

DESCOBERTA E NATUREZA DOS RAIOS X

LÍDIA SALGUEIRO

Centro de Física Atómica da Universidade de Lisboa

Neste artigo faz-se uma breve síntese da descoberta dos Raios X, feita por Wilhelm Conrad Roentgen, em 1895, referindo-se ainda factos correspondentes à sua biografia.

Descrevem-se algumas experiências, feitas por físicos notáveis, que levaram à descoberta da natureza da referida radiação e ao conhecimento de algumas das suas propriedades.

São também referidas, a título de informação, algumas das suas mais importantes aplicações actuais.

Primeiro Centenário da Descoberta dos Raios X

Wilhelm Conrad Roentgen nasceu em 1845 em Lenneps, Alemanha.

Formou-se na Politécnica de Zurich em 1866 e foi professor na Universidade de Estrasburgo, no Instituto Giessen e nas Universidades de Würzburg e Munich. Nesta última Universidade dirigiu o Instituto de Física.

O que o imortalizou foi a descoberta dos Raios X, feita quando estava em Würzburg, em 8 de Novembro de 1895, que lhe permitiu ser galardoado com o Prémio Nobel de Física em 1901 (Fig. 1).

Estudos feitos por outros investigadores, designadamente por Lenard e Wiedman sobre raios catódicos poderiam ter levado os referidos cientistas a esta famosa descoberta.

No entanto, os resultados que obtiveram não os conduziram a uma análise, que permitisse mostrar a existência dos referidos raios.

Roentgen aproveitou umas férias para se dedicar ao estudo dos raios catódicos, estudo que o levou à sua famosa descoberta.

Colocou numa câmara escura um tubo de raios catódicos dentro de uma caixa de cartão preta; perto da caixa estava uma folha de papel com platino-cianeto de

bário. Quando o tubo estava a trabalhar o papel tornou-se fortemente fosforescente.

Roentgen verificou ainda que placas fotográficas, protegidas da luz, ficavam impressionadas quando expostas nas condições anteriores.

Fotografou a mão de sua mulher, que ficou horrorizada ao ver os ossos, lembrando-lhe a ideia da morte!

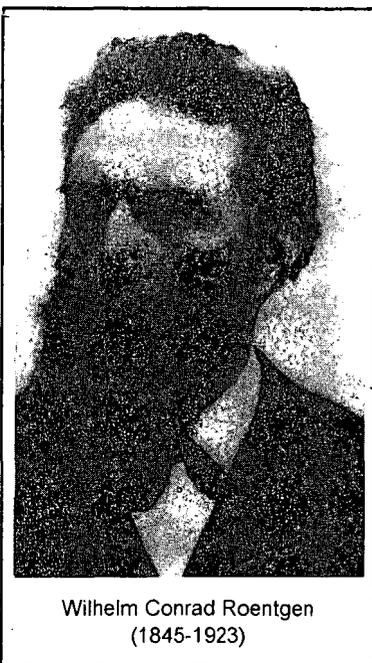
Concluiu que o tubo emitia uma radiação penetrante, ainda não conhecida, e que, por essa razão, denominou Raios X.

Roentgen trabalhou afanosamente para investigar a natureza desta nova radiação.

Verificou que os raios se produziam a partir da região em que embatiam os raios catódicos.

Em 28 de Dezembro de 1895 enviou um manuscrito preliminar da sua descoberta ao Presidente da *Physikalisch-Medicinischen Gesellschaft* de Würzburg. No entanto, a sua primeira comunicação foi feita em 23 de Janeiro de 1896 e, após a publicação do trabalho referente à sua espectacular descoberta, enviou separatas aos seus amigos cientistas.

Roentgen era um homem que não gostava de fazer publicidade e evitava contactos pessoais; no entanto, não pôde



Wilhelm Conrad Roentgen
(1845-1923)



Fig. 1 — Wilhelm Conrad Roentgen no seu laboratório da Universidade de Würzburg, onde teve lugar a descoberta dos Raios X

recusar um convite para apresentar a sua descoberta em Berlim.

Demonstrou o poder penetrante desta radiação, fazendo passar um feixe de Raios X através da mão do anatomista e fisiologista Kölliker.

A fotografia dos ossos fez, desde logo, vislumbrar a importância desta técnica em medicina.

Fez mais duas comunicações, publicadas na revista *Annalen* com as datas de 9 de Março de 1896 e Março de 1897.

