FT» [10].

3.1 A RECEPÇÃO ENTRE 1913 E 1922

Pouco após a implantação da República, nascia em Lisboa uma nova escola superior, o Instituto Superior Técnico, ao abrigo do Decreto nº 163 de 14 de Julho de 1911. Foi seu fundador Alfredo Bensaude (1856-1941), mineralogista de origem judaica, que recrutou professores, nacionais e estrangeiros, cuja actividade era de reconhecida competência, sendo que alguns não estavam inicialmente ligados ao ensino. «O corpo de docentes no período 1911-1920 era composto por 26 membros, dos quais cinco estrangeiros (Charles Lepierre – França, Giovanni Costanzo – Itália, Abram Droz, Léon Fech e Ernest Fleury – Suíça). Grande parte dos portugueses tinha efectuado os seus estudos superiores em universidades e institutos europeus, sobretudo em França e na Alemanha» [11]. Vejamos então o que se passou com a divulgação da teoria quântica no Instituto Superior Técnico.

O físico italiano Giovanni Costanzo (1874-1967), doutorado em Física na Universidade de Nápoles em 1904, com uma tese sobre radioactividade, concluiu o curso de Matemáticas Puras em 1906 na Universidade de Bolonha e veio para Portugal, no final de 1908, a convite da firma Henry Burnay & C.^{ia} para proceder à análise da radioactividade de águas e de minérios. Organizou e dirigiu o primeiro Instituto Clínico de Rádio em Lisboa [12]. Entre nós, foi o primeiro a publicar lições sobre radioactividade, um fenómeno que, apesar de descoberto no final do século XIX, só pôde ser explicado com a ajuda da teoria quântica. São suas as “Notas das lições de Radioactividade dadas no Instituto Superior Técnico de Lisboa”, que saíram em 1920 em sucessivos números da *Revista de Chimica Pura e Applicada*, órgão da “Sociedade Chimica Portuguesa e da Secção de Física” (nessa época não existiam ainda separadas as sociedades de Física e Química portuguesas) e que também saíram em separata. Note-se que os artigos saídos nesse ano devem ter sido escritos um ou talvez mesmo dois anos antes, dado o atraso na publicação da revista. O Capítulo III das mencionadas Lições, na secção 29, desenvolve, volvidos sete anos sobre a sua introdução, o “átomo de Bohr”, naquilo que é provavelmente a primeira exposição científica daquele modelo entre nós:

«A teoria da constituição atômica de RUTHERFORD, tal como ela é, não é suficiente, pois deixa campo a uma

séria objecção: o electrão planetário rodando rapidamente em volta do núcleo, deve em conformidade com as leis do electromagnetismo, emitir energia radiante. [...] O físico dinamarquês NIELS BOHR, da Universidade de Copenhague, completou a teoria de RUTHERFORD [...] aplicando ao movimento dos electrões a *teoria dos quanta* de PLANCK. [...] Segundo BOHR, o electrão pode mover-se apenas sobre determinadas órbitas, que se costumam indicar pelo seu número de ordem a partir do centro.» [13]

E o autor prossegue desenvolvendo a matemática do modelo de forma correcta, incluindo a admissão de órbitas tanto circulares como elípticas, a percepção de que a teoria dos *quanta* de Bohr deve ser alargada com uma estabilidade definida por dois números inteiros, para concluir:

«Não é do nosso programa desenvolver a teoria atómica de Bohr, que além de dar uma interpretação natural do sistema periódico, permite explicar os resultados recentemente obtidos por KOSSEL e SOMMERFELD, como respeito aos espectros de raios X».

Costanzo era professor da disciplina de “Química-Física e Radioactividade”, tendo sido provavelmente o primeiro a dar um curso de radioactividade entre nós. Na Acta n.º 1 de Sessão de 21 de Agosto de 1911 de “Instalação do Conselho Escolar” do IST consta que lhe foram nessa data distribuídas as cadeiras de Física e de Química-Física e Radioactividade. Costanzo (Figura 4) publicou com frequência, na referida revista, que era essencialmente de Química, recensões críticas sobre obras científicas publicadas no exterior, dando conta das últimas novidades científicas de interesse para os químicos e físicos que trabalhavam em Portugal, sendo notória a actualidade das suas recensões.



Figura 4 – O Professor Giovanni Costanzo (1874-1967)

Numa destas recensões publicada em 1917, sobre a obra do inglês William C. McC. Lewis (1885-1956), *A System of Physical Chemistry*, Longmans, London, 1916, escreveu:

«Hoje que a Química, devido especialmente ao valioso auxílio que lhe deram as matemáticas, sae rapidamente do empirismo em que, como todas as sciencias experimentais, teve o seu berço e o seu primeiro desenvolvimento, tornou-se necessario agrupar a exposição duma série de assuntos particularmente destinados a generalizar as leis que presidem ás combinações, sob o titulo de *Química fisica*; e sabemos todos quanto este conjunto de conhecimento se vae tornando de dia em dia importante para o químico.

