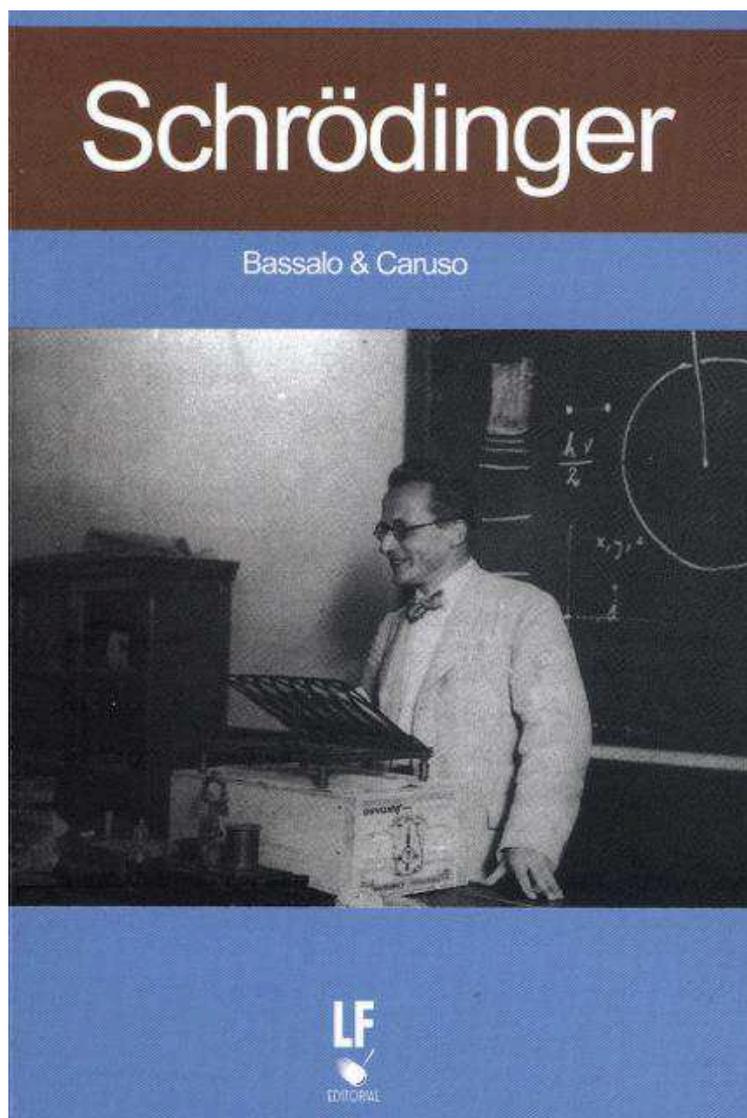


José Maria Filardo Bassalo e Francisco Caruso
Editora Livraria da Física, São Paulo, 2014, 1ª edição
ISBN: 978-85-7861-248-1

Em uma série de bem-sucedidas biografias sobre grandes físicos do século 20, escritas pelos professores Bassalo e Caruso, eis que surge uma personagem multifacetada da física, Erwin R. J. A. Schrödinger: um soldado, esportista, poeta, filósofo, sociólogo, historiador da ciência, físico e amante. Embora ele seja conhecido por grande parte da comunidade científica em virtude da sua famosa equação da mecânica quântica, i.e., a Equação de Schrödinger, foi um excelente físico, atuante em diferentes áreas da física clássica e da iniciante física moderna. O livro também mostra sua enorme capacidade de tratar assuntos pertinentes a outras áreas do conhecimento. Nos seus últimos anos acadêmicos, Schrödinger ainda flertou com a biologia, produzindo uma série de palestras no início de 1943, ministradas no Instituto de Ciências



⁺ Schrödinger

* *Recebido: junho de 2016.*
Aceito: junho de 2016.

Avançadas de Dublin, que resultaram no seu famoso livro intitulado “O que é vida? O aspecto físico da célula viva”¹. Se hoje temos um recente campo das ciências chamado de “biologia quântica”, termo cunhado pelo físico sueco Per-Olov Löwdin (1916-2000), em artigo publicado em 1965², foi graças aos esforços de Schrödinger para entender o código genético. Por essa razão, o livro é um presente não só para os para os amantes da física, mas também para os amantes da vida (em todos os sentidos).

Como bem documentado na biografia de Schrödinger, por Bassalo e Caruso, a vida acadêmica desse físico brilhante começou, de fato, em plena Primeira Guerra Mundial (1914-1918), período no qual lutou como Oficial de Artilharia e continuou a realizar seus trabalhos científicos, inclusive com publicações no período turbulento da guerra. Em 1911, Schrödinger já era professor assistente de Franz S. Exner (1849-1926) na Universidade de Viena. Concluiu seu doutoramento com Friedrich Hasenöhl (1874-1915) e também realizou trabalhos experimentais com Karl Wilhelm Friedrich “Fritz” Kohlrausch (1884-1953), também na Universidade de Viena. Sua vida acadêmica é mapeada de forma detalhada e bem documentada no livro. Destaco, entretanto, o período (1921-1927) em que Schrödinger foi professor da Universidade de Zurich, na companhia de pesquisadores brilhantes, como Einstein, von Laue, Weyl e Debye, quando produziu importantes trabalhos que resultaram na mecânica quântica ondulatória.