Roentgen determinou algumas propriedades desta radiação.

Assim, verificou que não eram desviadas por campos eléctricos ou magnéticos, que se propagam em linha recta, que ionizam os gases, que produzem fluorescência em determinadas substâncias e que atravessam corpos opacos de várias espessuras e de diferentes materiais.

Realizou um conjunto de experiências, que lhe permitiu concluir que a absorção produzida pelos corpos era função da sua massa específica.

Elaborou um quadro respeitante à espessura relativa de vários corpos para produzirem a mesma absorção.

Os resultados a que chegou estão indicados na Tabela I:

Tabela I

Elementos	Espes.(mm)	Espes.relat.	Densidade
Platina	0,018	1	21,5
Chumbo	0,015	3	11,3
Zinco	0,10	6	7,1
Alumínio	3,5	200	2,6

Esta tabela mostra que para o alumínio produzir aproximadamente a mesma absorção do que a platina tem que ter uma espessura cerca de 200 vezes maior do que a platina, enquanto que a massa específica da platina é cerca de 10 vezes superior à do alumínio.

Verificou que uma lâmina de chumbo de 1,5 mm de espessura era praticamente opaca aos Raios X produzidos, o que tornou este metal utilizado posteriormente para protecção das referidas radiações.

Numa das memórias apresentada numa sessão da Sociedade físico-química de Würzburg, termina:

Que são estes raios? Dado que não são raios catódicos poder-se-ia supor, atendendo à sua faculdade de produzir fluorescência e acção química que são devidos a radiação ultravioleta. No entanto, um conjunto de provas está em contradição com essa hipótese.

Com efeito, as suas propriedades mostram que se comportam de modo diferente do das radiações ultravioletas e também do das radiações visíveis e infravermelhas, já conhecidas.

As primeiras ampolas produtoras de Raios X, designadas por ampolas de Crookes, eram tubos de descarga a baixa pressão (Figs. 2 e 3).

A Fig. 2 corresponde à ampola usada por Roentgen.

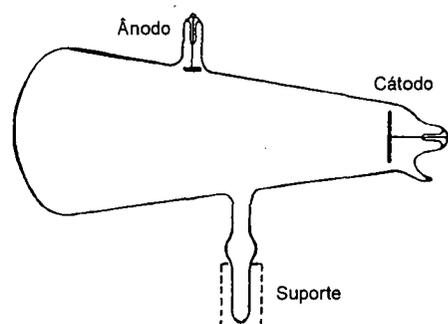


Fig. 2 — Foi com uma ampola deste tipo que Roentgen descobriu os raios X. Os raios originários do cátodo embatem na extremidade arredondada da ampola, atravessando-a para o exterior.

Posteriormente, em 1913, empregaram-se também ampolas de vácuo permanente (tipo Coolidge, Fig. 4), em que os Raios X são produzidos por embate de electrões num anticatódio.

Após a obtenção de radiografias utilizou-se a observação de objectos sobre um alvo tornado fluorescente pela acção dos Raios X.

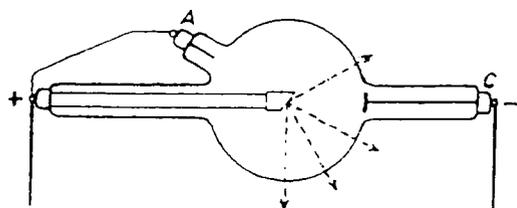


Fig. 3 — Ampola de Crookes, que é um tubo de descarga eléctrica a baixa pressão, possuindo um eléctrodo positivo (A, ânodo) e um eléctrodo negativo (C, cátodo).

Designou-se esta técnica por fluoroscopia.

A Fig. 5 corresponde a um dos primeiros aparelhos utilizados para obter a radiografia da mão de um indivíduo.

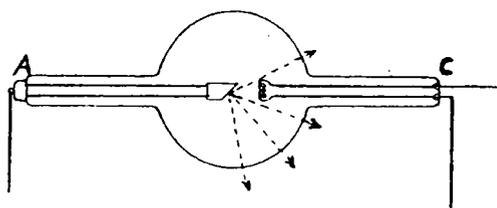


Fig. 4 — Ampola de vácuo permanente, tipo Coolidge, para a produção de Raios X.

Nesta figura *B* é uma bobina de Ruhmkorff e *T* um tubo de raios catódicos.

