

Francisco Caruso; Vitor Oguri.

Rio de Janeiro: Editora Campus, 2006. 606 p.

A Editora Campus lançou, no dia 8 de agosto de 2006, o livro intitulado **Física Moderna: Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos** dos professores Francisco Caruso e Vitor Oguri, ambos nascidos no Rio de Janeiro, em 1959 e 1951, respectivamente. O professor Caruso é graduado em Física pela *Universidade do Estado do Rio de Janeiro* (UERJ), em 1980, obteve o Mestrado no *Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas* (CBPF), em 1983, e o Doutorado pela *Universidade de Turim*, na Itália, em 1989. No momento, é Professor Titular do CBPF e Professor Adjunto do *Instituto de Física da UERJ* (IF/UERJ). O professor Oguri é graduado em Física pela UERJ, em 1979, obteve o Mestrado na *Universidade de Tóquio*, no Japão, em 1988, e o Doutorado no CBPF, em 1995. No momento, é Professor Adjunto do IF/UERJ. Esses dois professores têm uma larga experiência, quer como pesquisadores em Física, quer como educadores, com vários livros e trabalhos publicados. Caruso foi **Prêmio Jovem Cientista de 1996**, outorgado pelo *Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico* (CNPq) e é **Superintendente de Difusão Científica** da *Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação do Estado do Rio de Janeiro*; Oguri participou da **Colaboração Internacional DZERO** do *Fermi National Accelerator Laboratory* (FERMILAB), responsável pela descoberta, em 1995, do **quark top**.

Em primeiro lugar, gostaria de deixar claro que, até onde vai meu conhecimento, este é o mais completo livro escrito sobre a Física Moderna, pois contempla os fatos históricos, relacionando-os com conceitos, leis teorias e modelos, bem como estuda a evolução de tudo isso, de maneira didática, e apresentando com detalhes como eles foram matematicamente desenvolvidos. Os autores dão também particular atenção ao aspecto da verificação experimental.

O livro objeto desta resenha é dividido em 17 Capítulos, distribuídos em 605 páginas, e com os seguintes títulos: 1) A estrutura da matéria: concepções

⁺ Modern Physics: Classic origins and quantum Physics fundamental

^{*} *Recebido: agosto de 2006.*
Aceito: agosto de 2006.

filosóficas na Antiguidade; 2) As origens do atomismo científico: contribuições da Química; 3) O atomismo na Física: o triunfo do mecanicismo; 4) O movimento browniano e a hipótese molecular; 5) A natureza da luz: concepções clássicas; 6) A Eletrodinâmica e a Teoria da Relatividade Restrita de Einstein; 7) A desconstrução do átomo: algumas evidências do século XIX; 8) Os raios catódicos: a descoberta do elétron e dos raios X; 9) A Radioatividade; 10) A radiação de corpo negro e o retorno à concepção corpuscular da luz; 11) Os modelos atômicos clássicos; 12) Os modelos quânticos dos átomos; 13) A Mecânica Quântica Matricial; 14) A Mecânica Quântica Ondulatória; 15) Aplicações da equação de Schrödinger; 16) A equação de Dirac; 17) Os indivisíveis de hoje. Destaque-se que, cada título e sub-título desses Capítulos, são seguidos de épigrafes de cientistas que, de certa maneira, procuram simbolizar os temas abordados.

Para fundamentar historicamente os temas discutidos em cada Capítulo, em seu final, os físicos-autores apresentam as citações das fontes primárias utilizadas no desenvolvimento dos referidos temas. Além disso, para que o leitor se aprofunde mais sobre os assuntos tratados, recomendam leituras suplementares de livros e artigos. Por fim, uma série de exercícios é proposta com o intuito de o leitor testar seu aprendizado. Como Caruso e Oguri não resolvem nenhum exercício proposto e nem apresentam as respectivas respostas, o leitor desavisado poderá pensar que isto é um ponto negativo do livro. Contudo, em nosso entendimento, essa suposta “falha” foi intencional. Com efeito, os autores não resolvem nenhum problema proposto, pois como realizam a maioria das passagens algébricas do formalismo empregado para o entendimento dos conceitos físicos abordados no decorrer do livro, essa prática, certamente, permitirá que o leitor resolva os exercícios recomendados. Por outro lado, a ausência das respostas no próprio livro tem a finalidade, ainda em meu entendimento, de dar confiança ao usuário do livro, uma vez que, é sempre possível testar se o resultado é o correto ou não, realizando o problema inverso. Contudo, os professores terão acesso às respostas e a material complementar no site da editora: <www.campus.com.br>. Agora, vejamos como esses físicos desenvolveram os Capítulos.

