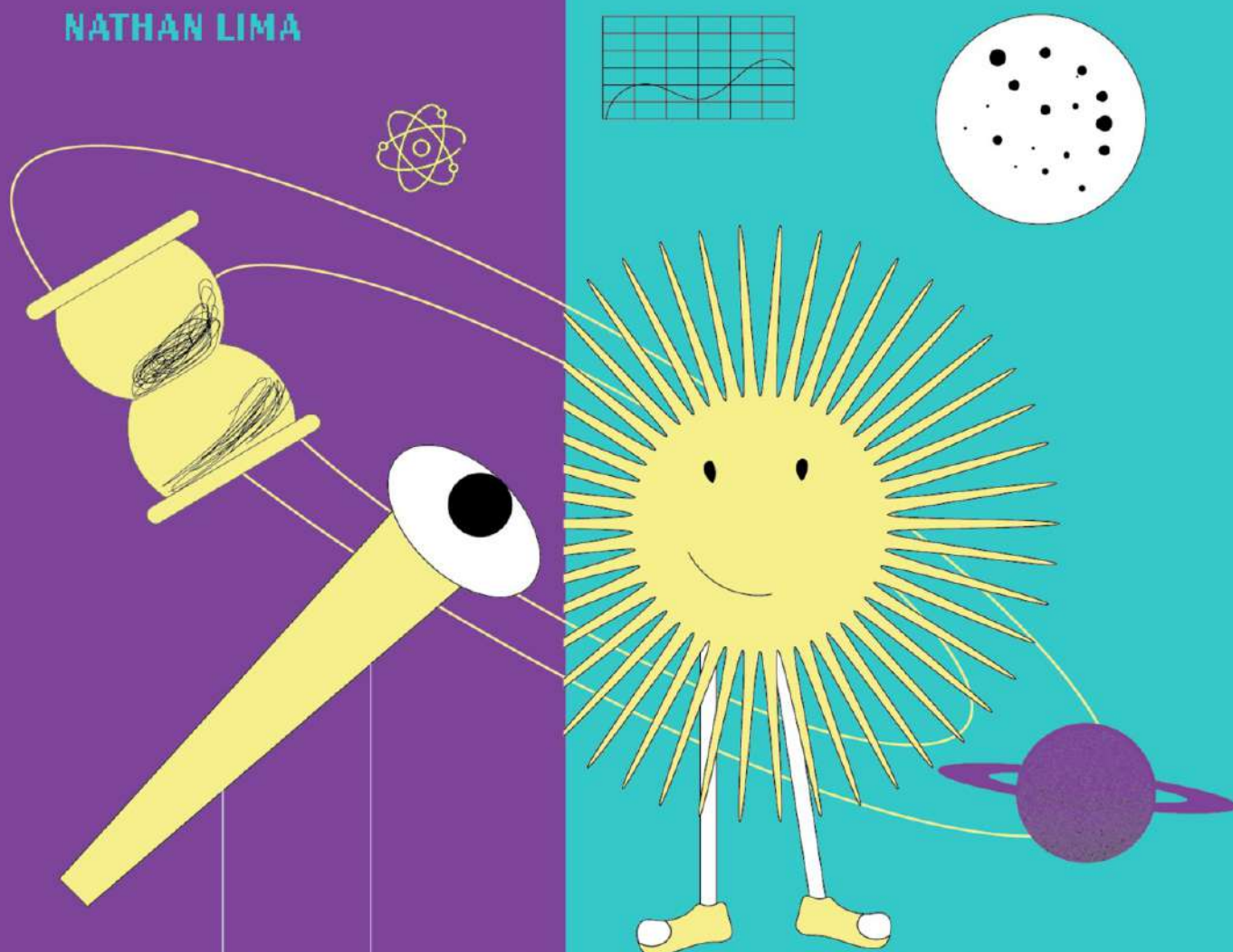


NATHAN LIMA



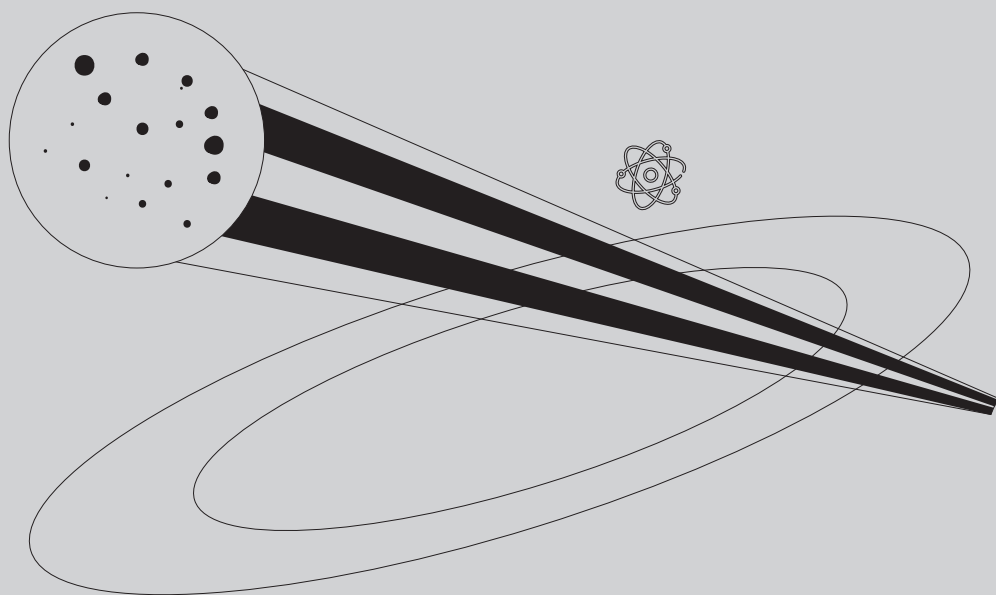
NA BUSCA DO MUNDO QUÂNTICO:

POR TRÁS DE TODA EQUAÇÃO
TEM UMA HISTÓRIA


Libélula

NA BUSCA DO MUNDO QUÂNTICO:

POR TRÁS DE TODA EQUAÇÃO
TEM UMA HISTÓRIA



NATHAN LIMA

Nathan Lima, 2024

Na Busca do Mundo Quântico:
por trás de toda equação tem uma história

Coordenação editorial:

Meire Brod

Projeto gráfico:

Luiz Pedro Prisco Costa
Libélula Editorial

Ilustrações:

Luiz Pedro Prisco Costa

Comissão Editorial

César Henrique Lenzi (Instituto Tecnológico da Aeronáutica – ITA)

Cleci Terezinha Werner da Rosa (Universidade de Passo Fundo – UPF)

Cristiano Barbosa de Moura (Simon Fraser University, Canadá)

Eliane Angela Veit (Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IF-UFRGS)

Fabiana Botelho Kneubil (Instituto Educacional Futuro da Ciência – IEFEC)

Hermann Schiffer Fernandes (Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca – CEFET-RJ)

Larissa Carlos de Oliveira Santos (Universidade de Yangzhou, China)

Livia Streit (Instituto de Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IQ-UFRGS)

Luiz Gustavo Franco (Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG)

Paulo Roberto Menezes Lima Júnior (Universidade de Brasília – UnB)

Porto Alegre

1ª impressão: agosto de 2024

2ª impressão: outubro de 2024

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

Lima, Nathan