Anunciando o tratado do Dr. Lewis, podemos afirmar que este constitue sem duvida um dos melhores livros de Química fisica aparecido até hoje, quer sob o ponto de vista de originalidade da classificação e exposição dos diferentes assuntos, quer pela sua inteligente escolha. [...] Uma característica que muito recomenda ainda este trabalho é a exposição das investigações mais recentes, especialmente sobre a estrutura do átomo, [...] as aplicações aos “quanta” de energia de PLANCK-EINSTEIN, etc.» [14]

Se a recensão é clara a respeito do “papel dos *quanta*”, não o é, porém, no que diz respeito ao modelo de Bohr. Esta ambiguidade cessa, quando damos voz a Helge Kragh no *Phys. Today*:

«As tentativas de Bohr para alargar a sua teoria atómica ao domínio da química deparou com uma recepção de sentidos opostos na grande comunidade de químicos. Durante os primeiros anos da teoria, a maioria dos químicos ignorou-a, provavelmente porque a acharam difícil e de pouca utilidade para resolver problemas químicos. O fracasso da teoria para dar conta do carbono tetraédrico, ou até mesmo da simples molécula de hidrogénio, adicionou-se à suspeita de que a teoria atómica de Bohr não tinha nada de importante para oferecer à química. Mesmo assim, a partir de aproximadamente 1920, muitos livros didácticos em química inorgânica e física continham secções sobre a nova teoria atómica, embora na maior parte dos casos esta fosse mencionada apenas brevemente. Uma excepção foi o livro de texto de 1919 *A System of Physical Chemistry*, do químico inglês William Lewis, que incluiu uma revisão detalhada da teoria de Bohr, baseado na trilogia de 1913.» [15]

Perante o conhecimento da obra de William Lewis, ainda na sua 1.ª edição de 1916, Costanzo terá modificado o programa da disciplina de “Química-Física e Radioactividade”, que regia desde o ano lectivo de 1911/12, nele incorporando o modelo atómico de Bohr. Não se conhecem elaborações ulteriores sobre a teoria quântica por parte de Costanzo, que conheceu problemas com os alunos em 1921, devido à sua exigência, tendo mais tarde sido substituído por um professor interino [16].

Por seu lado, o matemático Aureliano de Mira Fernandes (1884-1958), formado em Coimbra (doutorou-se aí em 1911, ano em que começou a ensinar no Técnico), haveria de ensinar teoria quântica no final dos anos 20 no quadro da disciplina de Mecânica Racional, a 5.ª cadeira dos cursos de Engenharia. Em 1930 publicou na *Técnica*, revista

dos estudantes de Física do Técnico, o seu primeiro artigo sobre teoria quântica, “Sobre o momento gradiente de fase” [17], a que se seguiu no ano seguinte e na mesma revista “Valores médios em mecânica ondulatória” [18]. Nos dois escreveu e aplicou a equação de Schrödinger independente do tempo. Em 1933 haveria de publicar ainda na *Técnica* um conjunto de lições sobre “Modernas Concepções da Mecânica”, realizadas no Instituto de Altos Estudos, nas quais tratava tanto a teoria da relatividade como a teoria quântica [19]. Na última parte (p. 425), abordou com alguma profundidade a teoria de Bohr, seguindo a linha tradicional já exposta por Costanzo, mas tratou também a mecânica das matrizes de Heisenberg e a mecânica ondulatória de Schrödinger, que tinham sido publicadas no final da década anterior.

Vejamos agora a situação em Coimbra, recuando um pouco no tempo. Em 1908, o físico Egas Ferreira Pinto Basto (1881-1937) fez o seu *Acto de Conclusões Magnas* com a tese *Theoria dos Electrões*. No mesmo ano, submeteu uma nova dissertação, para o concurso ao magistério na 1.ª secção da *Faculdade de Philosophia Natural*, que era uma continuação do estudo da tese anterior. A maior parte da segunda tese tinha como referência os estudos mais recentes dos ingleses J. J. Thomson e Rutherford, analisando assuntos como a lei periódica, propriedades electroquímicas e valência, radioactividade, determinação do número de electrões existentes num átomo e a sua distribuição em anéis segundo o modelo de Thomson, determinação das dimensões da esfera de electricidade positiva, origem da massa do átomo, etc. Revelava nesse trabalho, portanto, alguma actualização [20]. Mas Pinto Basto teve também, em paralelo, uma carreira militar. Promovido a Capitão em 1911, veio a ser colocado no Estado-Maior da Armada de Engenharia em 1916 e em seguida na Inspeção-Geral das Fortificações e Obras Militares, continuando adido ao Ministério da Instrução Pública. Demitido do serviço do Exército em 1919, por motivos políticos, foi-lhe provido o recurso que submeteu, tendo sido readmitido nesse mesmo ano. Foi Tenente-Coronel graduado em 1927. O seu estudo da “Teoria dos electrões” não pôde, por isso, ter sequência.

