

Introdução

Matemática e Física são palavras que quase sempre evocam lembranças desagradáveis de conceitos difíceis de entender e que se relacionavam com indivíduos estranhos. Em minha fase escolar, os professores vez por outra diziam que as ciências eram um assunto "árido" e muitos estudantes concordavam com essa classificação. A visão das fórmulas matemáticas impressas era uma indicação certa de incompreensibilidade ou até de magia negra. Mesmo hoje em dia, as ciências são acusadas de atividades iníquas com tanta frequência que nos esquecemos de que a elas também podem ser atribuídas algumas boas ações.

A despeito dessas opiniões negativas, a pesquisa científica é tão fascinante, dramática e plena de interesse humano quanto a criação artística. Não obstante, a maior parte dos aspectos históricos e biográficos que ganham realce em disciplinas literárias ou artísticas quase sempre são omitidos no ensino das ciências. Tal fato ocorre provavelmente em razão do caráter cumulativo das ciências. Se não tivesse havido um Newton, alguma outra pessoa teria inventado o cálculo e descoberto a gravitação, mas sem Shakespeare não teria havido um *Hamlet*. Portanto, encontram-se mais justificativas para o estudo da vida de Shakespeare do que para o estudo da vida de Newton.

Acredito, entretanto, que também a física tem um rico componente humano, e é sobretudo esse componente que desejo descrever aqui. Restrinjo-me à física, porque é o campo de que tenho conhecimento direto. Espero que essa familiaridade possa ajudar-me a transmitir um pouco da inspiração, do esforço criativo e do drama contido no trabalho científico.

Esses aspectos históricos deveriam ser de interesse não apenas para físicos. Com frequência se diz — e provavelmente com razão — que os séculos XIX e XX constituem uma era tão brilhante e tão peculiar para as ciências quanto a Renascença o foi para as artes. Aqueles que tiveram a ventura de ser contemporâneos dos Michelangelos ou dos Shakespeares de nossa era poderão recordar-se desse fato com uma rapidez e um *pathos* que superam aquilo que se pode depreender apenas das obras. Embora Marie Curie, um dos maiores expoentes desta outra Renascença, tenha dito que "*en science nous devons nous intéresser aux choses, non aux personnes*" [em ciência, devemos interessar-nos pelas coisas e não pelas pessoas], acredito que tal opinião seja excessivamente rígida.

Neste livro tentarei evocar as personalidades de alguns dos grandes físicos deste século e salientar algumas de suas realizações, procurando

torná-las apreensíveis para os leigos. Com um pouco de boa vontade e algumas lacunas, isso será possível. Evitarei ser muito técnico, para ser inteligível para aqueles que não são profissionais. De quando em vez, os leitores poderão pular algumas páginas, se as acharem muito difíceis, sem perder o fio da meada.

Mas é necessário que se tenha algum conhecimento de física. Embora todos possamos admirar o *Davi*, de Michelangelo, ou ler *Hamlet* (e mesmo nesses dois casos pode haver grandes diferenças de ponto de vista, dependendo de nossa formação), não é possível entender a dupla natureza dos *quanta* de luz ou a equação de Schrödinger sem um mínimo de preparo. As fórmulas matemáticas simplificam a história. A matemática é a linguagem natural da física, conforme Galileu salientou, e, embora Volta e Faraday tivessem escrito grandes teorias de física sem fazerem uso de uma linguagem matemática formal, pensavam matematicamente e o desconhecimento que ambos tinham da matemática-padrão os torna menos — e não mais — inteligíveis.

Não devemos ainda esquecer que muitos avanços científicos foram conseguidos mediante as contribuições de uma multidão de trabalhadores, que prepararam o terreno e fizeram o trabalho preliminar essencial. Trata-se de pessoas quase sempre desconhecidas ou esquecidas em sua qualidade de indivíduos, mas que, coletivamente, são indispensáveis. Além do mais, os fatos científicos relacionam-se entre si e podem coincidir no tempo e no espaço. Se procurarmos acompanhá-lo bem de perto, esse intrincado contraponto pode levar a complicações e confusões. Por isso, escolhi seguir a tendência dos eventos, às vezes em detrimento da ordem cronológica estrita.

O Mundo do Físico em 1895

É natural que comecemos nossa história por volta do ano de 1895 porque durante dois ou três anos dessa época os físicos deram uma guinada decisiva: algumas descobertas experimentais ampliaram um conhecimento microscópico do mundo atômico. Os químicos já sabiam da existência dos átomos desde pelo menos cem anos antes e, através da teoria cinética dos gases, os físicos também obtiveram bom aproveitamento das idéias sobre o átomo, mas nada se conhecia a respeito da sua composição e estrutura.

No mundo ocidental, que foi onde começou a revelar-se o conhecimento da estrutura do átomo, a Inglaterra, a França e a Alemanha eram os três países líderes na área de ciências. As três grandes potências passavam por situações políticas e sociais diferentes. A Inglaterra estava no auge do esplendor sob o império da Rainha Vitória. A Rainha, que se tornara Imperatriz da Índia em 1876, estava no trono desde 1837. A celebração de seu jubileu em 1887 transformou-se em uma demonstração da lealdade do país para com ela e de orgulho por seu império. Enriquecida por 2.500.000 milhas quadradas de territórios recentemente adquiridos, a *Britannia* “dominava os mares” em esplêndido isolamento.

A França ainda estava sofrendo as conseqüências das derrotas da guerra franco-prussiana de 1870 e 1871, que representara violento abalo para seu ego e para a imagem que o povo francês tinha de si mesmo. A desmoralização

dos franceses pode ser medida pela reação de Pasteur e de outros cientistas franceses diante dos desastres da guerra. Amargurados, feridos no mais fundo de seu patriotismo, associaram eles a derrota à atitude de negligência quanto às ciências nos cinquenta anos anteriores e lembraram com orgulho o papel desempenhado pelas ciências na defesa do país durante a Revolução e durante as guerras napoleônicas. Pasteur esperava que, através das ciências, se pudesse apressar a recuperação da França.

A Alemanha, em rápido processo de ascensão e dominada pelos militares, tinha tomado um rumo imperialista. A longa luta entre a autoridade civil e a autoridade militar, que durara mais de sessenta anos, infelizmente terminara com a vitória dos militares. Bismarck fora demitido em 1890. O Cáiser Wilhelm II (1859-1941) era, entre os governantes da época, jovem e inexperiente. Considerando-se brilhante — o que não era verdade — acreditava ele que estava governando a Alemanha de forma soberba e propiciando-lhe uma fase gloriosa. No início da Primeira Guerra Mundial, declarou o seguinte: “*Ich führe euch herrlichen Zeiten entgegen*”: [“Levo-os a tempos gloriosos”]. Era apenas sua opinião.

No mundo de 1895 não havia aviões, praticamente não havia telefones e a eletricidade era muito precária. O oceano podia ser cruzado num navio a vapor, mas mesmo então, setenta e cinco anos depois que os transatlânticos tinham começado a fazer uso do vapor, os navios eram ocasionalmente equipados com velas suplementares. A principal forma de comunicação era o correio, não apenas entre lugares distantes, mas também dentro das próprias cidades. Paris, por exemplo, tinha um sistema bastante rápido de correio pneumático: uma rede de tubos em que as cartas eram impulsionadas por ar comprimido. As ruas eram iluminadas a gás.

Em 1895, não havia automóveis. Mas, dois anos mais tarde, quando Ernest Rutherford visitou a exposição do Crystal Palace, em Londres, escreveu o seguinte para sua mãe: “O que mais despertou meu interesse foram as carruagens sem cavalos, duas das quais estavam treinando nos pátios em frente”. Essas carruagens andavam a cerca de 12 milhas por hora mas faziam “muito barulho” e “chocalhavam”. Contudo, mesmo sem automóveis havia acidentes de trânsito, quando os cavalos que puxavam cabriolés ou charretes escapavam ao controle. Alguns anos mais tarde, em 1906, a ciência perderia um de seus maiores nomes em um desses acidentes. Não havia poluição, mas as estradas cheiravam a estrume, conseqüência tão inevitável dos meios de transporte daquela época quanto a fumaça dos nossos veículos movidos a gasolina. As cidades eram menores e mais bonitas do que hoje em dia, mas nem sempre dispunham de condições de saneamento satisfatórias.

Os laboratórios de física eram muito diferentes em matéria de organização e de equipamentos se comparados com os atuais. Em geral havia apenas um professor, que quase sempre morava no próprio laboratório e que tinha pouquíssimos assistentes. Atualmente, quando classificamos uma instituição, fazemo-lo segundo a potência de seu acelerador ou talvez a capacidade de refrigeração de suas instalações criogênicas. Mas em 1895 os aceleradores e as instalações criogênicas estavam muito longe de se

tomarem uma realidade, embora a liquefação do ar em escala comercial tivesse sido conseguida antes daquele ano.

