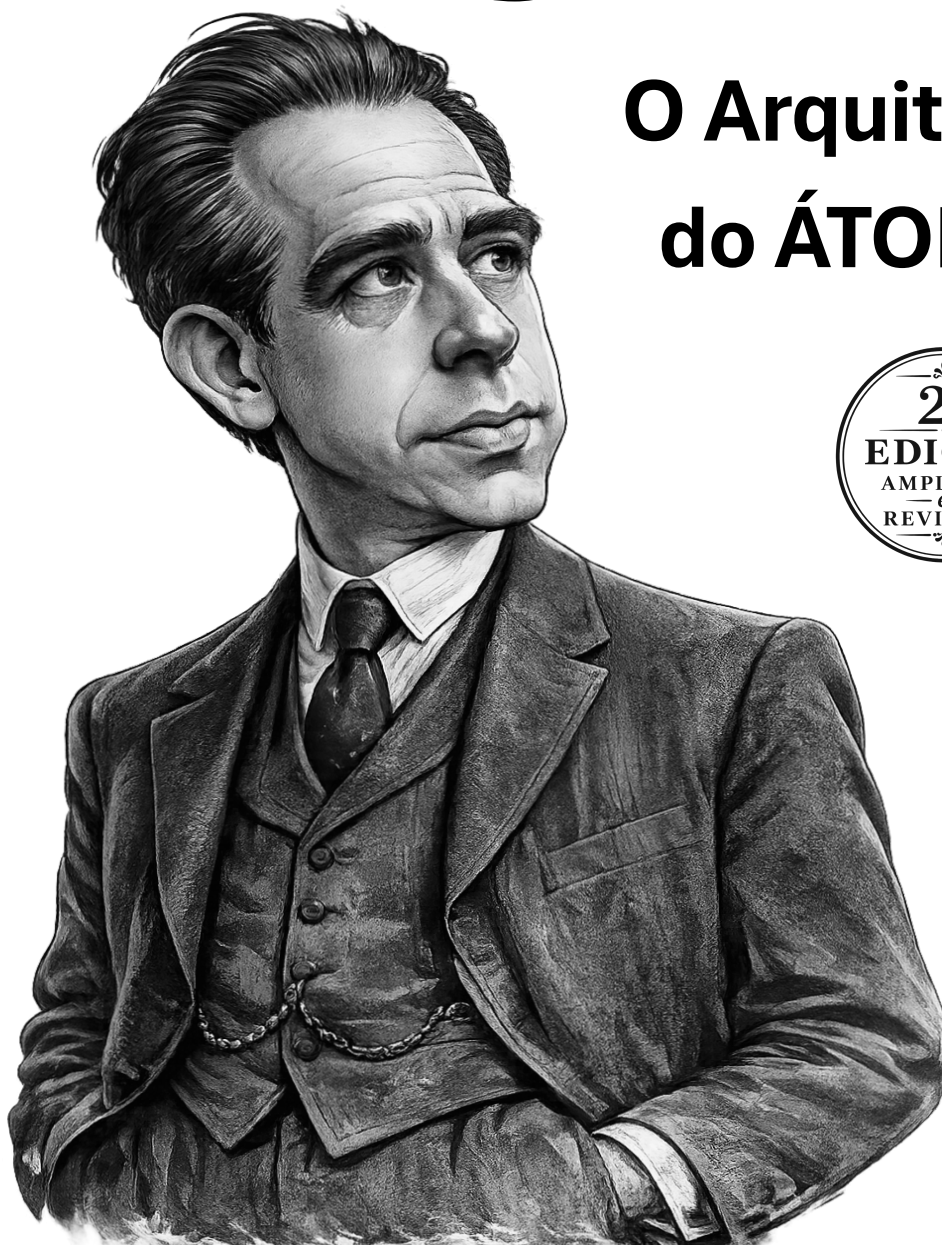


Bohr

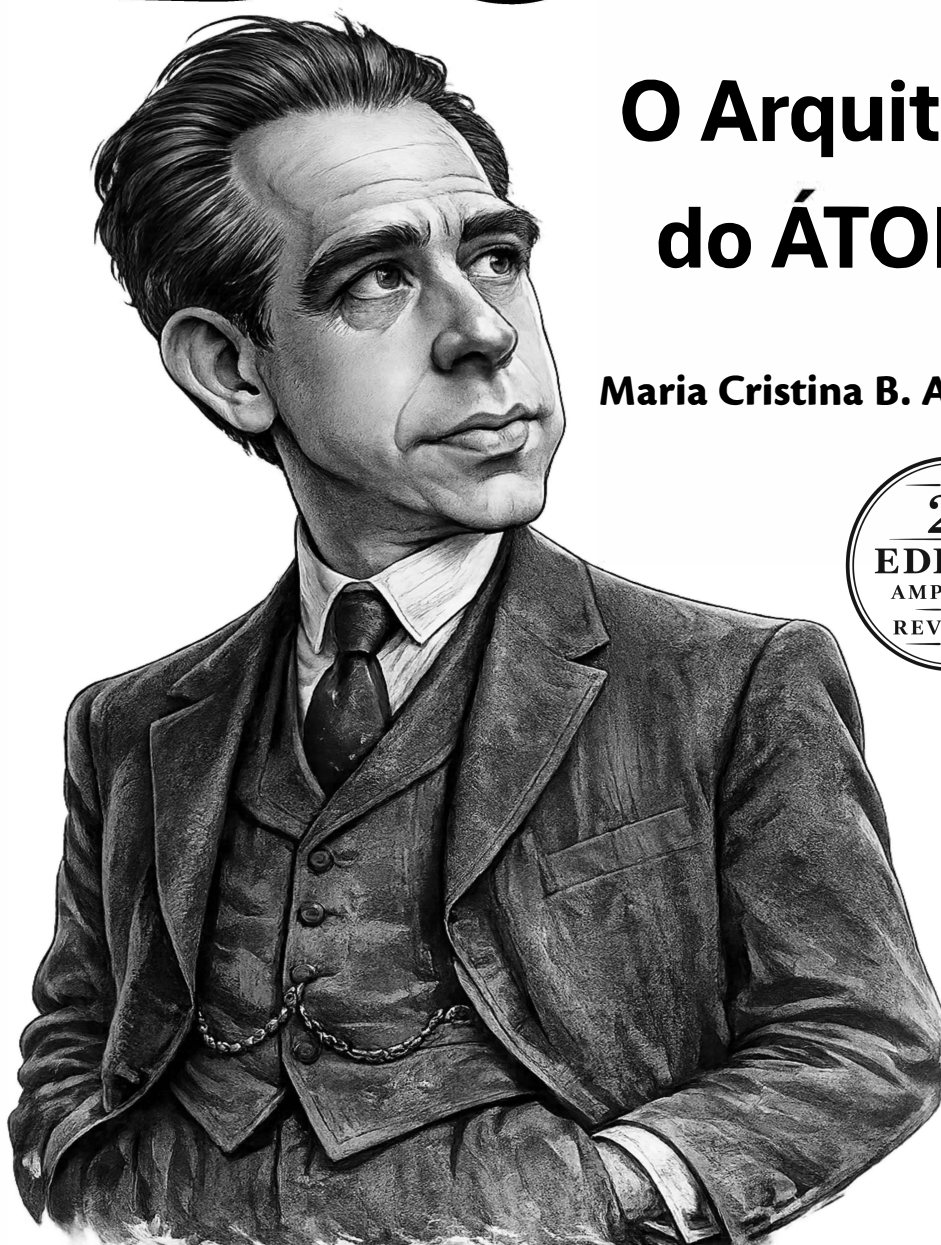
O Arquiteto
do ÁTOMO



Bohr

O Arquiteto do ÁTOMO

Maria Cristina B. Abdalla



Copyright © 2026 Autora

2ª edição ampliada e revisada

Editores: José Roberto Marinho | Victor Pereira Marinho

Preparação de originais: Horizon Soluções Editoriais

Projeto gráfico e Diagramação: Horizon Soluções Editoriais

Capa: Horizon Soluções Editoriais

Ilustrações: Sérgio Kon

Texto em conformidade com as novas regras ortográficas do Acordo da Língua Portuguesa.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Abdalla, Maria Cristina B.