Na Universidade de Coimbra, em 1913, o único professor de Física, era o doutor Henrique Teixeira Bastos (1861-1943) enquanto o único professor de Química era o doutor Álvaro José da Silva Basto (1873-1924). A renovação, com a abertura às novas ideias, só mais tarde se haveria de dar com um físico da geração seguinte, Mário Augusto da Silva (1901-1997), que só tinha 12 anos à data do modelo de Bohr, mas já tinha 25 quando surgiu a equação de Schrödinger. Este professor de Física, no seu livro “Elogio da Ciência”, em que compila um conjunto de conferências feitas ao longo da sua vida, refere-se ao seu primeiro contacto com a teoria de Bohr:

«Estudante ainda, mas já assistente de Física da Faculdade de Ciências, recordo que foi o meu colega desse tempo, o Dr. António Gomes de Almeida [1897-?], já então assistente de Química, que me chamou a atenção para a matéria desses artigos cuja novidade muito nos impressionou, tanto mais que o assunto era completamente desconhecido

nos programas das cadeiras de Física e Química desse tempo» [21].

Tal ocorreu em 1922, quando saíram esses artigos e quando ambos os intervenientes eram assistentes da Universidade [22]. Só em Paris, para onde foi em 1925 e onde conheceu pessoalmente Bohr (este deslocou-se a Paris em 1927 para uma Conferência que assinalava o centenário da morte do francês Augustin-Jean Fresnel (1788-1827)), Mário Silva tomaria contacto pormenorizado com a teoria quântica, que haveria de ajudar a disseminar entre nós [23].

3.2 RECEPÇÃO ENTRE 1923 E 1932

Mário Silva é uma figura de referência, não só como homem de ciência mas também como cidadão empenhado no desenvolvimento do país. Em Paris, onde se doutorou sob a orientação de Marie Curie, contactou com nomes franceses tão prestigiados como o casal Irène Joliot-Curie (1897-1956) e Frédéric Joliot-Curie (1900-1958), Salomon Rosenblum (1896-1959), Jean Perrin (1870-1942), e reconheceu o papel da maior relevância dos raios X e da radioactividade no estabelecimento de firmes relações entre a Física e a Medicina. Regressado a Coimbra, em 1929, procurou alicerçar esta relação em Portugal fundando o Instituto do Rádio da Universidade de Coimbra, o qual, apesar de ter sido convenientemente instalado e apetrechado e de ter entrado em funcionamento (1931), não chegou a ter existência legal. Associava o Laboratório de Física da Faculdade de Ciências ao Hospital da Universidade e à Faculdade de Medicina de Coimbra, numa relação à semelhança da estrutura ligada ao Instituto do Rádio de Paris. Marie Curie tinha prometido vir a Portugal à inauguração, mas esta acabaria por nunca se concretizar. Mário Silva promoveu, contudo, algumas conferências sobre a teoria quântica, a primeira das quais foi proferida no ano lectivo de 1930/31 por Egas Pinto Basto, subordinada ao tema “Átomo de Hidrogénio”:

«As teorias físicas modernas têm tido um desenvolvimento tão rápido, servem-se duma matemática tão pouco acessível, e adquiriram tal complexidade, que é difícil a quem não é da especialidade acompanhar a evolução dessas teorias e ter em cada momento o conhecimento exacto do seu estado. Na *Nature* de 13 de Abril de 1929 o professor inglês T. M. Lowry exprime-se assim: “Nos dias mais livres dos tempos passados havia geralmente tempo para apreender uma ideia fundamental antes da nossa atenção ser distraída pelo seu próximo desenvolvimento. O progresso fazia-se então passando a bola regularmente dum jogador para outro até ser colocada nas rêdes, passando-se assim da especulação ou hipótese para a teoria. Hoje a bola é conduzida, no meio de grande confusão, numa avançada impetuosa, podendo o observador apenas de onde a onde ver a bola, mas tendo pouca possibilidade de observar os efeitos do jogo individual; mesmo o crítico profissional corre o risco de lhe escaparem fases essenciais do jogo”. Estas palavras sugestivas mostram-nos bem a utilidade de conferências em que as teorias modernas da física sejam tratadas duma forma o mais possível elementar e acessível

a todos. Por iniciativa do meu colega Doutor Mário Silva resolveu-se fazer uma série de conferências com este fim. Tenho a honra de iniciar esta série, tratando da constituição do átomo do hidrogénio, segundo a teoria quântica de Bohr e Sommerfeld, pela forma que me pareceu mais simples.» [24]

Perante a perspectiva que Pinto Basto nos traça, percebe-se melhor que estes temas mais avançados não fossem ministrados nas aulas regulares aos estudantes de licenciatura, principalmente em disciplinas como a Química-Física, que tinha na época muito poucos alunos, talvez uns dois ou três.