Uma das formas de classificar um laboratório era segundo a capacidade da bateria que esse laboratório possuía. Os laboratórios daquela época precisavam de eletridade para as experiências, mas não podiam extrair eletridade dos geradores, pela simples razão de que praticamente não havia geradores; assim, mantinham as baterias nos porões. Uma bateria era constituída por uma série de pilhas elétricas; quanto maior o número dessas pilhas, mais elevado o *status* do estabelecimento. Diversos tipos de pilhas elétricas tinham sido aperfeiçoadas desde a "pilha elétrica" original de Volta, de 1800. Todas baseavam-se no mesmo princípio, mas variavam na composição de seus eletrodos e nas soluções eletrolíticas. Muitos laboratórios científicos usavam as pilhas de Bunsen, que podiam alcançar alta voltagem (até 1,95 volts) e fornecer altas correntes. Mas era uma tarefa bastante difícil mantê-las sempre em condições de funcionamento, pois continham ácido sulfúrico e ácido nítrico, que corroíam o anódio de zinco e exalavam vapores fortes e incômodos.

Há instruções pormenorizadas sobre o manejo de baterias de pilhas de Bunsen em um manual de física francês de autoria de Adolphe Ganot, publicado em 1863. (Foi a edição desse livro que me apresentou à física quando eu tinha mais ou menos onze anos de idade.) Ao relê-lo faz pouco tempo, fiquei impressionado com a lucidez dessas instruções e delas passo a traduzir alguns trechos:

"A mistura de água e ácido sulfúrico deve ser preparada com antecedência... Primeiro, entorne a água em uma tina de madeira, depois acrescente o correspondente a um décimo do volume da tina de ácido sulfúrico, de forma a que a solução indique 10 a 11 graus na escala de ácidos de Baumé. Se não dispuser de uma escala de Baumé, a água ficará suficientemente acidulada quando se tornar tépida e ninguém suportará uma gota dessa água na língua. As pilhas devem ser colocadas... em uma mesa de madeira totalmente seca... Depois, com um funil, entorne ácido nítrico no recipiente interno poroso até um máximo de dois centímetros abaixo da borda... Os cones truncados que se encaixam no filamento devem ser cuidadosamente trabalhados com uma lixa, para garantir uma boa conexão... O que se precisa observar acima de tudo é a amalgamação das placas de zinco. Uma placa deverá estar amalgamada quando se ouvir um sibilo na água acidulada enquanto a pilha não estiver em uso... a água acidulada também poderá produzir vapor e mesmo ferver... Para amalgamar as placas de zinco... coloque-as, uma após a outra, em um vaso de louça que contenha um pouco de água acidulada e dois quilogramas de mercúrio e espalhe sobre as placas com uma escova de ferro..."

Um dos instrumentos mais importantes da época era a bobina de Ruhmkorff (bobina de indução), que era usada para produzir altas diferenças de potencial e longas centelhas (Figura 1). O instrumento compunha-se de duas espirais enroladas em uma barra de ferro cilíndrica e isoladas entre si. Uma bateria elétrica produzia uma corrente no enrolamento primário e essa corrente era repetidamente interrompida por um disjuntor. A variação da corrente primária induzia uma corrente no enrolamento secundário,

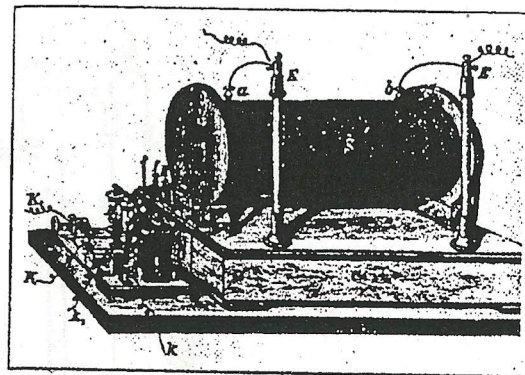


Figura 1.1. Uma bobina de Ruhmkorff. (De Urbanitzky, *Electricity*, 1890.) Trata-se de um transformador em que a corrente no enrolamento primário é repentinamente interrompida. Tal fato gera uma voltagem elevada no enrolamento secundário, que lança uma centelha no ar. O enrolamento servia para suprir válvulas ou tubos de descarga.

criando entre os terminais do secundário uma diferença de potencial. Embora o enrolamento primário fosse feito de arame grosso, com poucas voltas, o secundário era um arame fino com tantas voltas, que tinha milhas de comprimento. Uma grande bobina de Ruhmkorff desse período, preservada na Royal Institution de Londres, tem um enrolamento secundário de 280 milhas e podia produzir centelhas de 42 polegadas. Desse modo, o comprimento das centelhas, como a força de uma bateria, podia servir de padrão para classificar um laboratório.

A produção de vácuo tem dominado a pesquisa física há mais de cem anos e todos os progressos feitos nas pesquisas sobre o átomo coincidirão com os progressos feitos na tecnologia do vácuo. Nos laboratórios de 1895, o vácuo, criado por bombas primitivas, era necessário para experiências sobre descarga de eletridade através de gases, experiências que resultaram na descoberta dos raios X e do elétron não muito tempo depois.

A Figura 1.2 mostra a bomba que foi usada por Sir William Crookes em suas pesquisas sobre descargas elétricas em tubos de vácuo. Os tubos a serem esvaziados de ar eram conectados à bomba através do tubo de secagem que continha ácido fosfórico, à direita. O mercúrio no recipiente à esquerda pingava pelo tubo descendente, expelindo o ar do aparelho bolha a bolha. O nível de mercúrio no tubo medidor, como o nível de um barômetro, indicava o grau de vácuo obtido. O reservatório de mercúrio tinha de ser levantado e abaixado muitas vezes e manualmente, tarefa espinhosa para o técnico encarregado de esvaziar de ar os tubos e recipientes do professor. Em todas essas bombas, o padrão de vácuo perfeito era o barômetro. O vácuo que se podia conseguir com uma bomba desse tipo era cerca de um milhão de vezes pior do que o que chamáramos em nossos dias de um vácuo decente.

Para saber em pormenor o que os físicos estavam fazendo na virada do século, precisaremos dar uma olhada em uma das principais publicações da época, o *Annalen der Physik*. Pouco tempo antes, a mesma publicação tinha o título *Annalen der Physik und Chemie*, porque a física e a química ainda eram consideradas como ciências irmãs, em contraste com nossa atual tendência à especialização, que criou uma publicação para cada sub-ramo da física. Os temas tratados nos *Annalen* eram a liquefação de gases; a mensuração de

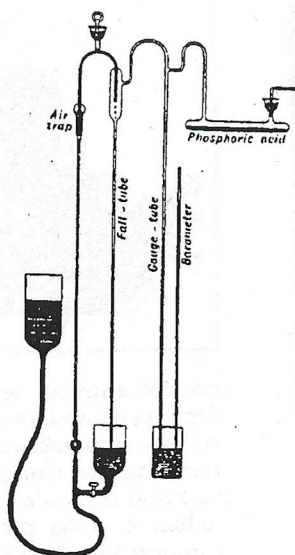


Figura 1.2. Uma bomba de vácuo de mercúrio. (De S. P. Thomson, *Light Visible and Invisible*, 1897.) A bomba atua prendendo o ar no tubo descendente. O tubo medidor compara o vácuo obtido com o vácuo do barômetro.

calores específicos; ondas eletromagnéticas e, especificamente, tentativas de reproduzir, com ondas eletromagnéticas, todos os fenômenos da óptica: difração, rotação do plano de polarização, e assim por diante. A termodinâmica tinha então cerca de quarenta anos de idade e ainda não estava totalmente consolidada. As descargas de gás eram estudadas com a espiral de Ruhmkorff e com válvulas como as das Figuras 1.6 e 1.7. A teoria cinética dos gases estava-se desenvolvendo com grande rapidez, embora não houvesse muita gente interessada nela, e algumas das grandes figuras que atuaram nessa área não tivessem recebido o reconhecimento que mereciam. Josiah Willard Gibbs (1839-1903), que lecionava na Universidade de Yale, foi ignorado pela maior parte do mundo científico (à exceção de Maxwell e de alguns outros). Ludwig Boltzmann (1844-1908), um dos fundadores da mecânica estatística, lamentou-se em Viena de que ninguém nos países de língua alemã dava atenção à sua obra. Outros assuntos tratados nas publicações daquela época eram química, física e dissociação iônica, o início do conceito de íons em solução e o relacionamento entre termodinâmica e equilíbrio químico. Ninguém pensava seriamente em construir modelos de átomos; isso não apenas estava além da viabilidade, mas o átomo ainda não tinha atingido pleno reconhecimento.

É evidente que os químicos sabiam da “hipótese” atômica, mas nem todos participavam da crença na realidade dos átomos. Numa visão retrospectiva, uma vez que os químicos elaboravam fórmulas químicas e tinham conhecimento da Lei de Avogadro e das Leis de Eletrólise de Faraday, parece-nos que deveriam também ter acreditado nos átomos. Mas

não era isso em absoluto o que acontecia. Em 1905, por exemplo, o ceticismo ainda imperava, com alguns cientistas rejeitando incontinenti a teoria corpuscular da matéria e outros reconhecendo a utilidade da teoria atômica na química, mas considerando-a longe da realidade. Esses céticos não eram loucos nem incompetentes. Por exemplo, pouco tempo antes Sir Benjamin Collins Brodie (1817-1880), professor de química em Oxford, elaborara relatórios e escrevera livros para mostrar que os átomos não eram necessários à química. Com toda a seriedade, desenvolvera um sistema de onde os átomos foram excluídos, e ao qual deu o nome de “química ideal”. Sentiu-se ofendido quando usaram arames e bolas para construir modelos de moléculas em química orgânica: considerou essas construções como uma “obra de carpinteiro e de natureza inteiramente materialista”, um ultraje, algo absolutamente abaixo da dignidade da química.