Bohr: O arquiteto do átomo / Maria Cristina B. Abdalla. - São Paulo: LF Editorial, 2026.

Bibliografia

ISBN: 978-65-5563-789-2

1. Bohr, Niels Henrik David, 1885-1962 2. Física 3. Físicos - Biografia 4. Memórias
I. Título.

26-370801.0

CDD - 530.092

Índices para catálogo sistemático:

1. Físicos : Vida e obra 530.092

Eliane de Freitas Leite – Bibliotecária – CRB-8/8415

ISBN: 978-65-5563-789-2

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta obra poderá ser reproduzida sejam quais forem os meios empregados sem a permissão da autora. Aos infratores aplicam-se as sanções previstas nos artigos 102, 104, 106 e 107 da Lei n. 9.610, de 19 de fevereiro de 1998.

Impresso no Brasil | Printed in Brazil



LF Editorial

Fone: (11) 2648-6666 / Loja (IFUSP)

Fone: (11) 3936-3413 / Editora

www.livrariadafisica.com.br | www.lfeditorial.com.br

CONSELHO EDITORIAL

Amílcar Pinto Martins

Universidade Aberta de Portugal

Arthur Belford Powell

Rutgers University, Newark, USA

Carlos Aldemir Farias da Silva

Universidade Federal do Pará

Emmánuel Lizcano Fernandes

UNED, Madri

Iran Abreu Mendes

Universidade Federal do Pará

José D'Assunção Barros

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Luis Radford

Universidade Laurentienne, Canadá

Manoel de Campos Almeida

Pontifícia Universidade Católica do Paraná

Maria Aparecida Viggiani Bicudo

Universidade Estadual Paulista - UNESP/Rio Claro

Maria da Conceição Xavier de Almeida

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Maria do Socorro de Sousa

Universidade Federal do Ceará

Maria Luisa Oliveras

Universidade de Granada, Espanha

Maria Marly de Oliveira

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Raquel Gonçalves-Maia

Universidade de Lisboa

Teresa Vergani

Universidade Aberta de Portugal

SUMÁRIO

Prefácio	9
1 Apresentação	13
2 Infância e juventude (1885-1922)	17
2.1 A família de Bohr	19
2.2 A tenra infância	21
2.3 A adolescência	22
2.4 O <i>quantum</i> de Max Planck	24
2.5 Os estudos na universidade	25
2.6 O trabalho sobre a tensão superficial da água	25
2.7 O encontro com Margrethe	27
2.8 O doutorado	27
3 Arquetetando o modelo atômico (1912-1922)	31
3.1 Breve história do átomo	32
3.2 Linhas espectrais	36
3.3 A fórmula de Balmer	39
3.4 A dualidade onda & partícula para o <i>quantum</i> de luz	40
3.5 O encontro com Rutherford	43
3.6 De volta ao reino da Dinamarca	50
3.7 O primeiro modelo de Bohr para o átomo de hidrogênio	52
3.8 Novos desafios	57
3.9 O Instituto de Física Teórica	60
3.10 Einstein & Bohr (o encontro)	63
3.11 O Prêmio Nobel	66
4 Arquetetando a Mecânica Quântica (1923-1932)	69
4.1 Spin	79
5 A Mecânica Quântica e as forças nucleares (1932-1939)	97
5.1 Campos eletromagnéticos quânticos	99
5.2 A descoberta do nêutron e do neutrino	103
5.3 Aplicações biológicas de radioisótopos artificiais	105