O objectivo da palestra de Egas Basto, conforme refere, é “a constituição do átomo do hidrogénio, segundo a teoria quântica de Bohr e Sommerfeld, pela forma que me pareceu mais simples”. Termina afirmando:

«A teoria que acabamos de expor permite-nos formar uma imagem do átomo de hidrogénio nas condições estabelecidas por Bohr e Sommerfeld. Esta teoria, porém, está em manifesta oposição à óptica clássica, assenta em condições estabelecidas arbitrariamente, e, como se vê bem na exposição que fizemos, está impregnada dum empirismo pouco satisfatório. Há dificuldades, como, por exemplo, a substituição do número quântico k pelo outro número quântico l , que a teoria não pode resolver. As modernas mecânicas quânticas criadas por Broglie, Schrödinger (mecânica ondulatória), Heisenberg (mecânica das matrizes), as modernas mecânicas estatísticas, etc., permitem resolver estas dificuldades. Está a caminho a conciliação entre a teoria dos quanta e a óptica clássica, as condições arbitrárias estabelecidas pela intuição genial de Bohr aparecem como conseqüências dos princípios dessas mecânicas, e, à medida que estas progridem, vão desaparecendo as dificuldades que surgem nas interpretações espectroscópicas. A estas mecânicas se deve a previsão da existência de dois hidrogénios com moléculas diferentes: o para e o orto-hidrogénio. Em 1929 Eucken e Bonhoffer confirmaram absolutamente esta previsão. O estudo da constituição dos outros átomos, além do hidrogénio, e a exposição, tanto quanto possível livre de matemáticas a poucos acessíveis, dos princípios das novas mecânicas será o objecto de futuras conferências.» [25]

A segunda palestra deste ciclo foi subordinada ao título “Formation et manifestation des atomes” pelo austríaco Walter Wessel (1900-1984) que, partindo de “*l'ancienne théorie de Bohr*”, desenvolve a “nova mecânica” atômica com base na equação de Schrödinger [26].

Referimos ainda “Equações fundamentais da mecânica ondulatória”, por Manuel dos Reis (1900-1992), não publicado, para além do artigo controverso – e mesmo pseudo-científico – de Francisco Miranda da Costa Lobo (1864-1945), lente de Astronomia, sobre a origem da radioactividade [27].

Por último, quanto à recepção da teoria quântica no meio não académico, Luís Miguel Bernardo, no vol. 3 de

Histórias da Luz e das Cores, ao abordar “a chegada da teoria dos quanta a Portugal”, refere que se salienta o nome do Padre Amadeu Cerqueira de Vasconcelos (1878-1952), que, em 1925, na sua revista semanal de divulgação científica *Sciência para Todos* descreveu os respectivos princípios [28].

3.3 RECEPÇÃO DE 1932 ATÉ FINAIS DOS ANOS 40

Tanto quanto conseguimos apurar, no final da década de 30 ainda não se ensinava em Coimbra o modelo de Bohr nem sequer a quantização de Planck e Einstein. Por razões de ligação familiar de um dos autores (SF), chegaram-nos às mãos os apontamentos de João Soares Teixeira Lopes (1906-1989), que cursou a Universidade de Coimbra entre 1924 e 1929, tendo sido posteriormente assistente e professor auxiliar em Física Geral nessa universidade entre 1933 e 1949. Os apontamentos dizem respeito à cadeira de Química-Física ministrada por Egas Pinto Basto no ano lectivo de 1927/28 ou, mais provavelmente, de 1928/29 [29]. Os apontamentos registam a “antiga teoria atômica” com o modelo de Kelvin sobre os átomos como “turbilhões formados de éter”. Referem os apontamentos:

«A forma mais simples dum átomo é a duma partícula possivelmente com a forma esférica. Os átomos dos diversos elementos serão constituídos por diversas espécies de matéria. Não se compreende desta forma, que os átomos sejam indivisíveis porque não é possível dividir essas partículas noutras mais pequenas? Somos forçados a admitir, se assim sucede é unicamente porque não dispomos dos meios necessários para o conseguir. Os átomos não devem porém ter esta constituição tão simples. Vários factos estão em contradição com ela. Sabemos que os sais de potássio coram a chama de violeta. Observando esta chama com um espectroscópio reconhece-se que emite radiações vermelhas e violetas. Estas radiações são independentes do sal de potássio escolhido e proveem portanto de átomo. O átomo de potássio deve poder emitir vibrações de diferente comprimento de onda. Esta propriedade não se harmoniza com a constituição simples dos átomos».