Em 1887, o estandarte do antiatomismo foi erguido por Wilhelm Ostwald (1853-1932), um proeminente químico alemão e um dos primeiros cientistas a serem laureados com o Prêmio Nobel (1901). Naquele ano, na qualidade de professor de química em Leipzig, Ostwald pronunciou uma aula inaugural na qual apresentou uma doutrina “energética”, em que afirmava que todos os fenômenos podiam ser explicados através da ação recíproca da energia, sem a necessidade de átomos. Mais tarde, publicou um manual de química que não usava a teoria atômica e em 1909 esse livro foi traduzido para o inglês com o título de *Fundamental Principles of Chemistry*. Ostwald manteve-se arraigado em sua posição até que J. J. Thomson e S. A. Arrhenius conseguiram abalar-lhe as convicções e ele retratou-se na edição de 1912 de sua *Allgemeine Chemie*.

Entre os físicos, um dos mais notáveis céticos com relação à “hipótese” atômica foi Ernst Mach (1838-1916), que era também afamado psicólogo. Na edição de 1906 de *The Analysis of Sensations*, Mach faz referência aos “átomos e moléculas hipotéticos e artificiais da física e da química” e, sem negar “o valor desses instrumentos para seus propósitos específicos e limitados”, comparou-os aos símbolos da álgebra. Somente após ver as cintilações das partículas alfa é que se convenceu de que os átomos existiam, ou pelo menos diminuiu o nível de seu ceticismo.

A razão desse ceticismo tão difundido não era tanto a oposição ao fato de que ninguém nunca tinha “visto” um átomo de maneira convincente. Mesmo hoje em dia, ninguém ainda viu um átomo no sentido literal, mas as provas em favor dos átomos são mais convincentes do que as provas em favor de coisas que muita gente tem “visto”, como milagres e discos voadores. Devemos recordar também que, embora a Lei de Avogadro — volumes iguais de gás à mesma temperatura e pressão contêm o mesmo número de moléculas — tivesse sido formulada em 1811, só em 1860, quase cinquenta anos mais tarde, é que esse número de Avogadro — o número de moléculas em um mol — foi “medido”, ou que os cientistas tiveram um pressentimento de sua magnitude, junto com a ordem de magnitude de diversas quantidades atômicas, como a massa e o volume atômicos.

No final do século XIX, mesmo um homem como Max Planck receava manifestar sua crença no átomo. Conforme o próprio Planck lembra na sua *Autobiografia Científica*, era “não apenas indiferente, mas, em certa medida, até

mesmo hostil à teoria atômica". E só veio a aceitá-la quando ela se tornou necessária para a fundamentação teórica de sua lei da radiação.

Proeminentes personalidades científicas podiam facilmente ser identificadas em cada país. No Reino Unido, a lista incluiria Lorde Kelvin (William Thomson, 1824-1907). Em 1895, Lorde Kelvin tinha setenta e um anos de idade, recebera o título de barão três anos antes, ocupara a cadeira de filosofia natural na Universidade de Glasgow durante quase meio século e era considerado o maior físico do Reino. Tinha sido enorme a influência por ele exercida sobre as gerações de estudantes a quem orientou e inspirou direta ou indiretamente através de suas obras. Um contemporâneo de Lorde Kelvin, ainda mais importante que ele, foi James Clerk Maxwell (1831-1879), que morrera jovem, e só mais tarde foi reconhecido como um dos maiores físicos que já existiram. Outros luminares britânicos desse período foram Lorde Rayleigh (1842-1919), o químico Sir William Crookes (1832-1919) e Sir William Ramsay (1852-1916). Em 1884, J. J. Thomson (1856-1940) sucedeu a Lorde Rayleigh como "professor Cavendish" da Universidade de Cambridge, cargo que ocupou durante trinta e cinco anos. Mas, entre as várias gerações de físicos, ele pertencia a um grupo mais jovem. Michael Faraday (1791-1867), que, para nós, parece pré-histórico, não estava mais distante da geração de 1895 do que Max Planck, que morreu em 1947, está para a nossa geração; na realidade, aparentemente estaria mais próximo, porque no século passado a ciência caminhava em ritmo mais lento.

O cenário científico da França era dominado por Louis Pasteur (1822-1895), biólogo, físico e químico, que morreu no mesmo ano de 1895. Não havia nenhum físico francês que possuísse a estatura científica de Pasteur; Ampère (1775-1836), Fresnel (1788-1827) e Carnot (1796-1832) já eram figuras do passado. Pasteur era o representante da ciência francesa, um cientista e tanto, um grande benfeitor da humanidade e uma personalidade arrebatadora — pelo menos a distância. Embora aqueles que escrevem sobre Pasteur o pintem como um santo, os inúmeros documentos polêmicos que elaborou dão a entender que deve ter sido um homem bastante inclinado ao debate. Incorporava o espírito otimista do fim do século: esperança no progresso, confiança em que a ciência solucionaria todos os problemas e os cientistas e outros pensadores serviriam, em última instância, de inspiração para todas as pessoas com suas idéias de concórdia e de justiça — convicção essa que foi derrotada pela Primeira Guerra Mundial e desde então desapareceu da face da terra. Pasteur proclamava de forma eloquente que os laboratórios eram os templos da humanidade, que a paz prevaleceria sobre a guerra e que a ciência conduziria a épocas de glória.

A figura mais eminente da ciência alemã era Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1812-1894). Helmholtz desfrutou de uma posição única e bastante influente na Alemanha, semelhante à posição de seu amigo Lorde Kelvin, na Inglaterra. Era rival de Maxwell e parte de sua obra sobre a teoria da eletrodinâmica, que discordava da teoria de Maxwell, manteve durante muitos anos uma divisão entre os cientistas. Foi Heinrich Hertz (1857-1894), o aluno mais brilhante e mais admirado de Helmholtz, quem resolveu o conflito em favor de Maxwell. Em 1887, Hertz levou a cabo as famosas experiências em que demonstrou a existência das ondas



Figura 1.3. Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928). O trabalho de Lorentz marca os limites alcançados pela física clássica e constitui o elo entre a geração de Maxwell e a de Einstein e Planck. A personalidade de Lorentz exerceu forte influência no mundo dos físicos em razão do respeito que ele inspirava. (Fundação Nobel.)

eletromagnéticas, provando por *a* mais *b* a validade das equações de Maxwell e inaugurando o campo da radiocomunicação.

Eram esses os grandes nomes da ciência em 1895. Mas havia também uma geração mais jovem, na qual estavam incluídos J. J. Thomson, na Inglaterra; Ludwig Boltzmann, na Áustria; Max Planck (1858-1947) e Philipp Lenard (1862-1947), na Alemanha (Einstein nessa época tinha apenas dezesseis anos de idade, era um desconhecido e não se sobressaía muito como estudante), e Jules-Henri Poincaré (1854-1912), na França. Poincaré estava apenas na casa dos quarenta, mas já era universalmente reputado como o maior matemático vivo. Interessava-se não apenas por matemática, mas também por física, astronomia e filosofia, além de ser considerado um dos maiores talentos literários da França. Seus famosos cursos na Sorbonne foram essenciais para a divulgação do *Treatise on Electricity*, de Maxwell, entre os eruditos de todo o Continente.

H. A. Lorentz (1853-1928), também foi um dos luminares daquela época (vide Figura 1.3). Representava a Holanda, que gozava de um desabrochar científico tão extraordinário que vários de seus melhores cientistas tiveram de emigrar por não encontrarem emprego em seu próprio país.

Calculo que em 1895 havia aproximadamente mil físicos, em comparação com os sessenta mil que provavelmente existirão hoje em dia. Eram razoavelmente bem pagos e relativamente bem considerados. Não é verdade, conforme acreditam algumas pessoas, que a importância vital das ciências só tenha sido reconhecida há pouco tempo. Um cientista como Helmholtz podia aproximar-se do Cáiser sempre que quisesse; o Cáiser, demonstrando seu interesse pelas ciências, fez com que a nova Postdamer Brücke fosse decorada com as estátuas de C. F. Gauss, "o Príncipe dos Matemáticos", de W. C. Röntgen, de H. Helmholtz e do industrial e inventor de aparelhos elétricos W. v. Siemens. (Essas estátuas foram destruídas

durante a Segunda Guerra Mundial.) Na França, Napoleão III, imitando seu ilustre tio, recebia cientistas importantes na Corte. A Inglaterra concedia o grau de cavaleiro a seus cientistas famosos com a mesma frequência com que o faz hoje em dia e, de quando em vez, elevava os maiores dentre eles à categoria de nobres — Lorde Kelvin, por exemplo. Lorde Rayleigh quase sempre recebia em sua propriedade a visita de amigos políticos, inclusive do Primeiro-Ministro.