O Capítulo 1 trata das primeiras especulações sobre a constituição da matéria, examinando as idéias de Leucipo, Demócrito, Epicuro, Pitágoras, Platão e Aristóteles, e é concluído com uma pergunta sobre a realidade ou especulação da existência do vácuo. O surgimento do atomismo, basicamente químico, é analisado no Capítulo 2, por intermédio das contribuições de Descartes, Galileu, Gassendi, Boyle, Newton, Stahl, Lavoisier, Dalton, Prout, Avogadro, Cannizzaro

e Mendeleiev. Em seguida, no Capítulo 3, os autores discutem a evolução do atomismo físico, a partir da Teoria Cinética dos Gases, ocasião em que registram as primeiras evidências experimentais da distribuição de Maxwell-Boltzmann, e concluem o Capítulo com o conceito de seção de choque. O Capítulo 4 dá continuidade ao atomismo físico, desta vez, com a análise do movimento browniano, com ênfase nos artigos teóricos de Langevin e Einstein e nos experimentos de Perrin.

Concluída a parte relacionada à base da concepção atomística até o início do século XX, Caruso e Oguri passam a questionar, no Capítulo 5, as concepções clássicas da natureza da luz: corpuscular (Newton) ou ondulatória (Huygens)? Para o leitor entender a concepção ondulatória, os autores examinam os fenômenos ondulatórios, analisando a equação de onda clássica de d'Alembert e sua solução. Na seqüência, os experimentos de Young e Fresnel ressaltam o caráter ondulatório da luz. Por fim, esse capítulo é completado com a Teoria Eletromagnética de Maxwell-Lorentz-Larmor. No fecho do Capítulo 5, há uma interessante discussão sobre o papel do éter na propagação da luz (como onda eletromagnética), sob os pontos de vista de Maxwell e de Einstein. Essa discussão prepara o leitor para a Teoria da Relatividade Restrita Einsteiniana, que é apresentada no Capítulo 6, no qual são estudados: o conceito de espaço Newtoniano; as experiências de Michelson-Morley; a transformação de Lorentz e suas conseqüências: contração do comprimento, dilatação do tempo; a Cinemática, a Eletrodinâmica e a Dinâmica Relativistas. Nesta, são analisadas as leis de conservação e sua aplicação nas colisões de partículas relativísticas. No final, há uma reflexão sobre uma nova visão do mundo resultante da Relatividade Einsteiniana.

A desconstrução do átomo, ou seja, a sua divisibilidade, é o assunto dos Capítulos 7, 8 e 9. O Capítulo 7 tem início com as experiências de Faraday relacionadas com a idéia de “átomo de eletricidade” e que levaram-no a formular as **leis da eletrólise**. Em seguida, Caruso e Oguri tratam da espectroscopia dos elementos químicos, com destaque para o espectro do átomo de hidrogênio e sua alteração na presença de um campo magnético: o **efeito Zeeman**. Essa desconstrução é continuada no Capítulo 8, no qual tratam da descarga elétrica nos gases e da descoberta dos raios catódicos, cujos experimentos com tais raios levaram a três grandes descobertas no final do Século XIX: raios-X (Röntgen, 1895), radioatividade (Becquerel, 1896) e elétron (Thomson, 1897). Ainda nesse Capítulo 8, os autores discutem as experiências relativas à determinação da carga do elétron, realizadas por Millikan e por Ehrenhaft (que encontrou possíveis cargas fracionárias do elétron), e as da difração dos raios-X, realizadas por

Barkla, von Laue, os Bragg (pai e filho) e Moseley, nas duas primeiras décadas do Século XX. A radioatividade é tratada no Capítulo 9, com a descrição de sua descoberta e das experiências realizadas com os “raios Becquerel”, experiências essas que conduziram à descoberta de novos elementos radioativos, pelo Casal Curie, das partículas alfa (α) e beta (β), por Rutherford, e da radiação gama (γ) por Villard. O capítulo é concluído com as leis da transmutação e do decaimento radioativos, e com a polêmica sobre o decaimento da partícula beta e a não conservação da energia observada nesse decaimento.