O presente livro busca, a partir de uma perspectiva cronológica, mostrar os diversos interesses de Schrödinger nas artes, na filosofia, além de suas grandes contribuições na física. No Capítulo 3, os autores mostram que a contribuição científica de Schrödinger foi também relevante em áreas menos conhecidas, comentando seus trabalhos sobre a percepção das cores e colorimetria no início da década de 1920. Com a sua preocupação sobre a teoria das cores, nota-se que Schrödinger trilhou um caminho parecido com o de outros cientistas importantes como Newton, Dalton, Young, Brewster, Helmholtz, dentre outros mais recentes.

Como não poderia passar despercebido pelos autores, o livro evidencia que Schrödinger também produziu trabalhos importantes utilizando a velha mecânica quântica de Bohr-Sommerfeld, pavimentando o caminho para se chegar à sua mecânica quântica ondulatória.

A década de 1920 foi realmente repleta de novidades para a física atômica, principalmente com a descoberta do caráter dual da luz, proposto por Einstein em 1916 e constatado, em experimentos independentes, por Compton e Debye em 1923. Tudo isto é relatado no livro de forma circunstanciada. Por exemplo, a dualidade da luz levou o príncipe francês Louis de Broglie, em 1924, a estudar física e desenvolver sua tese de doutorado sobre a teoria dos quanta. Ao tomar conhecimento do trabalho de L. de Broglie, por intermédio de Debye, Schrödinger obteve um resultado que levaria à sua famosa equação de onda para descrever o movimento do elétron via uma espécie de “campo escalar mecânico” (a função de onda de Schrödinger). Durante suas

¹ Tradução brasileira da Fundação Editora da UNESP, 1997.

² *Advances in Quantum Chemistry*, v. 2, p. 213-360, 1965.

férias de 1925, ele começou a buscar uma solução para a proposta de Debye e, em 1926, apresentou um seminário no grupo de Debye, o que iniciaria o desenvolvimento da mecânica quântica ondulatória.

Entre idas e vindas, na tentativa de compreender o significado da função de onda de Schrödinger, em 1926, ele próprio acreditava que os elétrons seriam pacotes de ondas propagando-se no espaço como se fossem partículas clássicas formando uma nuvem (p. 79). Porém, ele não obteve sucesso na sua interpretação da função de onda, mesmo após uma temporada na Universidade de Copenhague, trabalhando com Niels Bohr. A interpretação mais aceita para a função de onda de Schrödinger foi dada por Max Born ainda em 1926, com a introdução do conceito de amplitude de probabilidade. Interessante que o desafio para interpretar a função de onda e a determinação das grandezas físicas observáveis (propriedades) de um sistema levaram ao desenvolvimento do Princípio de Incerteza, formulado por Heisenberg, em 1927 (p. 85).

Um aspecto pouco comum apresentado em outros livros similares, porém bem descrito na presente biografia, é que Schrödinger era um sujeito muito eclético em física geral e acompanhava praticamente todos os desenvolvimentos da sua época. Ainda em 1925, ele tentou fazer uma descrição relativística do elétron no átomo de hidrogênio (Capítulo 7). Embora não obtivesse sucesso na descrição do espectro do átomo de hidrogênio, abriu caminho para a construção de outras equações relativistas na mecânica quântica. Apesar dos esforços, somente em 1928, Dirac obteve uma equação relativista para o elétron considerando os efeitos do spin que descrevia corretamente o espectro do átomo de hidrogênio. Em 1930, o próprio Schrödinger investigou a equação de Dirac para um elétron livre (p. 98), evidenciando um efeito relativístico entre o movimento translacional eletrônico e o spin, conhecido como *zitterbewegung*. Embora este efeito não tenha sido observado diretamente, vários físicos propuseram na literatura um efeito análogo em fios quânticos, a partir de um artigo publicado em 2005 (*Physical Review Letters*, v. 94, 206801). Recentemente, há vários trabalhos simulando o *zitterbewegung* em nanoestruturas e também o detectando experimentalmente em condensados de Bose-Einstein com acoplamento spin-órbita.

Como bem observado pelo livro, na década de 1930, Schrödinger também generalizou as relações de incerteza de Heisenberg, além de discutir temas sobre arte, ética, cultura e filosofia da ciência. A riqueza dessa contribuição é apresentada no Capítulo 8 do livro.