Essa época, que testemunhou o nascimento de uma nova física, caracterizou-se por pensamentos novos e empreendedores em todas as áreas, não apenas nas ciências. Era um período de fermentação social e intelectual, de exaltação do indivíduo na literatura e de revolta contra o academicismo nas artes — apenas a arquitetura proclamava de maneira obstinada as virtudes do passado. Eclodiam movimentos de caráter socialista em todos os lugares, enquanto que o anarquismo atingia o clímax da violência com o assassinato de membros da realeza e de chefes de Estado.

Na França, os impressionistas e outras novas escolas de pintura estavam em ebulição, embora não fossem muito valorizadas as obras mais controversas, como as de Van Gogh, que não encontravam nenhum mercado. No mundo da música, Debussy continuava a compor na semi-obscuridade. As duas grandes figuras literárias eram Anatole France e Émile Zola. France retratava o caráter específico de seu país e Zola era um romancista da escola naturalista, bastante popular, que acusou a sociedade francesa ao defender a inocência de Dreyfus no *affaire* que manteve o país em turbulência por vários anos no final do século.

A Inglaterra passou pela pungente experiência intelectual de assimilar a teoria da evolução de Darwin. Em 1895, treze anos após a morte de Darwin, Herbert Spencer, o filósofo do movimento científico na tradição darwiniana, ainda estava bem vivo aos setenta e cinco anos de idade, e continuava a pensar e a escrever manifestando a confiança no progresso que era típica daquela fase. Na literatura, Oscar Wilde deliciava as platéias com peças espirituosas, enquanto Thomas Hardy e George Meredith, com uma tendência algo sombria, escreviam os últimos romances vitorianos. H. G. Wells e G. B. Shaw davam os primeiros passos de suas carreiras. Shaw, ainda um iniciante como dramaturgo popular, exercia maior influência como espírito provocativo da Sociedade Fabiana, uma instituição socialista, do que como escritor.

A Alemanha produziu Friedrich Nietzsche, o poeta de *Assim Falou Zaratustra* e o filósofo do super-homem movido pelo “desejo de poder”. As doutrinas de Nietzsche eram uma manifestação drástica e completa do espírito inovador e de revolta contra os valores vigentes no final do século XIX. Em 1895, Nietzsche estava doente e não mais escrevia, mas sua influência começava a fazer-se sentir nas obras de outros, como por exemplo, na poesia e nos romances de Gabriele D’Annunzio, expoente estético e fanático do nacionalismo italiano e futuro “super-homem” da Primeira Guerra Mundial. Infelizmente, os ideais de Nietzsche viriam a inspirar homens mais perigosos, como os futuros ditadores Mussolini e Hitler.

O otimismo predominante e a crença nas ciências no final do século foram expressos no aclamadíssimo Balé Excelsior, criação italiana levada à

cena na Itália e na França durante pelo menos trinta anos. A alegoria mostrava o Iluminismo levando o Obscurantismo, que era o gênio das trevas, a testemunhar as grandes descobertas e as grandes invenções de uma civilização que se inspirava no Poder Divino: o barco a vapor, o “telégrafo elétrico”, o canal de Suez e o túnel do monte Genis. O Obscurantismo então assistia ao espetáculo de todas as pessoas unidas num elo de fraternidade, enquanto que, a seus pés, a terra se abria e o tragava. O balé se encerrava com o triunfo da Ciência, do Progresso, da Fraternidade e do Amor.

Novos Horizontes

Agora voltemos à física propriamente dita e à obra que levou ao entendimento da estrutura atômica. Os anos de 1895 a 1897 foram fundamentais em razão de quatro grandes descobertas: os raios X, o elétron, o efeito Zeeman e a radioatividade. Embora a descoberta do elétron tenha sido a última do ponto de vista cronológico (foi concluída apenas em 1897 com a medição da proporção entre sua carga e massa), dela tratarei em primeiro lugar, visto que é parte do resultado da longa preocupação de cientistas do século XIX com a descarga de eletricidade em tubos de “vácuo”.

Em um antigo estudo (1833), a respeito de descargas elétricas em gases, Michael Faraday descobriu que “a rarefação do ar favorece extremamente fenômenos de incandescência” (“Experimental Researches on Electricity”). Examinou a incandescência em diversos gases a baixa pressão e nunca conseguiu isolá-la em “descargas intermitentes visíveis e elementares”. Descreveu a beleza dessa incandescência e observou o espaço escuro nas proximidades do anodo que hoje em dia leva seu nome. O vácuo que conseguia obter era muito parco, mais parco do que ele, Faraday, podia dar-se conta, embora tivesse consciência de que “o vácuo mais perfeito que se podia conseguir” estava longe de ser um vácuo absoluto.

Em 1858, Julius Plücker teve a idéia de aproximar um ímã de um tubo de “vácuo” para ver o que aconteceria à descarga. Plücker (1801-1868) era um matemático alemão, um topólogo que mais tarde veio a ser professor de física em Bonn e passou a interessar-se pela relação entre magnetismo e descargas de gás (devemos recordar que naquela época era normal que um cientista se dedicasse a mais de um campo: Gauss era matemático e físico, Kirchhoff era químico e professor de física teórica). Quando Plücker aproximou o ímã do tubo de vácuo, percebeu algum desvio magnético da descarga. No ano seguinte, registrou ter visto uma fosforescência verde no vidro do tubo perto do catodo e conseguiu fazer com que as manchas de fosforescência mudassem de posição usando um ímã. Mas não pôde fazer muito mais, porque o vácuo que tinha conseguido não era suficiente.

Em 1869, Johann Hittorf (1824-1914), aluno de Plücker, teve mais sucesso. Nos anos intermediários, as primeiras bombas de mercúrio entraram em uso e ele conseguiu esvaziar os tubos além do que seus antecessores tinham conseguido. Percebeu a sombra projetada de um objeto colocado em frente ao catodo, sinal de que a descarga se originava no próprio catodo. O nome *Kathodenstrahlen*, raios catódicos, foi inventado em 1876 por E. Goldstein (1859-1930). Em 1879, William Crookes efetuou pesquisas

sistemáticas dos raios catódicos em tubos que esvaziara de ar com uma bomba aperfeiçoada que ele mesmo havia desenhado. É elucidativo ler em um de seus relatórios que Crookes tinha certeza de ter atingido um vácuo especialmente satisfatório. A pressão interna era de 40×10^{-3} milímetros de mercúrio, cerca de um milhão de vezes mais elevada do que a de que dispomos nos grandes aceleradores modernos, e não consigo imaginar como ele teria conseguido medi-la.

Hoje em dia, sabemos que os raios catódicos são elétrons que se movem rapidamente, mas naquela época ninguém tinha qualquer conhecimento da própria existência dos elétrons. O que se sabia a respeito dos raios catódicos era que saíam do catodo de um tubo altamente exaurido de ar, atingiam a parede do tubo do lado oposto, tornando-a luminosa, viajavam aparentemente em linhas retas, visto que objetos colocados em seu caminho projetavam sombras nítidas, e eram desviados por um ímã, embora ninguém pudesse ter certeza a esse respeito.

Surgiram inflamadas discussões com relação à natureza dos raios catódicos. O que eram? Alguns diziam que eram corpúsculos, partículas projetadas do catodo; outros acreditavam tratar-se de ondas. Por estranho que possa parecer, as opiniões se dividiam segundo as nacionalidades. Em 1892, Hertz afirmou ter prova experimental de que os raios catódicos não podiam ser partículas, logo, tinham de ser ondas. Gustav Heinrich Wiedemann (1826-1899), Goldstein e todos os físicos alemães concordavam. Mas na Inglaterra, Crookes insistia em que esses raios eram partículas carregadas eletricamente (Crookes chamou-os de "matéria radiante") e alguns físicos ingleses - Kelvin, J. J. Thomson, entre outros - insistiam em afirmar que eram "partículas".

Finalmente, em 1895, na França, Jean Baptiste Perrin (1870-1942) descobriu suficientes provas de que os raios catódicos eram partículas carregadas negativamente. Tendo produzido raios catódicos em um tubo de descarga bastante exaurido de ar, desloçou-os para uma grade de Faraday e demonstrou que tinham carga negativa. Podiam ser desviados por um ímã e levados para dentro da grade de Faraday ou dela retirados, dependendo da movimentação que se fizesse com o ímã. Foram experiências importantes que abriram caminho para outras descobertas.

Jean Perrin era um eminente físico francês formado em Paris pela École Normale Supérieure. Era pai de um outro físico importante, Francis Perrin, e assim fundou uma das mais proeminentes dinastias de cientistas da França (outras importantes famílias de cientistas foram os Becquerel, os Curie e os Brillouin, algumas das quais serão estudadas mais adiante). Antes da Primeira Guerra Mundial, Jean Perrin fez delicadas experiências sobre o movimento browniano usando esferas coloidais de guta-percha, que atuavam como moléculas gigantes. A partir dessas experiências, determinou indiretamente a carga do elétron. No final de sua vida, veio participar ativamente da política francesa como militante esquerdista e morreu em Nova Iorque após ter fugido da França ocupada.