E a lição é concluída com a hipótese de Proust: “os átomos eram formados por átomos de hidrogénio”. Escreveu: “Veremos como somos a admitir uma constituição complexa para o átomo e como se confirma a hipótese de Proust”. Desses apontamentos não consta, porém, o nome de Bohr, nem o seu proposto modelo da estrutura do átomo.

Em 1942, e de novo sob a iniciativa de Mário Silva, houve uma outra série de conferências sobre teoria quântica, iniciada por Guido Beck, mas que veio a ser “sabotada”, aparentemente por estar prevista uma discussão filosófica a cargo de um jovem assistente de Filosofia, Vasco Magalhães Vilhena (1916-1993) [30].

A teoria quântica, incluindo o modelo atômico de Bohr-Sommerfeld, só veio a ser ensinada na disciplina de Química-Física na Universidade de Coimbra, quando esta foi ministrada por Ruy Couceiro da Costa (1901-1955), como refere José Simões Redinha [31]. Na Biblioteca do

Departamento de Química da Universidade de Coimbra encontra-se a já referida obra de William Lewis, que influenciou Costanzo e tantos químicos, incluindo Couceiro da Costa. Os dois volumes da biblioteca eram do seu uso pessoal, pois se encontram por ele assinados e datados, sendo provenientes do seu espólio, e são da edição de 1921, tendo sido adquiridos no ano seguinte. Dão sinais de um uso muito frequente, pelo que terão marcado este professor de Coimbra no seu ensino da Química-Física. No início da década de 40, Couceiro da Costa pretendia trazer os seus alunos às fronteiras do conhecimento, quiçá aproximando-se ao modelo de seminários para temas mais avançados que Mário Silva havia procurado suscitar. Mas vai para além do modelo de Bohr, incorporando já os avanços de mecânica quântica para a molécula de H_2 apresentada pelo alemão Walter Heitler (1904-1981) e pelo norte-americano de origem alemã Fritz London (1900-1954) em 1927.

Em Lisboa, a partir dos anos 30, Manuel Valadares (1904-1982) e António da Silveira (1904-1985), professores respectivamente da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e do Instituto Superior Técnico, que integraram um grupo de professores escolhidos para frequentar universidades e instituições de investigação europeias como bolseiros da Junta da Educação Nacional, começaram a leccionar a teoria quântica em Lisboa. Valadares tinha sido estudante de doutoramento de Madame Curie de 1930 a 1933, tal como Mário Silva. O mesmo se passou entre 1931 e 1935 com Branca Edmée Marques (1899-1986), que foi professora de Química-Física na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Em 1941-42, Manuel Teles Antunes, professor de Física da Universidade de Lisboa, doutorado na Universidade de Madrid, publicou os artigos “Como se calculam energias atómicas pela Mecânica Quântica” [32].

Falta referir o que se passava no Porto. A figura de maior relevo no que diz respeito à recepção da teoria quântica foi Ruy Luís Gomes (1905-1984), matemático formado na Universidade de Coimbra tal como Mira Fernandes, e que, entusiasmado por este, se começou a dedicar a aspectos matemáticos da teoria da relatividade e da teoria quântica [33].

Quanto ao lado mais físico-químico da teoria, em 1945, na Universidade do Porto foi publicado em dois volumes uma obra intitulada “Química Física” da autoria de Abílio Barreiro (1878-1961), catedrático de Química-Física e, ao tempo, Director dos Laboratórios de Química da Faculdade de Ciências. A obra é uma extensão da obra de 1943 e 1944 intitulada “Introdução ao Estudo de Química-Física” e publicada em três fascículos: 1.º transformações, energética, energia cinética; 2.º energia elástica nos fluidos, energia osmótica dos solutos; 3.º energia eléctrica, adsorção, sistemas dispersos-soluções coloidais. Na obra de 1945, Abílio Barreiro, em prefácio, faz um resumo histórico do nascimento desta área da Química, dando como termo de um certo ciclo deste percurso:

«... data do Conselho de Física que, a inspiração de NERNST, reuniu os principais físicos e matemáticos da

Europa, em Bruxelas, nos fins de 1911, com o fim de discutir “a teoria da radiação e os quanta”. [...] Munida da teoria atómico-molecular, com as teorias cinética e quântica, os progressos da física atómica e a mecânica ondulatória do primeiro quartel deste século, a Química, aspirando ao princípio da unidade, objecto da Filosofia, toma o aspecto crítico [...]. De ora em diante, confundiremos os aspectos racionalista e criticista da Química com a designação genérica de “Química-física”. [...] Mas as publicações dos cursos de Química-física professadas pelos Químicos são relativamente poucas e ressentem-se duma certa hesitação. [...] Concebi a divisão da matéria em três partes: na primeira parte, que poderia chamar-se “energética”, incluo a Termo-química; na segunda parte, a teoria cinética e dos quanta, já dactilografada, nela mostrarei como no ponto de vista atómico-molecular, por métodos estatísticos, se podem atingir e explicar satisfatoriamente as fórmulas e conceitos fundamentais da energética; na terceira parte incluiria a fotoquímica e a constituição atómica, na extensão em que interessa à explicação da valência e das transformações químicas». [34]