Os fenômenos caloríficos, desta vez, sob o aspecto de radiação térmica, são o assunto do Capítulo 10. Os autores iniciam-no com o raciocínio probabilístico da Mecânica Estatística de Boltzmann e continuam-no com as leis clássicas da radiação do corpo negro, deduzidas por Stefan, Wien, Paschen e Rayleigh, de maneira independente, que levaram à famosa “catástrofe do ultravioleta”, ou seja, aquela radiação tendia para o infinito para ondas eletromagnéticas com comprimento de onda cada vez menor. Em seguida, os físicos-autores mostram como Planck, em 1900, resolveu essa “catástrofe”, com a proposição revolucionária de que a **energia deveria ser discreta** e não contínua, como considerava a Física até então. Concluem-no com a hipótese, também revolucionária, proposta por Einstein, em 1905, sobre a **natureza quântica da luz**, usada por ele para explicar as leis do **efeito fotoelétrico**, obtidas experimentalmente por Lenard e que não eram explicadas considerando a luz como uma onda eletromagnética. Caruso e Oguri, ainda nesse capítulo, descrevem como Einstein usou aquela hipótese revolucionária para explicar o caráter discreto dos calores específicos. Por fim, mostram como o caráter dual (onda-partícula) proposto por Einstein para o seu “quantum de luz” foi importante para explicar o **efeito Compton** (1923).

Os Capítulos 11 e 12 tratam, respectivamente, dos modelos atômicos clássicos (Thomson, Nagaoka, Rutherford), e dos quânticos (Bohr, Wilson, Sommerfeld). No desenvolvimento desses Capítulos, há destaque para alguns aspectos importantes da Física Moderna. Por exemplo, ao tratarem do modelo de Rutherford, os autores estudam o espalhamento de partículas carregadas em elementos químicos e a conseqüente descoberta do núcleo atômico. Por sua vez, na análise dos modelos quânticos, que constituem a chamada Velha Mecânica Quântica, Caruso e Oguri indicam como Sommerfeld teve de recorrer à Teoria da Relatividade Restrita para poder explicar a “estrutura fina” das raias espectrais.

As Mecânicas Quânticas (Matricial e Ondulatória), são desenvolvidas nos dois Capítulos seguintes. O Capítulo 13, que trata da Matricial, tem início com os argumentos probabilísticos usados por Einstein para dar uma

nova demonstração da Teoria Quântica de Planck. Com esses argumentos, Einstein obtém as probabilidades de transição (espontânea e induzida ou estimulada) das órbitas eletrônicas bohrianas, que, mais tarde, vieram a constituir a base teórica da Teoria do Laser. Em continuação, os autores desenvolvem a Mecânica Matricial de Born, Heisenberg e Jordan, com ênfase para a regra de comutação entre posição e *momentum* e para as equações de movimento de Heisenberg. A Mecânica Quântica Ondulatória é discutida no Capítulo 14. Para o seu entendimento, Caruso e Oguri discutem, inicialmente, a hipótese de Louis de Broglie sobre o caráter de “onda-piloto” do elétron orbital atômico, e sua verificação experimental por intermédio dos experimentos de Davisson, Kunsman, Germer e G. P. Thomson, este filho do descobridor do elétron. A equação de Schrödinger, a representação matemática da “onda-piloto de broglieana”, é tratada logo a seguir, nos seus aspectos independente e dependente do tempo, bem como a interpretação probabilística de Born para a função de onda schrödingeriana e seu uso para descrever o movimento de uma partícula carregada em campos conservativos. As relações de incerteza de Heisenberg, as equações de Ehrenfest e a generalização da equação de Schrödinger para sistemas de muitas partículas completam o Capítulo 14.