Na busca do mundo quântico : por trás de toda
equação tem uma história / Nathan Lima. -- Porto
Alegre, RS : Libélula Editorial, 2024.

ISBN 978-65-981193-7-9

1. Divulgação científica 2. Filosofia 3. Física
4. Física quântica 5. Teoria quântica I. Título.

24-215743 / CDD-530.12

Índices para catálogo sistemático:

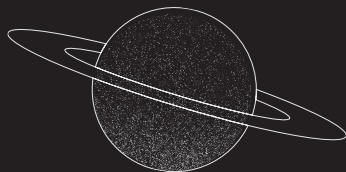
1. Teoria quântica : Física 530.12

Eliane de Freitas Leite - Bibliotecária - CRB 8/8415



<i>Prefácio</i>	06
1. O universo antes da crise	12
2. A sinfonia de um só violino	32
3. O Rei está nu	48
4. A ideia do príncipe	57
5. Uma nova matemática para um novo mundo	64
6. O universo sem partículas	74
7. A natureza é incerta	82
8. Jamais saberemos o futuro, porque nunca conheceremos o presente	88
9. Bohr e Einstein em uma luta de kung fu	98
10. O mundo quântico: entre elétrons e fantasmas	116
<i>Posfácio</i> – Algumas considerações técnicas e reflexões epistemológicas sobre esse livro	122
Referências	128

NATHAN LIMA



NA BUSCA DO MUNDO QUÂNTICO:

POR TRÁS DE TODA EQUAÇÃO
TEM UMA HISTÓRIA


Libélula

PREFÁCIO: POR TRÁS DE TODA EQUAÇÃO TEM UMA HISTÓRIA

O ano era 2012. Eu estudava bacharelado em física na PUC do Rio Grande do Sul. E, mais especificamente, era véspera da primeira prova da disciplina de física moderna. Quem estuda ou estudou física sabe qual é o sentimento de finalmente chegar nas disciplinas avançadas (a partir do quinto semestre).