O volume II, com o sub-título “Teoria Cinética”, é encerrado com um capítulo sobre “A origem da teoria dos quanta”, que lida com a teoria dos *quanta* de Planck e a sua extensão a calores específicos, concluindo com o princípio da equipartição da energia. Não é referido o modelo de Bohr, que contudo Abílio Barreiro já havia abordado na sua oração de sapiência na Universidade do Porto em 16 de Outubro de 1931, onde escreveu [35]:

«O átomo de hidrogénio, suporte material dos fenómenos físicos, revelou-se um microcosmos constituído por um núcleo e por um electrão, a que vem juntar-se o fónon ou átomo de luz».

Como refere Helge Kragh, «só com os importantes trabalhos de Linus Pauling na década de 1930, ficou claro que o sucesso da química quântica dependia de um modo crucial dos factos experimentais da química e do modo de racionalização dos químicos. A nova geração de químicos quânticos teve de libertar-se do modo de pensar dos físicos e criar um novo quadro interdisciplinar para a sua ciência». Contudo, o novo domínio já não foi acompanhado por Bohr e pelos seus colaboradores do “Instituto Niels Bohr” [15]. Foi na sequência de tais estudos que, em 1947, o químico norte-americano Linus Pauling (1901-1994) publicou a sua famosa obra *General Chemistry: An Introduction to Descriptive Chemistry and Modern Chemical Theory*, na qual o modelo de Bohr é desenvolvido nos temas “estrutura do átomo e a molécula de hidrogénio”, “interpretação do sistema periódico em função da estrutura electrónica dos átomos” e “teoria quântica do átomo de hidrogénio”, incorporando também o “desenvolvimento matemático da teoria de Bohr sobre o átomo de hidrogénio” e “comprimento de onda associada ao electrão e a órbita de Bohr”. Tratava-se de uma revolução no ensino da Química, acessível aos que começavam os estudos superiores, ficando a mecânica quântica moderna remetida para níveis mais avançados no ensino da estrutura atómica em química, nomeadamente na

disciplina de Química-Física. O modelo de Bohr era, portanto, mobilizado para voos mais altos, designadamente a explicação da ligação covalente. No mundo nasciam então os alvares de um mundo sem guerra e estabeleciam-se os alicerces de uma função social para a ciência, agora menos presa de interesses militares. Em Portugal, o despertar da ciência ainda haveria de esperar. Contribuiu para essa espera a aposentação compulsiva de vários professores universitários, entre os quais Mário Silva e Manuel Valadares, precisamente em 1947.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Técnica de BAD Maria Judite Laranjeira todo o apoio prestado na obtenção de livros e documentos antigos, bem como à Fundação para a Ciência e Tecnologia o apoio financeiro prestado. Os autores também agradecem a Mário Costanzo Nunes a cedência e autorização de uso de uma fotografia do seu avô.