5.4	O III Reich	107
5.5	O paradoxo Einstein, Podolski e Rosen (EPR)	108
5.6	Meio século de vida	110
5.7	O modelo de núcleos compostos	113
5.8	O problema da fissão do urânio	114
5.9	A ideia do urânio 235 ($^{235}_{92}\text{U}$)	117
6	A guerra, a ocupação, a fuga e o retorno à pátria (1939-1945)	121
7	O pós-guerra (1945-1962)	139
7.1	A Ordem dos Elefantes	141
7.2	A criação do CERN e do Nordita	144
7.3	Carta Aberta às Nações Unidas	147
7.4	O Projeto de Energia Nuclear Nacional	147
7.5	O prêmio Átomos para a Paz	149
7.6	A Mecânica Quântica fora do campo da Física	149
7.7	A grande passagem	153
8	O imortal	155
	Referências	159
	Glossário	161
	Cronologia	175
	O encontro de 1941 à luz dos arquivos	181

Prefácio

Francisco Caruso

O LEITOR encontra aqui a segunda edição revisada e ampliada de uma biografia de um dos maiores físicos do século XX: Niels Bohr. Escrita de forma simples, clara e elegante, não se perde em tecnicismos e nos leva a querer terminar a leitura de uma só vez. O texto é fruto da experiência de Maria Cristina B. Abdalla, pesquisadora bem-sucedida em suas áreas de atuação e sempre comprometida com o ensino e a divulgação científica.

Cristina tem consciência da importância da influência do ambiente familiar, da cultura, da escola, da filosofia e da história como aspectos relevantes e, às vezes, determinantes, da formação de um cientista. Embora, infelizmente, essa não seja a visão dominante no meio científico de hoje, esta biografia de Bohr foi assim construída a partir do seu Capítulo 2, “Infância e juventude (1885-1922)”, o que oferece ao seu leitor uma dimensão mais profunda da personalidade e da obra do biografado.

Talvez o senso comum reconheça em Bohr um grande cientista por suas famosas discussões com Albert Einstein, nas quais, muitos reconhecem e, sobretudo, a evolução da Mecânica Quântica até aqui

parece confirmar, o físico dinamarquês teria levado certa vantagem, o que, sem dúvida, não é pouca coisa.

Na virada do século XIX para o século XX, Max Planck introduz a quantização da radiação emitida e absorvida por um corpo negro e, nos 12 anos seguintes, persistiu na tentativa de salvar a teoria clássica da emissão da luz. Em vão. Em 1905, Einstein mostra que a quantização é inerente à própria natureza microscópica da luz, explicando o efeito fotoelétrico e que a luz, confinada em uma cavidade, se comporta como um gás de fótons.

Foi Bohr quem percebeu que a constante introduzida na quantização da radiação de corpo negro – batizada de constante de Planck – é fundamental para assegurar também a estabilidade do átomo. A estranheza da construção ad hoc de seu átomo, com todas as suas contradições, não diminui seu valor epistemológico. De fato, foi inspirado no sucesso de seu modelo atômico, ao explicar a fórmula espectral de Balmer (Cap. 3), que o físico francês Louis de Broglie vai propor que a dualidade onda-corpúsculo, proposta por Planck e Einstein para a luz, deveria igualmente valer para o elétron, ampliando as fronteiras da crise da Física Clássica. É nesta relação dual, impensável classicamente, que, de certa forma, reside a visão ondulatória do físico austríaco Erwin Schrödinger, levando-o a estabelecer uma equação diferencial parcial para a evolução de um elétron. Entretanto, ainda faltava um ingrediente para a consolidação da Mecânica Quântica e para a Física ser capaz de explicar as incríveis regularidades da Tabela Periódica de Mendeleiev: o spin (Cap. 4).