A maioria das pessoas que entra no curso o faz porque quer saber sobre buracos negros, galáxias, o gato de Schrödinger, emaranhamento quântico. Ao invés disso, somos atropelados pelas disciplinas de cálculo e física geral, usualmente muito tecnicistas e com pouca relação explícita com os temas contemporâneos e instigantes da física. Então, chegar à física moderna é quase como uma recompensa pelos dois anos de esforço e sacrifício.

O formato das disciplinas avançadas não muda muito com relação às básicas. Continuamos sendo expostos a um conjunto de equações abstratas (sem muita explicação ou justificativa) e recebemos a tarefa de resolver longas listas de exercícios. Para ser justo, os exercícios, de fato, ajudam a nos apropriarmos das ferramentas matemáticas da teoria. Entretanto, há pouca discussão sobre o que as equações significam, como elas foram obtidas e quais são suas implicações mais profundas.

De qualquer forma, é a primeira vez no curso que passamos a falar dos nomes famosos do último século, como Einstein, Bohr e Schrödinger. Apesar do método didático em si, que não é nada motivador,

os temas são finalmente aqueles dos quais ouvimos falar na mídia ou nos livros de divulgação científica, antes de entrar no curso.

Sempre fui um aluno empenhado, mas aquela disciplina tinha um gosto especial. Eu já havia estudado três livros diferentes sugeridos na disciplina, feito exercícios de todos os livros, e feito a lista de exercícios da disciplina. Estava confiante para a prova que ocorreria no dia seguinte, versando sobre efeito fotoelétrico e efeito compton.

Já era de noite, e eu resolvi fazer uma última ação antes da prova. Decidi ler o próprio texto escrito pelo Einstein em 1905 sobre o tema. A ideia não era aprender algo novo. Eu até imaginava que poderia haver alguma diferença na notação matemática ou em algum termo usado. Queria apenas relaxar, lendo um texto sobre um assunto ao qual eu havia me dedicado intensamente nos últimos dias e sobre o qual eu já estava bastante confiante.

Abri o artigo *Sobre um ponto de Vista Heurístico sobre a Produção e Conversão da Luz*. Não entendi absolutamente nada. O artigo não tinha absolutamente nada a ver com o que os livros didáticos apresentavam. O efeito fotoelétrico, inclusive, que é o tema apresentado pelos livros didáticos só aparece rapidamente na penúltima página do trabalho! Foi uma sensação horrível de fracasso: abrir aquelas páginas que deveriam ser “para relaxar” e ter a sensação de que nunca tinha ouvido falar sobre aquilo.

Foi assim que eu aprendi, de uma forma bastante dura, que o ensino de física não nos prepara para saber, de fato, a física, mas para sermos capazes de resolver um conjunto bem específico de problemas. Antes que alguém culpe os educadores brasileiros, posso dizer, hoje, que essa é uma característica do ensino de física no mundo todo. Historiadores e filósofos da ciência já se debruçaram sobre o tema.

Apenas quando eu descobri esses autores, entendi que esse abismo entre as disciplinas e os artigos originais é uma característica muito marcante da comunidade científica.

Cientistas são formados para resolver os problemas contemporâneos, aqueles que a comunidade científica escolheu e tomou como importantes de serem analisados. Essa ideia reflete uma certa pressa e senso de urgência, que nos afasta de olhar com calma os pormenores do percurso histórico das teorias. O que Einstein estava pensando em 1905? O que ele propôs para analisar o efeito fotoelétrico? Qual era sua motivação e inspiração? Como ele chegou nessa proposição? Quais as implicações até hoje? O que ele disse ainda é válido? Mudou? Quando e como mudou? Essas são algumas perguntas, por exemplo, que passam longe dos cursos de física. E foi assim que eu descobri que não queria somente ser físico, queria pesquisar sobre história da física e sobre o ensino de física.

Embora no mestrado eu ainda tenha me dedicado a resolver um problema da física, fazendo simulações computacionais de interação da radiação com a matéria, no doutorado fui para um Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, escrevendo uma tese justamente sobre o percurso de transformação das discussões originais da teoria quântica até chegar nos livros didáticos. Depois do doutorado, tive a oportunidade de ir para a Universidade de Copenhague, participar de pesquisa na área de história e ensino de mecânica quântica e assistir o curso de história da mecânica quântica ofertado no instituto niels bohr.

Recentemente, fundamos o Grupo de Pesquisa em História, Filosofia e Ensino de Física da UFRGS, e, nos últimos anos, publicamos algumas dezenas de trabalhos discutindo sobre história da ciência, educação, e principalmente mecânica quântica. Muitos

desses trabalhos discutem aspectos bastante técnicos da teoria, e são pensados para que possam ser levados para formação de professores de física ou para formação de físicos propriamente.