REFERÊNCIAS

- [1] A. Simões, *Gazeta de Física*, 25/3 (2002) 14-18
- [2] N. Bohr, “Textos Fundamentais da Física Moderna II: Sobre a constituição de átomos e moléculas”, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1969
- [3] N. Bohr, *Annalen der Physik* 71 (1923) 228-288
- [4] H. Kragh, “The Early reception of Bohr’s Atomic Theory (1913-1915): a preliminary investigation, RePoSS: Research Publications on Science Studies 9. Aarhus: Centre for Science Studies”, University of Aarhus em <http://css.au.dk/reposs/>, acessado em Junho de 2013. Ver também o recente livro de Helge Kragh, “Niels Bohr and the Quantum Atom: The Bohr Model of Atomic Structure 1913-1925”, Oxford University Press, 2012
- [5] A. Pais, “Niels Bohr’s Times in Physics, Philosophy and Polity”, Clarendon Press, Oxford, 1991
- [6] Na base de dados do *Web of Knowledge*, entre 1900 e 1950, regista-se um total de artigos para os seguintes países: EUA 200.225; Inglaterra 2.919; Alemanha 2.553; Suécia 964; Dinamarca 514; França 498; Hungria 493; Itália 393; Áustria 383; Holanda 289; Polónia 284; Finlândia 231; Bélgica 218; Espanha 90; Portugal 43; Grécia 20. A periferia dos países do sul da Europa em ciência é notória, mesmo na própria França, atendendo à sua dimensão populacional e à fuga a publicar em língua inglesa. No caso de Portugal uma contagem do somatório para (Lisboa or Lisbon) / Coimbra / ((Porto or Oporto) not (Porto Rico)), conduz a um total de 45 artigos, em vez de 43. No período após a 2.ª Guerra o panorama ainda piora, o máximo de três artigos entre 1950-1964; uma média de 0,2 art./ano, a comparar com a média de 0,9 art./ano na primeira metade do século XX. Inevitavelmente que há faltas na base de dados por erros de afiliação. No caso português, um ou outro artigo não refere “Portugal” na morada, e mesmo a instituição figura ocasionalmente com a morada de “Lisbonne”.
- [7] G. Beck, J.L.R. Martins, *Phys. Rev.* 62 (1942) 554
- [8] Ver em: <http://www.cmu.edu/physics/news/newsletter/interactions1995.pdf>; p. 9
- [9] D. Ruiivo Martins, “Dissertações Einsteinianas em Portugal (1911-1930)” in “Einstein entre nós, A recepção de Einstein em Portugal”, Carlos Fiolhais (coord.), Imprensa da Universidade, Coimbra, 2003, pp. 68-71
- [10] A. J. dos Santos Fitas, *Gazeta de Física* 34/2 (2011) 22-26
- [11] “Os estrangeirados na fundação do IST” em <http://100.ist.utl.pt/momentos/estrangeirados/> (acessado em 25 de Junho de 2013)
- [12] Uma nota biográfica de Giovanni Costanzo até ao final de 1940 encontra-se na “Grande Enciclopédia Portuguesa e Brasileira”, Editorial Enciclopédia Limitada, Lisboa/Rio de Janeiro, fasc. 83 de Fevereiro de 1943, pp. 907, 908.
- [13] G. Costanzo, “Notas das lições de Radioactividade dadas no Instituto Superior Técnico de Lisboa (III)”, *Revista de Chimica Pura e Applicada*, vol. XV, 2.ª série (1920) 220-235. A revista, por “dificuldades tipográficas”, apresentava ao tempo um atraso típico de publicação de um a dois anos. Atente-se, ainda, que as lições foram publicadas em fascículos sucessivos, tendo a “Introdução” e o “Capítulo I” sido publicados no ano anterior, *Revista de Chimica Pura e Applicada*, vol. XIV, 2.ª série (1919) 206-229 e 284-310.
- [14] Recensão em *Revista de Chimica Pura e Applicada*, vol. XII, 2.ª série (1917) 205
- [15] H. Kragh, *Physics Today* 66 (2013) 36-41
- [16] A. Monteiro Cardoso, “Os Anos de Afirmação”, in J. Freitas Branco (ed.), “Visões do Técnico, no Centenário 1911-2011”; <http://repositorio-iul.iscte.pt/handle/10071/4497>
- [17] A.L. Mira Fernandes, “Sobre o momento gradiente de fase”, *Técnica* 27 (1930) 311
- [18] A.L. de Mira Fernandes, “Valores médios em mecânica ondulatória”, *Técnica* 34 (1931) 66
- [19] A.L. de Mira Fernandes, “Modernas concepções da mecânica”, *Técnica* 50 (1933) 74; *Técnica* 51 (1933) 113; *Técnica* 52 (1933) 153; *Técnica* 53 (1933) 186
- [20] D. Ruiivo Martins, *ob. cit.*, pp. 64-65
- [21] M. Silva, “Elogio da Ciência”, Coimbra Editora Lda, 1971, nota de rodapé das pp.131-132
- [22] A revista *Nature* existe na Biblioteca do Departamento de Química desde 1894/95 (volume 51); ambos eram 2.ºs assistentes, em Anuário da Universidade de Coimbra, ano lectivo 1922-23, pp. 72-73
- [23] Mário Silva, *ob. cit.*, p. 129
- [24] E. F. Pinto Basto, *Rev. Fac. Ciencias Univ. Coimbra* 1 (1931) 12-27
- [25] *Id.*, p.27
- [26] W. Wessel, *Rev. Fac. Ciencias Univ. Coimbra* 1 (1931) 137-152. Ver ainda B. Stech, *Phys. BI.* 41/3 (1985) 78-79
- [27] “Mário Augusto da Silva. Uma Fotobiografia”, P. Renato Trincão e N. Gomes Ribeiro (coords.), Instituto História da Ciência e Tecnologia - Museu Nacional da Ciência e da Técnica, Coimbra, 2001
- [28] A. de Vasconcelos (Mariotte), “Ciência para todos”, Porto, 1925, pp. 250 e 297; ver também L. Miguel Bernardo, “Histórias da Luz e das Cores”, vol. 3, Universidade Porto Editorial, 2010, cap. 20, pp. 17-45; p. 33
- [29] O facto de não terem sido publicados Anuários da Universidade de Coimbra entre 1928/29 e 1937/38 não permite uma maior precisão