No Cap. 5, são abordados temas relacionados aos primórdios da Teoria Quântica de Campos, da Física Nuclear e da Radioativi-

Prefácio

11

dade decorrentes da quantização da luz e da matéria. Além disso, é apresentada uma discussão introdutória do Paradoxo de Einstein, Podolski e Rosen (EPR), cujo trabalho original pretendia responder à seguinte pergunta: ‘Pode a descrição quântica da realidade física ser considerada completa?’. Bohr foi um personagem de grande importância nesse debate que, de algum tempo para cá, tem voltado a ser discutido por cientistas e filósofos.

O pano de fundo da II Guerra Mundial e como ela afetou o trabalho de Niels Bohr são temas abordados no Cap. 6.

Por fim, a autora trata, no Cap. 7, da situação do pós-guerra, sob o impacto da bomba atômica e do Projeto Manhattan, que mudou a forma de se fazer Física mundialmente, inclusive com a criação do CERN e do Nordita.

O leitor conta também com um útil glossário e uma cronologia pertinente ao tema do livro.

Esta nova edição traz, como uma de suas novidades, comentários finais sobre o famoso encontro de Niels Bohr e do físico alemão Werner Heisenberg, em plena II Guerra Mundial, à luz dos arquivos históricos.

Para mim, ler este livro foi um prazer que espero possa ser compartilhado pelos novos leitores.

Apresentação

Maria Cristina B. Abdalla

VOLTAR a um livro escrito há mais de vinte anos é também re-encontrar a pessoa que o escreveu. Quando Bohr: o arquiteto do átomo foi publicado pela primeira vez, em 2002, eu já havia convivido durante décadas com a física teórica, com suas perguntas, sua linguagem e seus personagens. Niels Bohr não me era estranho. Na biblioteca do Instituto de Física Teórica, ainda em sua antiga sede na Rua Pamplona, estavam os dez volumes então publicados dos Niels Bohr Collected Works. Foi nessa coleção extraordinária que encontrei uma das fontes fundamentais para a aproximação com o homem e o cientista que eu procuraria retratar neste livro.

Aqueles volumes me permitiram chegar a Bohr por uma via que sempre me pareceu particularmente fértil: não apenas pelos resultados acabados, mas pelo percurso das ideias. Manuscritos, correspondência, conferências e textos científicos deixavam entrever uma física sendo construída, com suas perguntas ainda abertas, suas mudanças de direção e suas controvérsias. Foi desse material, e do fascínio que ele me despertou, que nasceu o desejo de escrever este livro.

Foi esse Bohr que procurei apresentar na primeira edição: o cientista situado no extraordinário momento histórico em que a fí-

sica clássica encontrava seus limites e uma nova física começava a ser construída. Ao reler o texto tantos anos depois, encontrei esse mesmo homem, mas encontrei também algo que hoje me interessa ainda mais: a ciência como atividade humana, feita de ideias e cálculos, certamente, mas também de conversas, divergências, lealdades, hesitações e circunstâncias históricas.

Por isso, esta edição não é apenas a reimpressão de um livro publicado em outro tempo. Ela preserva a estrutura e a intenção do texto original, mas incorpora uma reflexão que, em 2002, apenas começava a se tornar possível. Naquele ano, o Niels Bohr Archive divulgou documentos que haviam permanecido inacessíveis ao público por cerca de sessenta anos, relacionados ao célebre encontro entre Bohr e Werner Heisenberg, ocorrido em Copenhague, em 1941, durante a ocupação alemã da Dinamarca. O episódio, cercado durante décadas por versões, interpretações e especulações, tornou-se uma das passagens mais discutidas da história da física do século XX.

A documentação não elimina todos os enigmas, nem poderia fazê-lo. Mas permite deslocar a pergunta. Mais do que decidir qual dos dois homens guardou a versão verdadeira daquele encontro, interessa compreender por que dois físicos que haviam compartilhado uma relação intelectual tão profunda puderam sair da mesma conversa com compreensões tão diferentes sobre o que havia sido dito. O ensaio acrescentado a esta edição nasceu desse deslocamento do olhar.