Entre o trabalho de Perrin e o trabalho diretamente correlato de J. J. Thomson, fez-se alguma coisa de importância sobre o elétron ligado com técnicas espectroscópicas, mas relacionada com o problema geral do elétron.

Todas essas atividades coincidem no tempo e não há dúvida de que vários cientistas liam as publicações científicas e se informavam dos trabalhos feitos em diferentes laboratórios. Agora, tratemos da Holanda e de Pieter Zeeman.

Pieter Zeeman

O nome *electron* já tinha sido sugerido por G. Johnstone Stoney em 1894. Além disso, acreditava-se que as cargas elétricas que se movem dentro do átomo eram responsáveis pela emissão de luz. Vários outros fenômenos serviam para apoiar a idéia de cargas elétricas puntiformes, mas as opiniões a respeito do tema eram vagas. De repente, em 1894, Pieter Zeeman (1865-1943), um jovem físico desconhecido que trabalhava em Leyden, fez uma descoberta fundamental que foi imediatamente seguida por uma explicação teórica do já famoso H. A. Lorentz.

Zeeman nasceu na Holanda. Estudou com Kamerlingh Onnes e mais tarde tornou-se assistente de Lorentz. Ainda lia Faraday como ciência viva e como fonte de inspiração. Observou que Faraday, em sua eterna procura de uma relação entre as várias "forças da natureza", tinha tentado influenciar a luz pelo magnetismo. Essas tentativas tinham levado à importante descoberta da rotação magnética do plano da polarização da luz produzida em vidro por um campo magnético; há um famoso retrato de Faraday segurando um pedaço de cristal de rocha que imortaliza o fato. Em 1862, em uma de suas últimas experiências, Faraday tentou também - sem sucesso - influenciar a emissão de luz de vapor de sódio por um campo magnético. Maxwell, em 1870, também negara a possibilidade desse fenômeno.

Zeeman percebeu que dispunha de uma aparelhagem muito melhor do que a de Faraday. Um pequeno efeito podia ter escapado a Faraday, que trabalhava com espectroscópios prismáticos de baixo poder de resolução, enquanto que Zeeman podia fazer uso de uma grade de difração. Anunciando a descoberta do "efeito Zeeman", ele disse o seguinte:

"Se um Faraday pensava na possibilidade da relação acima citada, talvez ainda se possa tentar experimentar mais uma vez com os excelentes engenhos da espectroscopia de hoje, pois ao que eu saiba, isso ainda não foi feito por ninguém". [*Philosophical Magazine* (5) 43, 226 (1897).]

Zeeman tentou a experiência e logo observou um leve alargamento das linhas espectrais criadas pelo campo magnético (vide Figura 1.4). Deu-se conta de que as bordas das linhas ampliadas eram polarizadas e, ao aperfeiçoar a técnica, percebeu um triplice ou um duplice de acordo com a orientação relativa da direção de observação e do campo magnético. Comunicou sua descoberta a Lorentz, que logo apresentou uma explicação a respeito das observações.

A idéia fundamental é que a luz era emitida por partículas carregadas (elétrons) que se moviam no átomo. O movimento dessas partículas era influenciado pelo campo magnético correspondente às leis clássicas do electromagnetismo. A partir da mudança de frequência da luz emitida, Zeeman e Lorentz puderam determinar *e/m*, a carga específica das partículas que provocam a emissão de luz, bem como o símbolo da carga. Zeeman

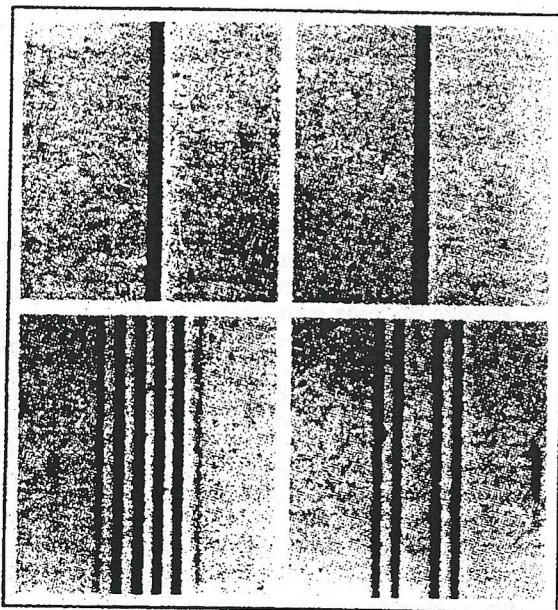


Figura 1.4. O efeito Zeeman nas linhas espectrais amarelas de sódio (linhas D). No alto, as linhas D₁ e D₂ na ausência de um campo magnético. Embaixo, as mesmas linhas se multiplicam quando a fonte é colocada em um campo magnético. As linhas múltiplas são polarizadas. A direção da observação está em ângulo reto com a do campo magnético.

cometeu primeiro um erro com relação ao sinal, mas logo o corrigiu. Em questão de sinais, mesmo um holandês tão meticuloso quanto Zeeman pode desorientar-se.

As descobertas de Zeeman que mais merecem atenção são o sinal negativo e o valor de e/m , que era cerca de mil vezes maior do que se esperava para um átomo inteiro com base nas noções primitivas que os cientistas de então tinham a respeito de massas atômicas. O efeito Zeeman provou mais tarde ser um instrumento poderoso para esclarecer a estrutura atômica, e decisivo para a descoberta do princípio de Pauli, do spin do elétron de pormenores sobre o mecanismo da emissão, e assim por diante. Enquadrrou-se perfeitamente na mecânica quântica e tornou-se para ela uma importante prova experimental.

Nas experiências de Zeeman, os elétrons estavam presos dentro dos átomos. Mais ou menos ao mesmo tempo, os elétrons livres também faziam sua entrada no palco da física, sobretudo através da obra de J.J. Thomson.

Joseph John Thomson

Na época em que o elétron foi descoberto, J. J. Thomson era professor Cavendish da Universidade de Cambridge (vide Figura 1.5). Nascido em 1856, nos arredores de Manchester, e pertencente a uma família ligada ao comércio, esperava-se dele que prosseguisse com as atividades familiares, mas as circunstâncias o conduziram ao estudo de ciências e, em 1876, foi admitido no Trinity College de Cambridge. Ali preparou-se, como era comum naquela época, para um severo exame escrito, conhecido popularmente como *tripo*, em razão dos tripés cheios de carvão usados para aquecer as salas onde se realizavam as provas. Os aprovados eram apelidados de *wranglers*^{*}. Em 1880, terminou o curso como segundo *wrangler*, como Maxwell o fora anos antes.

J. J. Thomson assistiu a algumas das aulas de Maxwell, mas foi com Lorde Rayleigh, que sucedeu a Maxwell como professor Cavendish, que Thomson concluiu diversos estudos teóricos. Em 1884, Rayleigh renunciou à cátedra, pois tinha-se comprometido a não exercê-la por mais de cinco anos. Thomson candidatou-se a ocupar seu lugar, conforme ele mesmo relata, “ponderando seriamente sobre o trabalho e a responsabilidade envolvidos”. Tinha apenas vinte e oito anos de idade e não esperava que o escolhessem. Mas, para sua surpresa, foi ele o escolhido. Os que o indicaram ou tiveram muita sorte ou enxergavam muito. Thomson diz ainda: “Senti-me como um pescador que, com um aparato de pesca de segunda, tivesse por acaso lançado a linha em um local pouco promissor e fogueasse um peixe excessivamente pesado para ser trazido à terra. Senti a dificuldade de perseguir a eminência de um homem como Lorde Rayleigh”. É de observar-se que ele não faz menção a Maxwell, embora em outro trecho se refira à indicação do primeiro professor Cavendish (fevereiro de 1871):

“Acredita-se que a universidade primeiro tivesse procurado contato com Sir William Thomson (mais tarde Lorde Kelvin) e depois com von Helmholtz, o grande físico e fisiologista alemão, mas nenhum dos dois tinha condições de aceitar o cargo. Na época de sua escolha, a obra de Maxwell era conhecida de muito poucos e sua reputação não se comparava à que tem hoje em dia (1936)... O fato é que, mesmo quando de sua morte, a verdade a respeito de sua suprema contribuição para a física — a teoria do campo eletromagnético — ainda era uma questão em aberto”. (*Recollections and Reflections*, págs. 96 e 101.)

Thomson conseguiu renovar o laboratório, introduzir novos métodos de ensino e fundar uma escola de pesquisas que teve grande êxito. Uma série de descobertas fluiu do Laboratório Cavendish: entre as principais, citem-se o elétron, a câmara de nuvens, os primeiros trabalhos importantes na área da radioatividade, e isótopos. Entre os estudantes estavam Rutherford, C. T. R. Wilson, R. J. Strutt (filho de Lorde Rayleigh), J. S. E. Townsend, C. G. Barkla, O. W. Richardson, F. W. Aston, G. I. Taylor e G. P. Thomson, e todos se tornaram famosos.

* N.T.: Nome dado na Universidade de Cambridge aos melhores estudantes de matemática.