A premissa básica de nossas pesquisas e, também desse livro, é que toda ideia, todo conceito, toda equação tem uma história. A ciência não é feita de fatos isolados, de descobertas repentinas e desconexas. A ciência é um processo histórico, coletivo, humano, cheio de disputas, idas e vindas, erros, especulações, emoções. A ciência é como um rio, um fluxo contínuo de fatos que se costumam em uma narrativa (ou várias narrativas) que se movem em um determinado sentido.

Do ponto de vista da aprendizagem, essa constatação também faz sentido. Vygotsky, por exemplo, argumenta que conceitos não são rígidos, estanques, eles são processos, mudam ao longo do tempo, se relacionam com outros conceitos, e mudam essas relações ao longo do tempo. Entender um conceito científico passa, portanto, por entender também a sua história.

Isso tudo seria motivo suficiente para justificar por que físicos e professores de física deveriam ler sobre história da ciência. Mas esse livro se destina, também, para o público que não é da física. Por quê? Porque existe uma discussão fundamental a ser feita - o que é a mecânica quântica? Quais são as ideias contidas nessa teoria? O que ela nos fala sobre a realidade? Como sabemos se essas afirmações estão corretas ou não?

A mecânica quântica é a teoria mais bem sucedida da física na descrição da matéria. Ela possibilitou a revolução tecnológica da qual nos beneficiamos hoje com computadores e celulares, sem falar em outras aplicações importantíssimas na medicina (como o procedi-

mento de ressonância magnética nuclear). Saber o que é essa teoria de fato e entender, em linhas gerais, do que ela fala é ou deveria ser um direito de todos nós. A ciência é um empreendimento humano, uma conquista desenvolvida por muitas pessoas. Alguns cientistas perderam a vida, ou foram condenados ao ostracismo, pela coragem de defender sua liberdade intelectual. É um direito de todos nós, hoje, ter acesso a esse conhecimento, a essas ideias e discussões.

Mais do que isso, existe - hoje - um número enorme de livros e páginas nas redes sociais falando sobre mecânica quântica, com erros conceituais, enganos, e até mesmo, infelizmente, alguma dose de charlatanismo. Alguns desses discursos são deturpações de debates históricos importantes que aconteceram, resgatando e modificando ideias que foram abandonadas há praticamente cem anos.

Nos próximos capítulos, então, meu objetivo é compartilhar um pouco da trajetória que foi necessária para fundamentar o desenvolvimento da teoria quântica. Para fazer isso, sintetizei algumas ideias que são seminais na teoria e que são verdadeiros pilares sobre os quais nosso entendimento sobre o mundo se ergue até hoje. Nesse contexto, vamos discutir quem foram alguns dos atores que participaram desses episódios, o que eles pensavam, quais eram as tensões, as disputas, que erros ou enganos (a partir de uma concepção atual) foram cometidos, o que eles quiseram comunicar sobre o mundo, e o que mudou até hoje.

Para tentar deixar as novidades e rupturas da mecânica quântica em relação ao que chamamos de teorias clássicas¹, no capítulo 1, vamos discutir algumas ideias gerais e, principalmente, alguns

¹ Essa discussão conceitual também está presente no e-book *A ruptura Fundamental*, lançado pela Editora Libélula (Lima, 2023). No e-book, uma apresentação puramente conceitual e fenomenológica da mecânica quântica é feita (<https://sites.google.com/view/arupturafundamental/home>). Para que o leitor possa aproveitar melhor a discussão histórica, fazemos uma rápida discussão no capítulo seguinte, mas recomendamos a leitura do e-book para quem tiver interesse.

marcos filosóficos das teorias clássicas. Mesmo para aqueles que estudam física há algum tempo, minha sugestão é dar uma olhada nesse capítulo. Mesmo que haja bastantes livros sobre o tema, espero conseguir colocar essa revisão da física clássica de uma forma sintética e que viabilize fazer as conexões com o que virá nos capítulos seguintes.

Deve-se fazer, também, um alerta ao leitor, sobretudo aos colegas da academia. O livro, ainda que dialogue com elementos históricos, não é um livro de história da ciência. O texto foi pensado e escrito como uma narrativa literária e, portanto, incorpora elementos desse estilo de texto (com todas simplificações e transformações que isso possa implicar). Ao final do livro, no posfácio, apresento algumas reflexões sobre o processo de escrita da narrativa e as escolhas que fiz ao escrever o texto.

A mecânica quântica é uma teoria, de fato, que revoluciona nossa forma de entender o mundo. Tudo aquilo que pensávamos saber sobre a realidade, em um pouco mais de duas décadas, se desfez como um castelo de areia. A história desse livro é, em síntese, a história do fim desse castelo.