Talvez essa seja também uma das razões pelas quais vale a pena voltar a Bohr. A ciência costuma ser apresentada retrospectivamente como uma sucessão ordenada de descobertas. Vista de perto, porém,

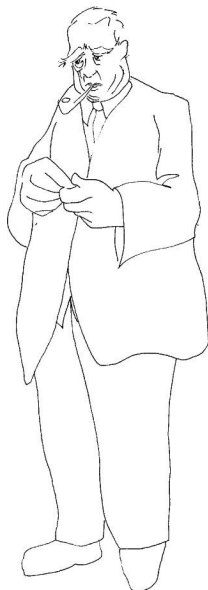
Apresentação

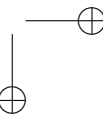
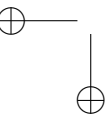
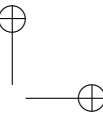
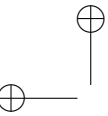
15

ela é muito menos linear. Ideias surgem incompletas, conceitos precisam ser abandonados ou reformulados, interpretações competem entre si e, algumas vezes, até aqueles que construíram juntos uma nova maneira de compreender o mundo deixam de compreender um ao outro.

Vinte e quatro anos separam esta edição da primeira. Nesse intervalo, a física continuou a avançar, novos documentos se tornaram acessíveis e eu própria voltei a algumas das perguntas que haviam me levado a escrever este livro. Não quis substituir o olhar de então pelo olhar de agora. Prefiri colocá-los em continuidade. A autora que escreveu estas páginas em 2002 permanece nelas; a autora que as relê em 2026 acrescenta aquilo que o tempo lhe permitiu distinguir.

É assim que este Bohr retorna ao leitor. Não como um livro encerrado e simplesmente recuperado, mas como um livro reencontrado.





Infância e juventude (1885-1922)

NIELS HENRIK DAVID BOHR foi um dos maiores físicos que a humanidade conheceu. Nasceu em Copenhague, em outubro de 1885, no dia 7, quando caíam as primeiras folhas do outono dinamarquês. Sua família vivia numa bela mansão da Ved Stranden, número 14, bem em frente à sede do Parlamento.

A Dinamarca, o mais antigo reino da Europa, é também a terra da Pequena Sereia, personagem do afamado conto de Andersen,¹ cujos olhos estáticos contemplam os navios no mar Báltico, indo e vindo, sumindo ao longe, chegando de novo.

País pequeno, formado por 482 ilhas separadas do continente pelas incursões do mar, e mais um resto de península, contígua à Alemanha, tem 43.073 km² de terras muito planas, onde o ponto mais alto está a apenas 172 m acima do nível dos mares que as rodeiam; o mar do Norte fica a oeste, o Báltico, a leste, e o estreito de Skagerrak, ao norte. Os cerca de 6 milhões de dinamarqueses

¹ Hans Christian Andersen (1805-1875): célebre poeta dinamarquês. Era pobre, desajeitado e alto demais quando criança. Há quem diga que ao escrever “O Patinho Feio”, ele tenha se inspirado em sua própria infância. Seus contos mais conhecidos são: “O Soldadinho de Chumbo”, “João e Maria”, “A Pequena Sereia” e “A Roupas Nova do Rei”.

espalham-se pelas diversas ilhas, sendo as principais Zelândia – onde fica a capital Copenhague –, Fiônia e Lollândia. Na costa ocidental há a península Jutlândia.