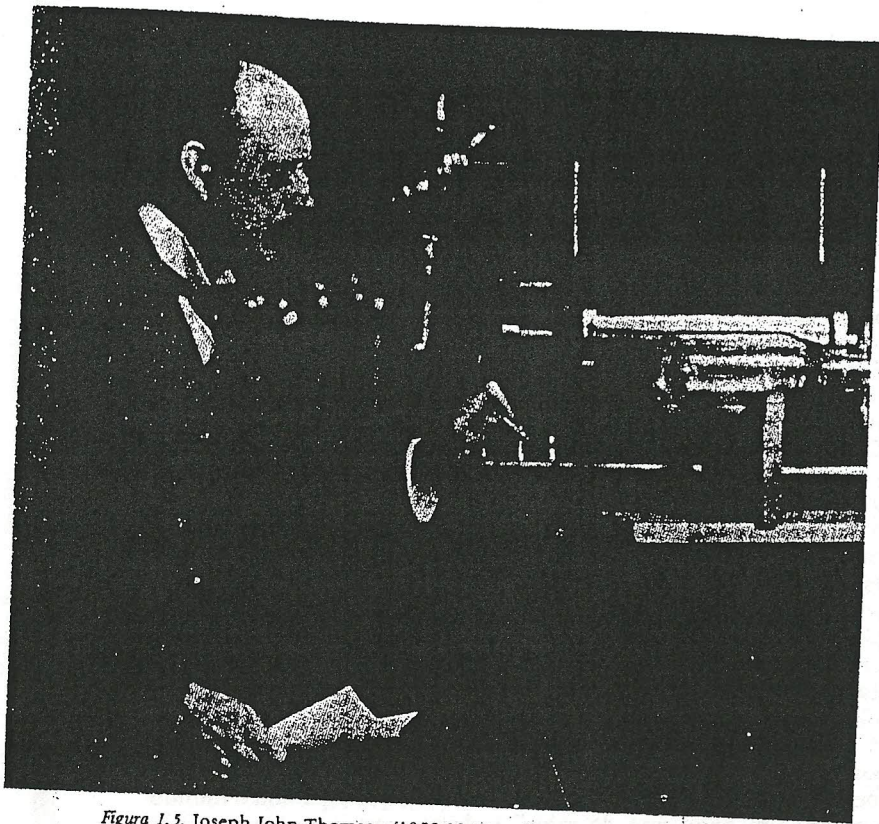


Figura 1.5. Joseph John Thomson (1856-1940), o famoso físico inglês, celebrado por suas experiências com o elétron e os isótopos. Foi o terceiro diretor do Laboratório Cavendish. Uma foto de Thomson estudando uma válvula de raios catódicos pode ser vista no Salão Maxwell de Conferências do Laboratório. Aparentemente, Thomson não tinha muita destreza, mas seu raciocínio era rápido quando se tratava de captar o funcionamento dos aparelhos. (Laboratório Cavendish, Universidade de Cambridge.)

A descoberta dos raios X por Röntgen (assunto tratado mais adiante, neste mesmo capítulo) permitiu um novo método de ionização de gases e maiores esclarecimentos a respeito do comportamento dos íons gasosos. Thomson começou a trabalhar nessa linha, que acabou por conduzi-lo ao estudo dos elétrons livres.

Em 1897, Thomson comprovou a natureza corpuscular dos raios catódicos e mediu a velocidade e a relação entre carga e massa dos corpúsculos. A Figura 1.6 mostra duas das válvulas usadas por Thomson em

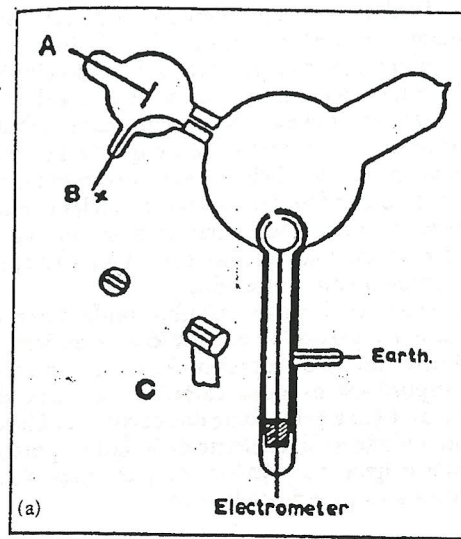
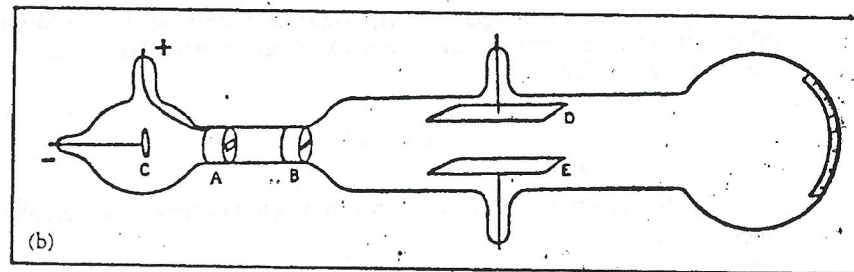


Figura 1.6. (a) Uma das válvulas de descarga de Thomson, reproduzida de um desenho publicado na *Philosophical Magazine* [44, 293 (1897)]. Os elétrons gerados pelo cátodo A podem ser desviados por um ímã externo e transferidos para um coletor (gaiola de Faraday) conectado a um eletrômetro que mede a carga total. (b) Outra das válvulas de descarga de Thomson, reproduzida da mesma publicação. Um feixe de raios catódicos emitidos pelo cátodo C e focado em A e B passa entre D e E, onde há um campo elétrico. Um campo magnético perpendicular ao campo elétrico é criado por espirais localizadas fora da válvula.



sua experiência. Na Figura 1.6-a, os raios foram produzidos a partir do cátodo A na válvula à esquerda. Através de uma fenda no ânodo B os raios passaram para a segunda válvula e puderam ser desviados com o uso de um ímã para dentro de uma espécie de gaiola de Faraday. A carga coletada foi negativa. Assim ficou demonstrado que os raios catódicos eram partículas carregadas negativamente. Experiências semelhantes tinham sido feitas por J. Perrin na França. Em um segundo tipo de válvula (Figura 1.6-b), os raios catódicos gerados em C foram passados através das fendas terradas A e B, formando um estreito feixe de raios que se transferiram para a extremidade da válvula. O local em que o feixe atingiu a extremidade bulbosa da válvula foi marcado por um pequeno traço de fosforescência brilhante.

Quando Thomson conectou as duas placas de metal E e D (vide Figura 1.6-b) com os terminais de uma bateria, a mancha fosforescente moveu-se, mostrando que os raios catódicos eram desviados pelo campo elétrico. Com

um campo magnético perpendicular ao campo elétrico, pôde ele então desviar os raios magneticamente. A deflexão magnética já tinha sido observada, mas J. J. Thomson foi o primeiro a observar a deflexão elétrica. Sua aparente ausência foi a primeira motivação para a pesquisa de J. J. Thomson. Por que ninguém tinha visto a deflexão elétrica nas várias décadas durante as quais os raios catódicos foram objeto de pesquisa? Por uma simples razão: a não ser que haja um vácuo suficiente no tubo catódico, não se pode estabelecer nenhum campo elétrico. Um vácuo insuficiente é um condutor e nenhum campo elétrico estático pode manter-se em um vácuo desse tipo. Mas Thomson teve êxito, não apenas com a aparelhagem mostrada na Figura 1.6, mas também com outras duas.

Em agosto de 1897, escreveu seu famoso trabalho, onde descrevia experiências "para testar a teoria das partículas eletrificadas" e aplicou os resultados de suas medições à determinação da proporção entre a carga e a massa das partículas que compunham os raios catódicos; a partir das mesmas experiências, deduziu também a velocidade das partículas. Eis um resumo de seu raciocínio: a quantidade total de eletricidade Q transportada por uma determinada corrente é igual ao número de partículas N , ou corpúsculos, nela contidos, vezes a carga e de cada uma:

$$Ne = Q$$

Depois, mediu a energia W transportada pelos corpúsculos medindo o calor desenvolvido; este tinha de ser igual à energia cinética das partículas de massa m e velocidade v :

$$\frac{1}{2}Nmv^2 = W$$

Tendo desviado o feixe de partículas magneticamente, ele descobriu que:

$$\frac{mv}{e} = B\rho$$

onde ρ é o raio de curvatura da trajetória e B , o campo magnético. Visto que a energia, a quantidade de eletricidade, o campo magnético e o raio da curvatura eram mensuráveis, ele pôde deduzir que:

$$\frac{e}{m} = \frac{2W}{Q^2B^2\rho^2}$$

tinha o valor de $2,3 \times 10^{17}$ esu/g, muito maior do que e/m para ions em eletrólise.

No trabalho de 1897, Thomson fez outra observação digna de nota: os corpúsculos que constituíam os raios catódicos eram os mesmos, qualquer que fosse a composição do catodo ou do anticatodo ou do gás na válvula. Tratava-se de um componente universal de toda a matéria.