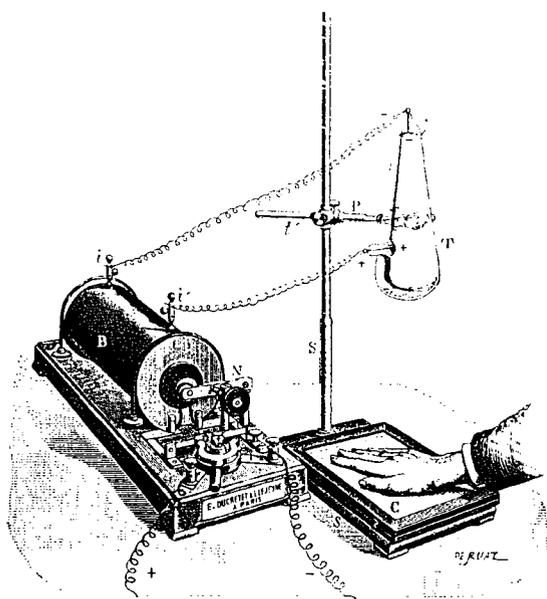


Fig. 5 — A bobina de Ruhmkorff servia para excitar a ampola de Raios X com uma elevada diferença de potencial eléctrico, aplicada entre o ânodo e o cátodo da ampola. A fig. mostra o dispositivo experimental utilizado por Roentgen em 1895.

As primeiras experiências feitas em França sobre os Raios X devem-se a M. Gaston Seguy.

A Fig. 6 representa uma das primeiras radiografias feita com um tempo de exposição de 40 mn. Foi objecto de uma comunicação apresentada por M. Poincaré à Academia das Ciências de Paris e representa um marcador de página e um porta moedas, contendo uma moeda.

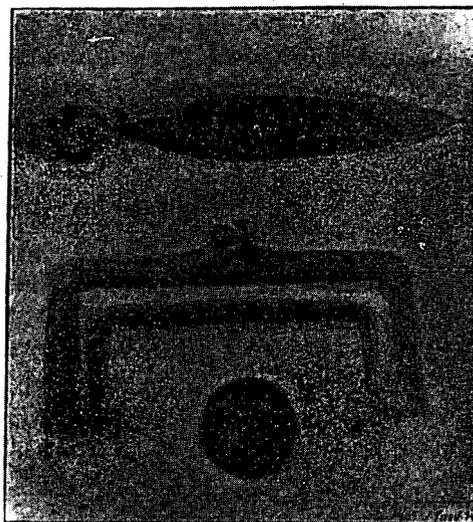


Fig. 6 — Uma das primeiras radiografias, representando um marcador de página e um porta moedas, contendo uma moeda.

A Fig. 7, obtida também por M. G. Seguy representa várias espécies de conchas, umas relativamente permeáveis aos Raios X, apresentando sombras mais ou menos acentuadas, correspondendo à sua estrutura interna e outras mostrando grande opacidade, o que denota a diferença de composição das substâncias que as constituem.



Fig. 7 — Radiografias de várias espécies de conchas, apresentando diferentes graus de absorção dos raios X.

M. M. Imbert e Bertin distinguiram o marfim animal de um marfim vegetal extraído da albumina de uma palmeira da América, empregada muitas vezes em substituição da primeira no fabrico de pequenos objectos. O marfim vegetal, com espessura de 3 cm apresenta a mesma absorção que o marfim animal com espessura de 0,6 mm, isto é, 5 vezes menor.

M. M. Lestenvère e D. Levrat mostraram que utilizando Raios X se pode distinguir o sexo dos bichos de seda. As crisálidas fêmeas contêm ovos no seu interior produzindo-se uma maior absorção da radiação.

Como o rendimento na produção da seda é maior nas fêmeas esta verificação pode ter algum interesse.

Uma aplicação curiosa refere-se ao estudo de conchas de animais, durante o seu desenvolvimento, utilizando Raios X. Na Fig. 8 indica-se uma radiografia da concha de um caracol existente nas Índias Orientais. Este estudo pôs em evidência o facto dos animais vivendo em conchas se moverem dentro da concha, que vai alargando à medida que vão crescendo. Os referidos animais vão fechando o espaço atrás de si com delicadas paredes transversais.