O Capítulo 9 é reservado a um tema ainda bem atual e que vem sendo tratado por diversos grupos importantes de física quântica no mundo. De forma bem documentada, esse capítulo aborda como as interpretações dadas à representação do estado quântico de um sistema resultaram nos famosos debates entre Einstein e Bohr, levando ao paradoxo Einstein-Podolsky-Rosen (EPR), publicado em 1935, sobre a realidade física da medida. Esse trabalho, entretanto, foi contestado por Bohr em carta enviada para a revista *Nature* e também em uma publicação no *Physical Review* utilizando o seu Princípio da Complementaridade. Bohr mostrou que dois sistemas quânticos correlacionados estão sujeitos a uma “inseparabilidade quântica” ou, na linguagem atual, estão emaranhados. Schrödinger também apresentou, em 1935, outro aspecto do

paradoxo EPR propondo um experimento mental conhecido como paradoxo do “gato” de Schrödinger.

Em 1964, o físico irlandês John S. Bell (1928-1990) demonstrou um teorema que permitiu testar experimentalmente tal inseparabilidade quântica. O teorema de Bell afirma que o realismo local é incompatível com as previsões da mecânica quântica, o que é expresso pelas famosas desigualdades de Bell. Em recente artigo publicado pelo grupo do físico austríaco Anton Zeilinger³ sobre fótons emaranhados, observou-se uma violação em uma desigualdade de Bell com altíssima significância estatística.

Na década de 1940, Schrödinger tratou uma série de problemas físicos interessantes, indo da expansão do Universo a temas relacionados à mecânica quântica. Os autores da biografia destacam muito bem o papel de Schrödinger na teoria de campo unificado, em particular pela tentativa de unificação gravidade-eletromagnetismo, bem como na teoria de probabilidades, tema recorrente nas publicações de Schrödinger.

Ainda na década de 1940, a publicação do seu livro *What is Life? The Physical Aspect of the Living Cell*⁴ abriu caminho para uma incursão na biologia, influenciando uma geração de físicos e biólogos que se dedicaram a estudar a estabilidade da estrutura genética. Nas próprias palavras do biólogo James D. Watson, ganhador do Prêmio Nobel de Fisiologia ou Medicina de 1962, junto com os físicos Francis Crick e Maurice Wilkins: “A mudança em minhas intenções não foi inspirada por nenhum professor inesquecível, mas por um pequeno livro publicado em 1944, *O que é vida?...*”⁵. Atualmente, a biologia quântica vem surgindo como uma área que une a biologia molecular, a química e a física quântica⁶.

O Capítulo 12 discute brevemente a segunda lei da termodinâmica, examinada por Clausius e por *Lord Kelvin*, entre as décadas de 1850 e 1860, e chama atenção para o seu caráter probabilístico sugerido por Maxwell, em 1867, e por Loschmidt, em 1876. De fato, após algumas tentativas frustradas, Boltzmann conseguiu formalizar a segunda lei da termodinâmica em termos probabilísticos, obtendo a sua famosa equação para a entropia. Nesse contexto, os autores evidenciam a contribuição de Schrödinger na termodinâmica estatística, em particular, sobre a irreversibilidade temporal e o aumento da entropia. Como bem lembrado no livro, Schrödinger entrou para a Universidade de Viena logo depois da morte de Boltzmann, em 1906, e foi fortemente influenciado pelas ideias estatísticas de Boltzmann (p. 2). Note-se que a mecânica estatística de Boltzmann-Gibbs foi assunto estudado por Schrödinger já na primeira metade da década de 1920 (p. 48) no contexto da velha mecânica quântica. Embora se considerasse um discípulo de Boltzmann, é admirável, contudo, como Schrödinger não se conformava com a interpretação estatística de Max Born para o seu “campo escalar mecânico” (p. 171).

³ *Physical Review Letters*, v. 115, 250401, 2015.

⁴ Cambridge University Press, 1944.

⁵ *DNA: O segredo da vida*. Tradução: Editora Companhia das Letras, 2005.

⁶ *Nature Physics*, v. 9, p. 10-18, 2013.

A visão filosófica de Schrödinger sobre a física também é mapeada pelos autores, com destaque para sua percepção frente à ciência. Para temperar ainda mais o nosso conceito sobre esse grande físico, o Capítulo 14 aborda sua atribulada vida amorosa, chamando atenção para o período no qual ele resolvera o problema de forma magistral para o comportamento ondulatório da matéria a pedido de Debye. Então, ao sair de férias para uma famosa estação balneária alpina na Suíça em dezembro de 1925, descobriu a “verdadeira” equação da mecânica quântica (segundo o testemunho de Dirac), como bem observado pelos autores do livro (p. 192). Essa equação mudaria os rumos da química, física atômica e molecular, bem como da física do estado sólido.

Além da vida e obra de Erwin Schrödinger, os professores Bassalo e Caruso também fazem uma bela revisão de física, apresentando um texto simples com riqueza de detalhes em alguns pontos e bem documentado em outros. Cada capítulo é uma viagem interessante, de modo que é difícil ler o livro todo sem parar e refletir um pouco sobre o que representou esse formidável cientista, especialmente, para o desenvolvimento da física moderna.

*Roberto Rivelino de M. Moreno*⁷
Instituto de Física
Universidade Federal da Bahia

⁷ E-mail: rivelino@ufba.br