Pouco mais tarde, em 1899, usando técnicas e idéias desenvolvidas por seu ex-aluno C. T. R. Wilson, J. J. Thomson mediu a carga e a massa do elétron isoladamente. Wilson tinha observado que, em circunstâncias favoráveis, as cargas elétricas atuam como núcleos de condensação para vapores supersaturados. Favorecem a formação de neblina porque a água se condensa sobre eles. Em tal neblina, determinada pela presença de cargas elétricas, pode-se medir o volume das gotículas a partir da velocidade com que caem, e seu número a partir do total de água precipitado ou a partir da supersaturação inicial. Com esses dados, obtém-se o número de gotículas contido na neblina. Da carga total transportada pela neblina, diretamente mensurável, acha-se então a carga em uma gotícula média, idêntica à carga do elétron.

Essa pesquisa, feita no Laboratório Cavendish, deu a carga do elétron como em cerca de 3×10^{-10} unidades eletrostáticas absolutas. A partir do valor medido de e/m também se chegou à massa do elétron.

O método das gotas foi mais tarde aperfeiçoado por R. A. Millikan (1910) nos Estados Unidos. Millikan observou não uma neblina, mas gotículas isoladas, e transformou o método em um método de precisão que dava o número $4,78 \times 10^{-10}$ esu para a carga do elétron. Durante muitos anos esse valor foi o melhor diretamente medido. Mas em 1929, para surpresa de todos, descobriu-se um erro de cerca de 1 por cento, muito mais do que o erro possível previsto. A origem da discrepância estava em uma medição deficiente da viscosidade do ar. Hoje em dia o valor da carga do elétron é conhecido com a precisão de cerca de 3 partes por milhão — e é de $4,803242 \times 10^{-10}$ esu; o e/m , conhecido com uma precisão de cerca de 6 partes por milhão, é de $5,272764 \times 10^{-17}$ esu/g.

A descoberta do elétron, por mais importante que fosse, foi obscurecida por uma outra descoberta que ocorreria no final de 1895. Essa grande descoberta foi feita por W. C. Röntgen (1845-1923), que espantou o mundo ao anunciar "um novo tipo de raios" e demonstrar o que esses raios poderiam fazer.

Wilhelm Conrad Röntgen

Wilhelm Conrad Röntgen (Figura 1.7) nasceu em Lennep, cidade situada na Renânia. Sua mãe era holandesa e a família mudou-se para Apeldoorn, na Holanda, quando ele tinha três anos de idade. Após estudar na Holanda, Röntgen foi para Zurique em 1865 e ali matriculou-se em engenharia mecânica no Instituto Politécnico. Primeiro estudou com Rudolf Clausius, o grande termodinamicista, e depois com August Kundt, de quem se tornou muito amigo. As mais importantes contribuições de Kundt ocorreram na área da acústica, mas ele também é conhecido por uma determinação engenhosa, embora grosseira, do número de Avogadro.

Röntgen graduou-se no Instituto Politécnico em 1868 e em 1869 recebeu o título de doutor pela Universidade de Zurique. Em 1870, voltou à Alemanha como assistente de Kundt, primeiro em Würzburg e depois em Estrasburgo; passou a exercer o cargo de *Privat Dozent* e em 1875, tendo sido nomeado professor de Física em uma pequena universidade da Alemanha,

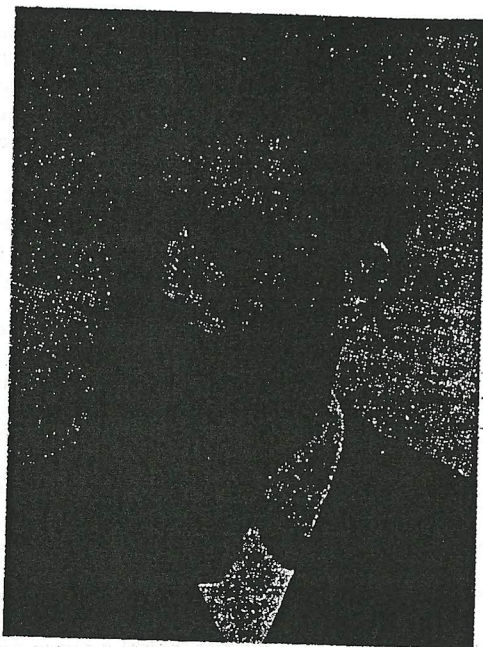


Figura 1.7. Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923), à época da descoberta dos raios X. (Deutsches Museum, Munique.)

começou uma carreira acadêmica normal como um bom físico, mas não extraordinário. Em 1888, fez um trabalho importante mostrando que a corrente de convecção era a mesma que a corrente de condução. Hoje essa descoberta pode parecer banal, mas devemos lembrar que Faraday trabalhou muito para convencer-se de que a eletricidade de uma pilha era a mesma que a eletricidade produzida por uma máquina eletrostática, fato que em sua época não era absolutamente óbvio. Röntgen provou que a corrente obtida por cargas em movimento era a mesma corrente em um fio. Também fez boas medições de calores específicos, campo padrão de interesse em seu tempo. Passou de uma universidade para outra e, no outono de 1888, assumiu o quarto cargo, uma cadeira na mesma Universidade de Würzburg, onde tinha sido assistente de Kundt. Era uma boa universidade, embora não fosse das mais conceituadas. Até o início de novembro de 1895, Röntgen já tinha escrito quarenta e oito trabalhos, hoje praticamente esquecidos. O quadragésimo nono foi o ápice de sua obra.

Na noite de 8 de novembro de 1895, Röntgen estava trabalhando com uma válvula de Hittorf que tinha coberto totalmente com uma cartolina negra. A sala estava inteiramente às escuras. A certa distância da válvula havia uma folha de papel, usada como tela, tratada com platinocianeto de bário. Para seu espanto, Röntgen viu-a brilhar, emitindo luz. Alguma coisa devia ter atingido a tela para que ela reagisse dessa forma. A válvula de Röntgen,



Figura 1.8. Uma das primeiras imagens obtidas por Röntgen com o uso de raios X, ou "Raios de Röntgen", mostrando os ossos de uma mão. Essa imagem foi obtida em 22 de dezembro de 1895. (Deutsches Museum, Munique.)

entretanto, estava coberta por uma cartolina negra e nenhuma luz ou nenhum raio catódico poderia ter escapado dali. Surpreso e perplexo com o fenômeno, Röntgen decidiu pesquisá-lo mais a fundo. Virou a tela, de modo a que o lado sem platinocianeto de bário ficasse voltado para a válvula; mesmo assim, a tela continuava a brilhar. Ele então afastou a tela para mais longe da válvula e o brilho persistiu. Depois, colocou diversos objetos entre a válvula e a tela e todos pareceram transparentes. Quando sua mão escorregou em frente à válvula ele viu os ossos na tela (Figura 1.8). Descobriu "um novo tipo de raio", conforme ele mesmo explicou em sua primeira publicação sobre o assunto.

Röntgen estava trabalhando sozinho no laboratório. Continuou a trabalhar sozinho nos dias que se seguiram, sem falar de suas observações a ninguém. Sua mulher percebeu que ele estava preocupado, sem saber a causa, e começou a afligir-se. O marido só lhe disse que estava trabalhando em algo importante. Mais tarde, explicou-lhe por que tinha sido reticente: ficara tão atônito com sua descoberta, sua incredulidade era tal, que sentira necessidade de convencer-se a si mesmo muitas outras vezes a respeito da existência daqueles novos raios. Finalmente, registrou sua descoberta em chapas fotográficas, e só então passou a ter certeza.

Em 28 de dezembro de 1895, fez entrega de um relatório preliminar ao Secretário da Sociedade Físico-Médica, de Würzburg. Esse relatório foi

imediatamente reproduzido e, antes do início de 1896, já estava sendo distribuído. Em sua comunicação sóbria e concisa, Röntgen não revelou nenhuma das suas sensações e dúvidas iniciais. O relatório começa da seguinte forma:

“Se passarmos a descarga de uma grande bobina de Ruhmkorff através de um aparelho Hittorf ou de Lenard, de Crookes ou de outro suficientemente esvaziado de ar, e cobrirmos a válvula com uma manta bem ajustada de cartolina negra, observaremos, em um compartimento inteiramente às escuras, que uma tela de papel coberta com platinocianeto de bário se ilumina e fluoresce da mesma forma, quer se ponha voltado para a válvula de descarga o lado tratado quer se ponha o outro lado”. [“Über eine neue Art von Strahlen”, *Sitzungsberichte der Phys. Mediz. Gesellschaft zu Würzburg* 137, 132 (1895). Traduzido em *Nature* 53, 274 (1896).]

Röntgen prosseguiu descrevendo as descobertas resultantes de suas sete semanas de pesquisas “secretas”: os objetos tornavam-se transparentes diante de seus “novos raios” em diferentes graus; as chapas fotográficas eram sensíveis aos raios X; ele não conseguia ver qualquer reflexo ou retração dos raios dignos de nota, nem podia desviá-los com um campo magnético; os raios X originavam-se na área da ampola de descarga onde os raios catódicos colidem com a parede da ampola de vidro.