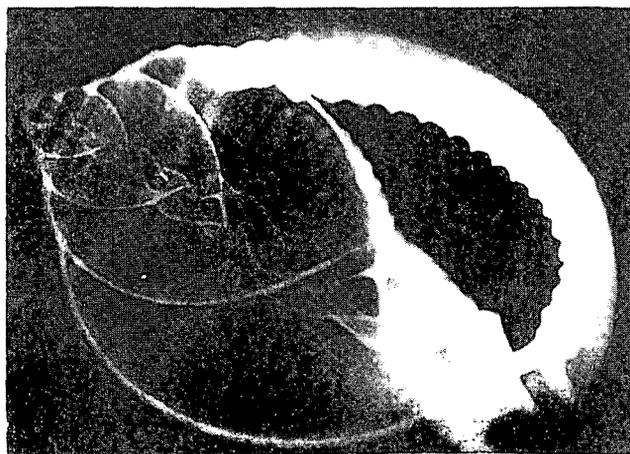


Fig. 8 — Radiografia da concha de um caracol existente nas Índias Orientais; estes estudos revelaram a mobilidade do caracol no interior da sua concha.

M. Ranvez utilizou radiografias para estudar matérias vegetais, pondo em evidência falsificações, mais frequentes, principalmente as que resultam da adição de substâncias minerais.

Com efeito, as matérias orgânicas são, em geral, mais transparentes aos Raios X do que as de origem mineral. Assim, a adição de uma certa quantidade de uma substância de origem mineral torna a substância falsificada mais opaca, o que pode ser verificado por exame radiológico. Este método de análise exige apenas pequenas quantidades de matéria.

A falta de conhecimento sobre a natureza dos Raios X levou a não se atender à sua acção prejudicial e a não se fazer a necessária protecção.

Por exemplo, em Julho de 1896, Mr. Hawks, demonstrador de roentgenografia, sofreu várias queimaduras e teve problemas de visão devido ao emprego de Raios X sem os cuidados necessários.

Roentgen realizou numerosos trabalhos fora do domínio dos Raios X.

Publicou cerca de 58 artigos, sendo apenas três dedicados aos Raios X.

O seu sucesso em vários ramos da Física deve-se em grande parte, à sua enorme cultura e à sua facilidade de passar de uma concepção teórica para a sua realização experimental.

Após a publicação dos artigos referentes a Raios X dedicou-se ao estudo de propriedades de cristais, que já anteriormente o haviam interessado.

É de estranhar que após a sua famosa descoberta voltasse a dedicar-se a outros ramos da Física e não prosseguisse investigações nesse domínio, deixando essa tarefa para outros investigadores.

Roentgen havia reconhecido nos Raios X propriedades semelhantes aos raios luminosos. Diversos investigadores reuniram com grande dificuldade resultados, que reforçaram essa opinião.

Stokes foi o primeiro físico a sugerir a sua natureza electromagnética e previu a sua extensão para além da região visível, no domínio de menores comprimentos de onda.

Barkla mostrou que de facto se tratava de radiação electromagnética, a partir de estudos da sua difusão por elementos.

Demonstrou a polarização dos Raios X.

Descobriu, a partir de experiências de absorção, que os Raios X emitidos por vários elementos são formados por grupos característicos, que designou por K, L, M..., nome também hoje usado para os níveis atômicos. O facto de estar convencido da existência de radiação mais penetrante do que a correspondente ao grupo K levou-o a não empregar as primeiras letras do alfabeto A, B,... e a começar pela letra K.

Mais tarde descobriu-se a radiação gama, de comprimento de onda inferior ao dos Raios X.

Barkla foi galardoado com o Prémio Nobel de Física em 1917.

Nas Tabelas II e III indicam-se, respectivamente, os valores das frequências e dos comprimentos de onda no vácuo das radiações electromagnéticas.

Tabela II

Designação	Frequência (Hertz)
Ondas de rádio	$< 3 \times 10^{12}$
Infravermelho	3×10^{12} a 37×10^{13}
Visível	37×10^{13} a 75×10^{13}
Ultravioleta usual	75×10^{13} a 15×10^{14}
Ultravioleta curto	15×10^{14} a 3×10^{16}
Raios X moles	3×10^{16} a 3×10^{18}
Raios X usuais	3×10^{18} a 6×10^{19}
Raios gama	$> 6 \times 10^{19}$

Tabela III

Designação	Comprimento de onda (vácuo)
Ondas de rádio	$> 0,1$ mm
Infravermelho	100μ a $0,8 \mu$
Visível	$0,8 \mu$ a $0,4 \mu$
Ultravioleta usual	$0,4 \mu$ a $0,2 \mu$
Ultravioleta curto	$0,2 \mu$ a $0,01 \mu$
Raios X moles	100 \AA a 1 \AA
Raios X usuais	1 \AA a $0,05 \text{ \AA}$
Raios gama	$< 0,05 \text{ \AA}$

Para estudar espectros de Raios X as redes de difração, utilizadas na época, não permitiam suficiente separação das radiações constituintes do feixe.