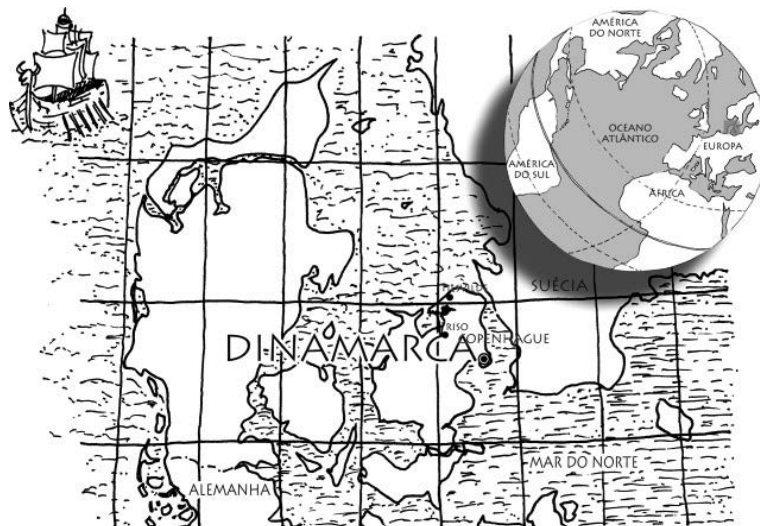


Figura 2.1 Cidades da Dinamarca que foram importantes na vida de Bohr.

Quando se fala em Dinamarca, vem-nos à mente a imagem dos viquingues. Esses *gigantes*, vindos da península escandinava em exóticas naus, chegaram às ilhas e à península no século V, e expulsaram os habitantes germânicos – jutos, cimbrós e anglos – que ali viviam desde o início da era cristã. Três séculos depois formava-se o reino, que se tornou independente e converteu-se ao catolicismo no século X, estabelecendo o império da Dinamarca no mar do Norte.

2.1 A família de Bohr

A dinastia Bohr apareceu com o tataravô Christian Baar, um fuzileiro que servira a um príncipe alemão nos anos de 1780 e acabou se tornando cidadão dinamarquês. Seu filho teve o sobrenome adulterado nos registros, muito provavelmente porque o *a* dobrado, em dinamarquês, tem o som de *oh*. Assim foi criado o nome *Bohr*.

Era uma família religiosa: tanto o bisavô como o avô estudaram Teologia. Pessoas cultas, fizeram carreira como professores e teólogos. O avô de Bohr, Henrik Georg Christian, homem brilhante e mestre habilidoso, combinava sensibilidade com disciplina, e seguia seus métodos sempre muito alegremente. Seu filho caçula, Christian, é que foi o pai de Niels Bohr. Formou-se em Medicina em 1880, especializando-se em Fisiologia. Professor da Universidade de Copenhague, fez fama internacional mantendo sempre um interesse profundo por Filosofia. Aos 22 anos publicou seu primeiro trabalho científico, que versava sobre os efeitos do ácido salicílico no processo de digestão da carne. Meticuloso, tinha cuidado particular com o trabalho experimental, no qual se revelava frequentemente a marca de sua originalidade. Tornou-se um dos colaboradores mais diligentes do meio acadêmico da época. Progressista, devotou grande parte de seu tempo à luta pela emancipação da mulher, especialmente quanto ao acesso à universidade, vetado até então.

Assim que as dinamarquesas puderam ir à universidade, conforme foi decretado em 1875, Christian ofereceu-se para preparar as classes femininas adultas. Uma de suas alunas foi Ellen Adler, proveniente de uma abastada e importante família judia nos círculos bancário e parlamentar. Professor e aluna apaixonaram-se, casaram-

se em dezembro de 1881 e foram morar na mansão que pertencia à mãe de Ellen.

Reinava naquele lar uma rara combinação de amor, abertura e refinamento. Christian e Ellen tiveram três filhos. Em 1883 nasceu Jenny, a primeira, que recebeu o nome da avó materna; dois anos depois veio Niels Henrik David Bohr. No ano seguinte, seu pai foi indicado para o cargo de professor associado de Fisiologia na Universidade de Copenhague, e então a família mudou-se do casarão para a nova residência, que pertencia ao antigo catedrático de Fisiologia da Academia Cirúrgica. Lá, em 1887, nasceu o caçula Harald. Aliás, o convite para morar naquela casa fez muito bem à família Bohr; trabalhavam ali três serviçais e uma governanta, com quem Niels aprendeu, entre outras coisas, a pregar botões e cerzir meias.



Figura 2.2 Niels Bohr aos 11 anos de idade.