O Capítulo 15 é dedicado integralmente na solução da equação de Schrödinger para alguns potenciais, tais como: poços e barreiras, oscilador harmônico simples e o átomo de hidrogênio. Para a compreensão dessas soluções, os professores Caruso e Oguri desenvolvem, de modo bem didático, as propriedades matemáticas das funções especiais da Física-Matemática por eles utilizadas na obtenção daquela solução.

O livro é concluído com os Capítulos 16 e 17. No Capítulo 16, os autores discutem a Equação de Dirac, cuja apresentação formal é antecipada de uma excelente fábula: o milho e a pérola, na qual, a principal proposta e posterior descoberta dessa equação – o *pósitron* – constitui a moral dessa fábula, pois, segundo os autores: *o descobrimento dessa pérola de brilho – o pósitron – foi decisivo para a moderna conceituação do milho: o elétron*. Além de examinarem a Equação de Pauli como limite não-relativístico da Equação de Dirac, Caruso e Oguri discutem o spin do elétron; sua conceituação (Uhlenbeck-Goudsmit), sua confirmação experimental (Stern-Gerlach) e sua importância no entendimento da Tabela Periódica dos Elementos (Mendeleiev). O Capítulo final (17) é dedicado a uma rápida apresentação dos *indivisíveis de hoje* – os *quarks* –, e uma reflexão filosófica sobre o importante papel desempenhado pela experiência de Rutherford (descoberta do núcleo atômico), cuja utilização conceitual – colisão de partículas carregadas contra alvos fixos – levou a descoberta (por enquanto indireta) desses

indivisíveis, como o que sugere a experiência de Friedman, Kendall e Taylor, de 1969.

Na conclusão desta Resenha, é oportuno destacar alguns aspectos interessantes do livro de Caruso e Oguri. Sua vasta bibliografia, tanto de artigos como de livros, certamente oferece enormes possibilidades ao leitor interessado em se aprofundar ainda mais em cada um dos temas tratados no livro. Ele é dedicado: à amizade do físico Alberto Santoro, um dos também descobridores do *quark top*, que foi orientador dos autores em fases diferentes; ao amor de suas mulheres – Cristina (Caruso) e Stella (Oguri); à saudade do físico Armando Tavares, que teve papel de destaque no desenvolvimento e na consolidação do IF da UERJ; e à esperança com relação a Nilton de Freitas, aluno de ensino médio público que acaba de ingressar na Graduação em Física. A “orelha” é de Eugene Levin, Professor Titular do Departamento de Física de Altas Energias da *Universidade de Tel-Aviv*. O Prefácio é assinado por Henrique Fleming, Professor Titular da *Universidade de São Paulo* (USP), que começa afirmando que "este é um livro para quem ama a Física", comentário com o qual concordamos plenamente. Por fim, na quarta capa, o livro é fortemente recomendado pelos seguintes professores: Ruben Aldrovandi, Professor Titular do Instituto de Física Teórica da *Universidade do Estado de São Paulo* (UNESP); o autor desta Resenha, Professor Titular Aposentado da *Universidade Federal do Pará* (UFPA); Leopoldo de Meis, Professor Titular do *Instituto de Bioquímica Médica da Universidade Federal do Rio de Janeiro* (UFRJ) e Membro da *Academia Brasileira de Ciências* (ABC); Mario Novello, Pesquisador Titular do Instituto de Cosmologia, Relatividade e Astrofísica do *Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas* (ICRA/CBPF); Enrico Predazzi, Professor Titular da *Università degli Studi di Torino*, Itália, e Membro da *Accademia della Scienze di Torino*; Roberto Salmeron, Pesquisador Emérito da *Organization Européene pour la Recherche Nucléaire* (CERN) e do CBPF, e Membro da ABC; Mario Vaz, Professor Adjunto da *Escola Politécnica da UFRJ* e Engenheiro do CBPF; e Raju Venugopalan, Membro do *Nuclear Theory Group*, Brokhaven National Laboratory – United State of America (USA).

Certamente é o livro no qual os estudantes de Física e áreas afins terão prazer de estudar os fundamentos da Física Moderna e, portanto, não deveria faltar nas nossas bibliotecas.

José Maria Filardo Bassalo

Professor aposentado do Departamento de Física – UFPA
Belém –PA