Ocorreu a Laue a ideia de utilizar cristais para esse fim, baseando-se numa hipótese de Bravais, segundo a qual os átomos e moléculas se dispõem regularmente, formando uma rede a três dimensões em que, no caso do cloreto de sódio, os átomos do cloro e de sódio ocupam, alternadamente, os vértices de cubos elementares (Fig. 9).

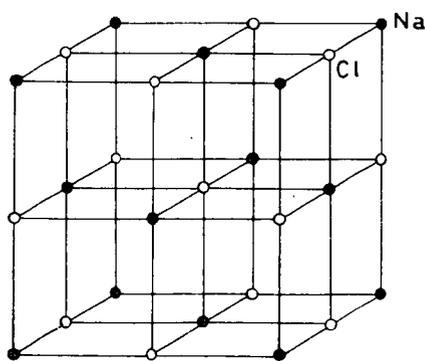


Fig. 9 — Rede cristalina do cloreto de sódio.

Max von Laue, juntamente com Friedrich e Knipping utilizaram a reflexão selectiva dos cristais, empregando um espectro contínuo de Raios X, colimado, um cristal e uma chapa fotográfica.

Obtiveram uma mancha central cercada por pequenas manchas que punham em evidência a simetria do cristal.

Designou-se este conjunto por *lauegrama* ou diagrama de Laue.

Na Fig. 10 representa-se o dispositivo empregado por Friedrich e Knipping; nesta figura *A* corresponde a um alvo de alumínio, *B* a um alvo de chumbo; *D* e *C* são, respectivamente, diafragmas de chumbo e um cristal; *P* e *E* correspondem à placa fotográfica e a um alvo visor.

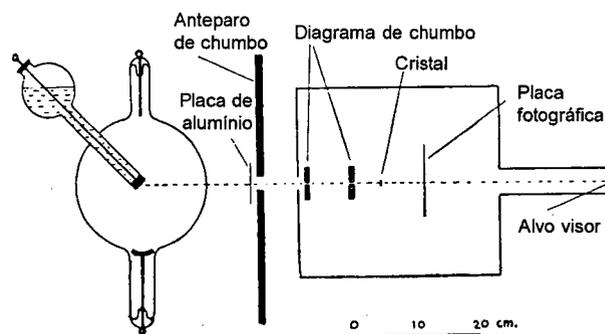


Fig. 10 — Dispositivo experimental utilizado por Friedrich e Knipping para demonstrar a difração de raios X, através da sua passagem através de um cristal.

A Fig. 11 representa um diagrama de Laue.

Laue enviou a Einstein uma das fotografias obtidas. Einstein escreveu em 1912:

Laue enviou-me uma fotografia, mostrando o fenómeno da difracção, utilizando Raios X. É uma das coisas mais maravilhosas que já vi; a difracção, por moléculas simples, cujo arranjo no espaço é assim repetido.

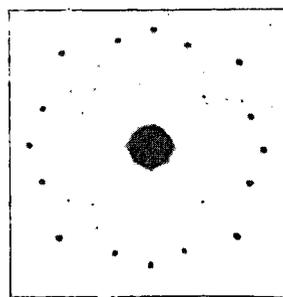


Fig. 11 — Diagrama de Laue.

Laue disse, a propósito do trabalho que lhe mereceu o Prémio Nobel em 1914:

Fui afortunado por me ter lembrado de dirigir um feixe de Raios X para um cristal e de ter tido que aprender cristalografia.

Laue deu um terço do dinheiro correspondente ao Prémio Nobel recebido aos seus colaboradores Friedrich e Knipping.

Em 1913 William Bragg e seu filho W. L. Bragg estudaram a reflexão selectiva dos Raios X pelos cristais e projectaram um espectrómetro para Raios X.

As suas experiências confirmaram que os Raios X são de natureza ondulatória e que actuam como uma espécie de rede de difracção.