Em 1º de janeiro, tinha distribuído o relatório preliminar que provocou grande agitação. O documento era inacreditável — mas, em anexo, estavam fotografias em raios X de suas mãos, o que fornecia provas que não podiam ser refutadas com facilidade. Entre os que receberam essa primeira comunicação estavam Boltzmann, Warburg, Kohlrausch, Lorde Kelvin, Stokes e Poincaré. Ao ler o documento de Röntgen, muitos cientistas correram a seus laboratórios, pegaram suas espirais de centelhas e procuraram ver os raios X. E conseguiram.

Em janeiro de 1896, a notícia da descoberta dos raios X já tinha criado em todo o mundo uma enorme comoção. Podemos imaginar o deslumbramento em relação a esses raios aos quais quase tudo se tornava transparente e por meio dos quais todos podiam ver seus próprios ossos. Podiam-se ver praticamente os dedos sem os músculos, mas com anéis, como se podia ver também uma bala alojada no corpo. As consequências para a medicina foram imediatamente percebidas. Não se precisava ser um cientista para valorizar a descoberta. Ao futuro físico A. N. da Costa Andrade, ainda um menino em 1896, tinham ensinado que Deus podia ver todas as coisas e todos os lugares; após ouvir falar dos raios X, ele começou a acreditar naquilo de que antes duvidava. Em 23 de janeiro, Röntgen fez seu único pronunciamento público a respeito da descoberta, diante da Sociedade Físico-Médica. Foi saudado com uma tempestade de aplausos.

Um pouco dessa excitação envolveu-me trinta anos mais tarde, quando era estudante em Roma. Um velho curador do Instituto de Física, Augusto Zanchi, contou-me como passara certa vez uma noite inteira tentando expelir o ar de uma válvula com uma bomba de mercúrio porque a Rainha da Itália queria ver os raios X e pedira ao professor de física que lhe fizesse uma demonstração. Durante toda a noite o pobre curador teve

medo de não conseguir esvaziar a válvula suficientemente, o que, para sorte sua, não aconteceu. A Rainha teve o espetáculo que queria.

O trabalho de Röntgen sobre os raios X foi perfeito à luz do conhecimento existente em sua época. Mas ele, Röntgen, não conseguiu apreender a natureza dos raios X. Ao concluir seu famoso relatório de 1895, escreveu o seguinte:

“Será que os novos raios não se devem às vibrações longitudinais existentes no éter? Devo confessar que a cada momento que passa mais acredito nessa idéia durante minhas pesquisas e agora, portanto, cabe a mim anunciar tal suspeita, embora saiba muito bem que essa explicação exige uma corroboração maior”.

A “corroboração maior” nunca chegou, mas passaram-se bem uns dezesseis anos até que o trabalho de Max von Laue e de Friedrich e Knipping esclarecesse as dúvidas a respeito da natureza dos raios X.

Nos meses que se seguiram à sua descoberta, Röntgen foi convidado a fazer palestras em todo o mundo, mas recusou todos os convites, à exceção de um, pois queria continuar a estudar seus raios X. Escrevia rápidos bilhetes para colegas que lhe pediam que demonstrasse os novos raios, para lhes pedir desculpas e informar que não tinha tempo para fazer quaisquer conferências ou demonstrações. A exceção foi ao Cáiser, a quem Röntgen mostrou seus raios X em 13 de janeiro de 1896.

A idéia de fazer demonstrações para o Cáiser tinha-o deixado ansioso. “Espero ter um pouco da sorte do Cáiser com essa válvula” — disse ele — “pois esse tipo de válvula é muito sensível e quase sempre se quebra com facilidade... e são precisos uns quatro dias para expelir inteiramente o ar de uma outra”. Mas nada se quebrou. Um convite para a corte como o que Röntgen recebeu envolvia, além da palestra e da demonstração, jantar com o Cáiser, receber uma condecoração (*Kronen-Ordem 2. Klasse*) e, no momento da despedida, fazer reverências a Sua Majestade. A propósito disso, Richard Willstätter, o grande químico orgânico que deslindou as complexidades da clorofila, conta que ele e Fritz Haber, o sintetizador da amônia, após terem feito suas descobertas, ficaram na expectativa de receber um convite do Cáiser. Por isso, treinaram fazer reverências. Willstätter era um colecionador de porcelanas e havia um vaso precioso no salão em que ambos estavam treinando. Como era de se esperar, os exercícios terminaram esfacelando o vaso. Os dois não foram convidados pelo Cáiser, mas esse treinamento não representou uma causa perdida. Ambos, mais tarde, foram laureados com o Prêmio Nobel e, segundo o cerimonial, tiveram de fazer reverências após receberem o prêmio das mãos do Rei da Suécia.

Em 8 de fevereiro de 1896, Röntgen escreveu a seguinte carta a seu grande amigo Ludwig Zehnder, descrevendo eloquentemente os acontecimentos que envolveram sua descoberta:

“Prezado Zehnder!

Os bons amigos ficam para o final. É sempre assim que acontece. Mas você é o primeiro a receber uma resposta. Agradeço-lhe muito por tudo o que escreveu a meu respeito. Ainda não posso usar suas especulações sobre a natureza dos raios X, visto aparentemente não ser muito recomendável ou útil tentar explicar um fenômeno de natureza desconhecida com uma

hipótese que não deixe nenhum lugar a dúvidas. Não está inteiramente claro para mim qual seja a natureza dos raios. E a possibilidade de eventualmente serem raios de luz longitudinais é para mim de importância secundária. O fato é que são importantes. E, quanto a isso, minha obra recebeu reconhecimento de muitas fontes. Boltzmann, Warburg, Köhler e (nada menos que) Lorde Kelvin, Stokes, Poincaré e outros já me manifestaram sua alegria pela descoberta e, ao mesmo tempo, seu reconhecimento. Isso realmente significa muito para mim e deixo que os invejosos fiquem falando em surdina. Não estou nada preocupado!

Eu não tinha falado com ninguém a respeito de meu trabalho. À minha mulher contei apenas que estava fazendo alguma coisa a respeito da qual as pessoas, ao descobrirem, diriam: *Der Röntgen ist wohl verrückt geworden* (Röntgen ficou mesmo ensandecido). No dia 1º de janeiro enviei as novas cópias e, depois, o diabo que se encarregasse do resto! O *Wiener Presse* foi o primeiro a tocar *die Reklametrompete* ("o trompete do arauto") e logo em seguida os outros seguiram seu exemplo. Eu não chegava a reconhecer meu próprio trabalho nas reportagens. A fotografia, para mim, é um meio que leva a um fim, mas foi transformada na coisa mais importante. Aos poucos fui-me acostumando ao turbilhão, mas isso levou tempo. Há exatamente quatro semanas que não consigo fazer uma só experiência! Outras pessoas poderiam trabalhar, mas eu não. Você não imagina como as coisas ficaram confusas.

Em anexo, encaminho-lhe as fotografias prometidas. Se quiser mostrá-las em aula, para mim não faz diferença. Mas eu recomendaria que as colocasse em vidro e moldura, para que não sejam roubadas. Creio que, com a ajuda das explicações, você não terá problemas; caso contrário, é só escrever-me.

Uso uma grade Ruhmkorff de 50/20 centímetros com um interruptor Deprez e uma corrente primária de cerca de 20 ampères. Minha aparelhagem, que continha uma bomba Raps, exige vários dias para a evacuação total do ar. Os melhores resultados são obtidos quando o espaço de centelhamento de um condensador conectado em paralelo é de cerca de três centímetros.

Com o tempo a aparelhagem ficará cheia de furos (com uma exceção). Qualquer método de produção de raios catódicos terá êxito, inclusive com lâmpadas incandescentes segundo Tesla e com válvulas sem eletrodos. Para a fotografia, eu uso de três a dez minutos, dependendo das condições das experiências.

Para sua aula, envio-lhe a caixa de bússola, o rolo de madeira, o conjunto de pesos e a folha de zinco, bem como uma fotografia muito bem conservada de uma mão, feita por Pernet, de Zurique. Mas, por favor, devolva esse material logo que possível, e coberto por seguro. Você dispõe de uma tela maior com platinocianeto? Recomendações a todos os seus.

(Dr. W. C. Röntgen, p. 87)

Röntgen"

Após a descoberta de Röntgen, os físicos e o pessoal ligado à medicina passaram avidamente a investigar os novos raios. No ano de 1896, já havia mais de mil trabalhos sobre o assunto. O próprio Röntgen escreveu mais dois

artigos sobre os raios X, em 1896 e em 1897. Depois, voltou aos velhos temas e, nos vinte e quatro anos que se seguiram, elaborou sete relatórios de interesse efêmero, deixando a pesquisa dos raios X para outros cientistas mais jovens e menos preocupados. A razão para isso ficaria apenas no campo das especulações.

Em 1902 Röntgen foi laureado com o primeiro Prêmio Nobel de Física. Em 1900, tinha-se transferido para Munique, onde veio a ocupar o cargo de diretor do Instituto de Física Experimental.

Em 1914 assinou o famoso manifesto dos cientistas alemães em solidariedade a uma Alemanha militarista, mas depois arrependeu-se. Sofreu consideravelmente durante a Primeira Guerra Mundial e com os efeitos econômico-financeiros do conflito, vindo a morrer em Munique em 10 de fevereiro de 1923, com setenta e oito anos.