- [30] A.J.S. Fitas, A.A.P. Videira, “Cartas entre Guido Beck e Cientistas Portugueses”, Instituto Piaget, Lisboa, 2004
- [31] J. Simões Redinha, “Professor Ruy Couceiro da Costa: The pioneer in the teaching of quantum chemistry in Portugal”, in J. S. Redinha, J. da Providência e A. J. C. Varandas (eds.), “Quantal Aspects in Chemistry and Physics. A tribute to the memory of Professor Couceiro da Costa”, Imprensa da Universidade Coimbra, 2011, pp. 15-32
- [32] M. Teles Antunes, *Técnica* 9 (1942-1943) 58-114 e 114-135; ver L. Miguel Bernardo, *ob. cit.*, p. 35.
- [33] “Ruy Luis Gomes, Uma Fotobiografia”, Natália Bebiano da Providência (coord.), Univ. Porto/Gradiva, Lisboa, 2005
- [34] A. Barreiro, “Química-Física”, Imprensa Portuguesa, Porto (1945) vol. 1, pp. viii, ix, xi, xii.
- [35] Abílio Barreiro, “Apologia das Ciências: A resolução dos problemas metafísicos”, Porto, 1933.

ACTUALIDADES CIENTÍFICAS

DIÓXIDO DE CARBONO E CÉLULAS DE COMBUSTÍVEL

O crescimento acentuado da procura global de combustíveis tem sido acompanhado do aumento significativo dos níveis de dióxido de carbono na atmosfera. Estudos recentes têm tentado explorar formas de converter o dióxido de carbono em combustíveis líquidos por processos de reciclagem. O ião formiato é um intermediário na redução do dióxido de carbono e pode ser usado como combustível em células de combustível de ácido fórmico. No entanto, a produção selectiva deste ião, sem o uso de solventes orgânicos, tem sido um desafio. Por questões ambientais e económicas, a água é obviamente preferível a solventes orgânicos como meio reaccional. No entanto, a redução do dióxido de carbono em meio aquoso é dificultada pela própria redução da água a hidrogénio que é um processo cineticamente mais favorável.

Um trabalho recente de Thomas Meyer, Maurice Brookhart e Peng Kang da Universidade da Carolina do Norte, EUA, permitiu o desenvolvimento de um catalisador de irídio capaz de reduzir por via electroquímica o dióxido de carbono a ião formiato em meio aquoso, com elevada eficiência e selectividade. O processo de redução teve um rendimento de 93%, sem evidência de formação de monóxido de carbono. Apenas uma pequena fracção de hidrogénio (cerca de 7%) foi produzida no eléctrodo por redução do solvente. Foi ainda obtida informação cinética detalhada relevante para o processo de catálise. A elevada selectividade observada na formação do ião formiato, relativamente ao hidrogénio, foi explicada pela grande estabilidade em meio aquoso das espécies químicas de irídio cataliticamente activas na redução do dióxido de carbono. Em condições de pH neutro, o complexo de irídio estudado mostrou não promover a redução do solvente, tornando a água um solvente viável para utilização deste catalisador para o fim pretendido. O estudo mostrou ainda que a adição de pequenas quantidades (cerca de 1%) de acetonitrilo reduz o sobrepotencial, tornando a catálise sustentável. Os estudos mecanísticos mostraram que o acetonitrilo tem um papel-chave na formação efectiva do ião formiato, evitando a desactivação do catalisador.

Wenzhen Li, um especialista na redução electroquímica de dióxido de carbono, da *Michigan Technological University*, EUA, considerou este trabalho entusiasmante. O único problema que ele reconhece é que o ião formiato e o catalisador são ambos solúveis em água, tornando difícil e dispendiosa a sua separação. Referiu ainda que seria mais interessante o desenvolvimento de um catalisador semelhante que permitisse aumentar o grau de redução do dióxido de carbono a monóxido de carbono ou até a hidrocarbonetos.

O grupo de investigadores da universidade da Carolina do Norte está agora a desenvolver catalisadores mais eficientes e a estudar formas de imobilizá-los em eléctrodos.

(adaptado de “Turning carbon dioxide into something useful”, <http://www.rsc.org/chemistryworld/2013/07/iridium-catalyst-carbon-dioxide-reduction-formate> e P. Kang, T.J. Meyer, M. Brookhart, *Chem. Sci.* 4 (2013) 3497

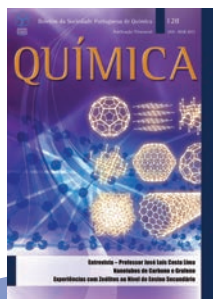
Paulo Mendes
(pjpgm@uevora.pt)

Artigos

Notícias

Química e Ensino

Agenda e Destaques



Livros

Entrevistas

Actualidades Científicas

Química para os + Novos