Mostraram ainda como calcular os comprimentos de onda dos Raios X e obtiveram resultados sobre a estrutura dos cristais por difracção dos Raios X.

Foram galardoados com o Prémio Nobel de Física em 1915; é o primeiro caso em que pai e filho receberam o referido prémio simultaneamente.

Lawrence Bragg estabeleceu a conhecida lei de Bragg:

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

sendo n um número inteiro, λ o comprimento de onda da radiação empregada e θ o ângulo de Bragg.

Henry Bragg imaginou um espectrómetro de Raios X com o qual foram determinadas estruturas de cristais.

Maurice de Broglie, um irmão de Louis de Broglie, foi um dos primeiros cristalógrafos de França, trabalhando em difracção de Raios X.

Foram também importantes os trabalhos de Moseley que mostraram que os elementos se devem colocar por ordem crescente do seu número atómico, isto é, atendendo ao número de electrões extranucleares. A sua lei permitiu explicar algumas aparentes contradições da tabela de Mendeleiev.

Em 1924 K. M. Siegbahn obteve o Prémio Nobel de Física por estudos sobre espectroscopia de Raios X e o mesmo Prémio foi concedido a A. H. Compton devido a estudos de dispersão de Raios X por electrões.

O último artigo de Roentgen sobre fotocondutibilidade, de cerca de 195 páginas, foi uma das maiores contribuições para a Física, nesse ramo da ciência.

Reformou-se da cátedra em Munich em 1920.

Faleceu em 1923, estando portanto ainda vivo quando cientistas mencionados estudaram a origem e propriedades da radiação por ele descoberta, tendo alguns sido galardoados com o Prémio Nobel pelos trabalhos referidos.

Em 1923 foi publicado na revista *Physikalische Zeitschrift* um artigo sobre a sua morte. Nesse artigo W. F. Friedrich descreve-o como o primeiro de todos os Físicos Experimentais.

Desde a descoberta dos Raios X por Roentgen até aos nossos dias as aplicações da referida radiação tem-se desenvolvido em muitos ramos da ciência.

A instrumentação médica foi-se aperfeiçoando e passaram também a empregar-se outros modos de produção de Raios X, como o sincrotrão, o PIXE, etc.

Em 1940 criou-se, sob a orientação de Manuel Valadares, o Centro de Estudos de Física, na Faculdade de Ciências de Lisboa, onde foram realizadas investigações de espectrometria de Raios X, em átomos ionizados; razões várias levaram a que a referida investigação prosseguisse no actual Centro de Física Atómica. Até 1990 foram realizados doutoramentos e publicados trabalhos em revistas nacionais e estrangeiras.

Neste Centro prosseguem agora investigações no domínio da biofísica, poluição, etc. utilizando Radiação X.

Actualmente numerosos organismos, empresas e Universidades utilizam esta radiação para aplicações em âmbitos diversos.

Citaremos, a título de exemplo, a análise química por fluorescência de Raios X, estudos de história de arte e arqueologia, química forense, astronomia, biofísica, poluição ambiental, etc.

Apesar do interesse indiscutível de todas estas aplicações parece-nos poder afirmar que o desenvolvimento, do ponto de vista humano, mais beneficiado, foi o referente às aplicações médicas.

BIBLIOGRAFIA

- BRAGG, W. H. and BRAGG, W. L. — *X-Rays and Crystal Structure*, London, George Bell and Sons Ltd, 1925.
- DE BROGLIE, M. e DE BROGLIE, L. — *Introduction à la Physique des Rayons X et Gamma*, Paris, Gauthier-Villars, 1923.
- CLARK, G. L. — *Applied X-Rays*, New York, Mc Graw-Hill Book Company, Inc., 1955.
- COMPTON, A. H. and ALLISON, S. K. — *X-Rays in Theory and Experiment*, New York, D. Van Nostrand Company, Inc., 1935.
- GIBERT, A. — *Origens Históricas da Física Moderna*, Fundação Calouste Gulbenkian, 1983.
- NICOLLE, J. — *Roentgen et l'ère des Rayons X*, Paris, Seghers, 1965.
- SALGUEIRO, L. e G. FERREIRA, J. — *Introdução À Física Atómica e Nuclear*, vol. I, 1970.
- WEEKS, M. and LEICESTER, H. M. — *Discovery of elements*, Journ. of Chem. Educ., Easton, P. A., 1968.

Lídia Salgueiro é Professora Jubilada da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa