PURA PICARETAGEM

Como livros de esoterismo e autoajuda distorcem a Ciência para te enganar. Saiba como não cair em armadilhas!



Daniel Bezerra
Carlos Orsi

LeYa

DADOS DE COPYRIGHT

Sobre a obra:

A presente obra é disponibilizada pela equipe ***Le Livros*** e seus diversos parceiros, com o objetivo de oferecer conteúdo para uso parcial em pesquisas e estudos acadêmicos, bem como o simples teste da qualidade da obra, com o fim exclusivo de compra futura.

É expressamente proibida e totalmente repudíavel a venda, aluguel, ou quaisquer uso comercial do presente conteúdo

Sobre nós:

O ***Le Livros*** e seus parceiros disponibilizam conteúdo de dominio publico e propriedade intelectual de forma totalmente gratuita, por acreditar que o conhecimento e a educação devem ser acessíveis e livres a toda e qualquer pessoa. Você pode encontrar mais obras em nosso site: ***LeLivros.us*** ou em qualquer um dos sites parceiros apresentados neste link.

"Quando o mundo estiver unido na busca do conhecimento, e não mais lutando por dinheiro e poder, então nossa sociedade poderá enfim evoluir a um novo nível."

Ficha Técnica

Copyright © 2013, Daniel Bezerra e Carlos Orsi
Diretor editorial: Pascoal Soto
Editora executiva: Tainã Bispo
Editora assistente: Ana Carolina Gasonato
Produção editorial: Fernanda Ohosaku, Renata Alves e Maitê Zickuhr
Preparação de textos: Taís Gasparetti
Revisão de textos: Eliane Usui
Revisão técnica: Elton J. F. de Carvalho (capítulos 2, 3 e 5)
Ilustrações: Leandro Melite Moraes
Capa: Maria João Carvalho | www.ideiascompeso.pt

Dados internacionais de catalogação na publicação (CIP-Brasil)
Angélica Ilacqua CRB-8/7057
Bezerra, Daniel
Pura picaretagem : como livros de esoterismo e autoajuda distorcem a ciência para te enganar. Saiba como não cair em armadilhas! / Daniel Bezerra, Carlos Orsi. – São Paulo: LeYa, 2013.
ISBN 9788580448276
1. Física Quântica 2. Ciência 3. Literatura brasileira – crítica
I. Título II. Orsi, Carlos
13-0378 CDD 530.12
Índices para catálogo sistemático:
1. Ciência - filosofia

2013
Todos os direitos desta edição reservados a
TEXTO EDITORES LTDA.
[Uma editora do grupo Leya]
Rua Desembargador Paulo Passaláqua, 86
01248-010 — Pacaembu — São Paulo — SP — Brasil
www.leya.com.br

Este livro foi escrito tendo em mente o leitor curioso, porém leigo. A divulgação científica no Brasil, em especial a produzida por autores brasileiros, ainda engatinha. Espero que a leitura seja proveitosa.

Mas deixo uma dedicatória especial a todos os que perderam noites de sono estudando para provas de Mecânica Quântica e que, no meio de todos os cálculos, pararam para se perguntar o que diabos tudo aquilo significava – e em como comunicar esse significado para outras pessoas.

– Daniel Bezerra

Ao meu pai, Ararê Jorge Martinho, que de tanto citar Fritjof Capra, lá nos anos 80, acabou fazendo um adolescente "de Humanas" se interessar em descobrir o quê, afinal, era esse negócio de Física Quântica...

– Carlos Orsi

INTRODUÇÃO

O livro que você tem em suas mãos é real. É sólido. É feito de átomos reais. Os elétrons dos átomos de seus dedos repelem os elétrons dos átomos da folha de papel, provocando a sensação de solidez. Não importa o quanto você se concentre, não há meio de tornar o livro menos sólido – a menos, claro, que você decida queimá-lo, rasgá-lo ou dissolvê-lo em ácido. Mas temos a esperança de que a experiência de lê-lo não seja traumática a ponto de provocar reações assim.

Esperamos.

O primeiro parágrafo desta introdução apenas reafirma um fato óbvio da vida – de todas as vidas –, o de que objetos materiais têm uma realidade objetiva que independe do estado mental e da disposição de quem os contempla ou deixa de contemplá-los. Como Albert Einstein disse certa vez, a Lua continua lá em cima, mesmo que ninguém olhe para ela.

É um sintoma curioso do estágio atual da civilização que essa obviedade precise ser reafirmada – mais ainda que haja gente disposta a escrever um livro inteiro para reafirmá-la.

Mas o fato é que o óbvio tem estado sob ataque, seja por parte de gurus de autoajuda que insistem que *querer* é necessário e suficiente para *fazer acontecer*, seja por físicos e filósofos (e pseudofísicos e pseudofilósofos) que parecem convencidos de que a Teoria Quântica, uma das maiores conquistas da ciência do século passado, implica que a realidade é uma espécie de ilusão coletiva que pode ser pilotada pela força da mente.

O que deixa em aberto a questão: e se eu usar a força da minha mente para fazer com que a realidade seja algo independente da mente? A mente pode criar uma pedra pesada demais para a mente levantar?

O discurso da realidade como ilusão manipulável atrai porque engendra um sentimento de poder e controle. Seres humanos gostam de ter o controle das coisas. Estar ao sabor do acaso é desconfortável. É desajeitado. Faz suar frio. Quem não gostaria que uma atitude mental positiva realmente fosse tudo o que bastasse para que *o próprio acaso* passasse a trabalhar a nosso favor?

Mas os fatos, assim como a Lua, estão aí, mesmo quando nos recusamos a olhar para eles.

O físico Amit Goswami disse a seguinte sentença, que ficou famosa: “O mundo material ao nosso redor não é nada além de movimentos possíveis da

consciência. Escolho, momento a momento, minha experiência. Heisenberg disse que átomos não são coisas, apenas tendências".

Menos famosa do que a fala de Goswami é a resposta do historiador e articulista da *Scientific American* dos Estados Unidos, Michael Shermer, que desafiou Goswami a saltar de um prédio de vinte andares e, conscientemente, escolher a experiência de passar incólume através do chão.

A resposta de Goswami ao desafio é desconhecida por nós, mas não nos parece que tenha decidido aceitá-lo.

O desafio que nos impomos talvez não seja menos audacioso do que o de Shermer, mas pelo menos não é de todo impossível: garantir que nenhum leitor passe incólume, não através das páginas materiais que compõem este livro (isso está garantido pelas leis da Física), mas pelos fatos e ideias que ele contém. E que, ao terminar, esteja melhor equipado para distinguir entre teoria científica legítima e pura besteira.

A viagem começa na próxima página.

CAPÍTULO 1

UMA BREVE HISTÓRIA DA FÍSICA

Em questões de ciência, a autoridade de mil homens não vale o raciocínio humilde de um só.
Galileu Galilei

Você já deve ter ouvido alguém comentar que a Física Quântica é um mistério insondável, um enigma que nem mesmo os mais geniais cientistas conseguiram decifrar. É um mundo estranho, onde espreitam gatos mortos-vivos, onde equações intimidantes e um jargão técnico inacessível produzem efeitos imprevisíveis.

É provável também que você já tenha visto ou lido um dos livros de autoajuda que usam títulos vistosos como *cura quântica*, *ativismo quântico* ou algo assim. Esses livros prometem o alívio de muitos males modernos por meio do poder do pensamento positivo. A Física Quântica, dizem os autores dessas obras, garante que a mente humana tem o poder de moldar a realidade física.

Enigma indecifrável ou chave mágica para saúde, sucesso e felicidade. Qual dessas duas posturas corresponde à visão da comunidade científica sobre o mundo quântico?

Nenhuma.

Ao longo deste livro esperamos mostrar, primeiro, que a Física Quântica é, sim, diferente e, ao menos no início, mais complicada do que a Física clássica, mas que não há nada de esotérico ou incompreensível nela. Boa parte da sensação de estranheza que o mundo quântico causa vem de apenas dois fatos.

O primeiro é que sua base matemática é *estatística* e não, como no caso da Física clássica, *determinística*. Isso significa que, diferentemente da Física que você estudou na escola – cujas equações permitem prever com exatidão, por exemplo, o instante em que uma bola jogada para o alto vai parar de subir e começar a cair –, em geral, na Física Quântica, as equações fornecem apenas probabilidades: digamos, se a bola fosse um objeto quântico, poderia haver 90% de chance de ela começar a cair agora e 10% de que continue subindo por mais três segundos.

O segundo fato é que o domínio quântico está restrito a objetos muito pequenos, com os quais a maioria de nós não está familiarizada no dia a dia.

Não obstante, os efeitos quânticos são, até certo ponto, previsíveis e de simples manipulação: eles são manipulados pela tecnologia toda vez que você acende uma lâmpada ou liga a televisão.

Em segundo lugar, pretendemos desmistificar o uso que certos autores e alguns trapaceiros fazem da palavra "quântico". Assim como, em séculos anteriores, a cultura popular (e alguns espertalhões) haviam se apropriado de conceitos científicos como *fluido*, *magnetismo*, *éter* e *atômico*, hoje em dia o termo *quântico* vem sendo cada vez mais banalizado. É usado para ludibriar os incautos e dar a impressão de que o Universo, de alguma forma, se importa com a forma como pensamos ou como encaramos a vida. É uma bela hipótese, mas simplesmente não é verdadeira. Esperamos que, ao fim desta leitura, você consiga diferenciar claramente a coisa real do embuste – e, o que é mais importante, entenda por que, como e onde o embuste está errado.

Finalmente, buscaremos mostrar que há, sim, ainda muito a descobrir sobre as implicações filosóficas da Física Quântica. Como em toda empreitada científica, ainda há detalhes abertos à discussão, mas nenhum deles sequer sugere que as interpretações místicas dos picaretas quânticos possam estar corretas.

A Física Quântica de verdade, aquela que se estuda nas universidades pelo mundo afora, é resultado do trabalho intelectual árduo de muita gente. É complexa e profunda, mas perfeitamente compreensível, uma vez que tenhamos nos habituado a deixar de lado certas ideias preconcebidas sobre como o mundo deveria se comportar.

Mas o que é a Física Quântica, afinal? O que ela tem de tão misterioso ou diferente que causa tamanho *frisson*? Decerto que um ensino científico básico poderia ao menos nos equipar para começar a entender do que ela trata, não? Bem, antes de discutir o que quer que seja de Física Quântica, precisamos saber do que fala a própria Física. Neste capítulo, trataremos do que é a Física, como ela surgiu e quais os seus métodos.

Para começar, vamos nos lembrar de como é que a maioria de nós encontrou a Física: no Ensino Médio.

De volta à escola

Se tudo o que você conhece é a boa, velha (e algo aborrecida) Física básica do Ensino Médio, sem dúvida a Física Quântica vai parecer-lhe estranha. É apenas

natural: em nossa vida cotidiana estamos acostumados a lidar com objetos que podemos ver e tocar, coisas como carros, termômetros, óculos, bombas de água.

Todos esses objetos, e os fenômenos que estão por trás deles, podem ser descritos, e seu comportamento previsto, por conjuntos simples de relações matemáticas: o motor do carro, por exemplo, percorre certo número de quilômetros com certa quantidade de combustível.

Uma vez estabelecida a relação matemática, é possível criar uma equação que permita prever o futuro: no caso, que o carro vai precisar ser reabastecido depois de viajar tantos quilômetros.

As leis da Física que você estudou na escola funcionam da mesma forma que a relação entre quilometragem e consumo de seu automóvel. Mesmo que você tenha experimentado certa dor de cabeça para pegar o jeito das famosas Leis de Newton, deve se lembrar de que nunca precisou de nada muito mais sofisticado do que Matemática básica e algum esforço de abstração para entender o que o professor explicava; e mesmo aquilo que não era tão simples assim podia ser rapidamente deduzido, aplicando um pouco de raciocínio lógico.

Por descomplicada que seja, entretanto, para a maioria dos alunos – e poderíamos apostar que esse foi o seu caso – a Física de escola se resumiu a tarefas mecânicas e repetitivas: decore essa fórmula, aplique aquele teorema, deduza tal equação. Nada muito excitante, não é? Da mesma forma, os exemplos e exercícios estudados tinham muito pouco a ver com o mundo real encontrado pelos alunos[1] em seu cotidiano.

Tome a queda livre como exemplo: na escola, aprendemos que, no vácuo, todos os corpos caem sofrendo a mesma aceleração, e que é somente por causa da resistência do ar que objetos diferentes caem com acelerações diferentes (e, por isso, chegam ao solo com diferentes velocidades). Entretanto, em nosso dia a dia, nunca experimentamos o vácuo. Isso faz com que todos aqueles probleminhas dos livros que invariavelmente terminam com “despreze a resistência do ar” sejam pura ficção científica. Um paraquedista certamente não pode desprezar a resistência do ar, pois é isso que impede que ele se esborrache no chão.

A mesma coisa vale em maior ou menor grau para todas as demais situações que encontramos na escola: o fenômeno de verdade sempre vai ser um pouco – ou muito – mais complicado do que vemos nos exercícios didáticos.

Essa complicação extra é a razão pela qual um entendimento mais preciso das coisas ao nosso redor custou a ser desenvolvido – confiamos mais naquilo que está imediatamente diante dos nossos olhos, em nossa *compreensão intuitiva do*

mundo, por assim dizer, e, a menos que as circunstâncias exijam, não procuramos por sutilezas subjacentes. E por que não agiríamos assim, afinal? Essa forma primitiva de intuição é uma ferramenta poderosa que a evolução nos deu. Graças a ela, nossa espécie foi capaz de observar padrões na natureza, comparar os padrões com experiências individuais ou do grupo e, daí, extrapolar regras gerais. Nem sempre a intuição vai fornecer toda a verdade, mas serve como uma primeira aproximação boa o bastante para, na maior parte das vezes, manter a tribo viva e alimentada até o dia seguinte.

É justamente quando desejamos ou precisamos de uma descrição do mundo melhor do que a intuição é capaz de fornecer que entra em cena a característica fundamental da Física tal como a entendemos hoje: a experimentação.

A experimentação consiste em realizar uma série de procedimentos num ambiente controlado – o laboratório. Por exemplo, se quisermos estudar o movimento de um pêndulo, primeiro temos de construí-lo, tomando cuidado para não permitir que correntes de ar ou uma mesa bamba interfiram em sua oscilação.

Quando essa parte estiver resolvida, precisamos encontrar uma metodologia adequada – como é melhor medir o tempo de oscilação: cronometrando cada ida e vinda ou tomando a média de vários períodos? Em seguida, formulamos hipóteses sobre o movimento – o peso do pêndulo faz o movimento variar? E o comprimento da corda? Como é essa variação, se existir? Que regra geral podemos tirar para descrever a oscilação? E se eu puxar o peso cada vez mais para o alto antes de soltá-lo, o que acontece?

Repare que não fizemos ainda nenhuma inferência sobre as *causas* do movimento pendular; tratamos apenas de tentar descrevê-lo. Isso porque, conforme discutiremos mais à frente, a ciência moderna evita pensar em termos de *causa*, *razão*, *motivo*, preferindo se concentrar em *como* as coisas acontecem. Na verdade, saber formular perguntas é tão ou mais importante do que respondê-las, num primeiro momento. Só depois, com a contínua acumulação de conhecimento, é que nos arriscamos a dizer alguma coisa sobre as causas de determinado fenômeno. Para continuar no exemplo do pêndulo, depois de muitos experimentos e observações, talvez pudéssemos dizer: “A-há! Agora que descobrimos a Lei da Gravitação Universal, afirmamos que o pêndulo oscila porque a Terra atrai a sua massa!” e ainda poderíamos apresentar a equação que permite prever o movimento do pêndulo com base em suas características e na força da gravidade, além de demonstrar como conseguimos chegar à expressão. Entretanto, você pode perceber que responder o “porquê” do pêndulo apenas

deslocou o elemento desconhecido para outro lugar. Agora temos que nos preocupar em descobrir o "porquê" da Gravitação Universal – algo sem uma resposta satisfatória mesmo hoje em dia.

Infelizmente, não é bem isso que se vê na maioria das escolas do Brasil e, até onde se sabe, de boa parte do mundo. Primeiro, a menos que o professor seja cuidadoso ao apresentar a matéria, tudo parece uma grande receita de bolo; os alunos inserem os números nas fórmulas e elas cospem o resultado correto. Não há a menor inspiração nas discussões em sala de aula. Raramente há tempo para refletir sobre o significado físico do material exposto em sala. O fato científico é apresentado em uma forma pronta e acabada, como se fosse óbvio que as coisas *são* daquele jeito e não fizesse sentido perguntar como é que os cientistas chegaram às conclusões. E enquanto tudo isso ocorre, a pressão por boas notas nas provas continua alta, como sempre.

Para piorar, costuma ser ensinada apenas a parte teórica da Física. Os livros didáticos adoram citar que a Física é uma ciência experimental e enchem várias páginas detalhando as técnicas laboratoriais de gênios como Michael Faraday ou Robert Andrews Millikan. Mas descrever um experimento, por mais que se tenha riqueza de detalhes, é *totalmente diferente* de sentar e fazer o experimento. Por uma série de razões que não nos cabe citar aqui, a maioria de nossas escolas simplesmente não está equipada com laboratórios capazes de demonstrar até o mais simples princípio, que poderia ser ilustrado com uma mera colisão de bolas de bilhar. E nas poucas que, de fato, têm essa condição, os alunos são expostos a uma metodologia tão árida quanto a das aulas de teoria. De que adianta investir alto em equipamentos de laboratório, se a rotina de ensino não passa de preencher tabelas e anotar números que, para a maioria dos estudantes, não significam nada?

Não é surpresa nenhuma que muita gente ache que a Física é um saco e trate de esquecê-la tão logo não precise mais dela para o vestibular.

Como a coisa toda começou

Sinceramente, esperamos que seu primeiro contato com a Física tenha sido menos aborrecido do que o quadro pintado no item anterior. Claro que há colégios muito bons, professores ótimos e livros inspiradores por aí; mas a triste verdade é que a maioria das pessoas sai da escola com um panorama muito

incompleto das ciências empíricas, e até mesmo de sua linguagem – o que elas estão tentando nos dizer. É impossível discutir a Física Quântica – mesmo em termos de filosofia de boteco – sem que se tenha uma ideia mais ou menos completa desse panorama. Assim, vamos ver como a Física chegou até onde está agora.

Em sua raiz, a palavra "física" vem do grego φύσις, que quer dizer "natureza", ou "aquilo que brota". O primeiro registro que se conhece da palavra vem da *Odisséia* de Homero, quando o deus Hermes dá ao herói Ulisses uma planta com virtudes mágicas para que ele se defenda dos encantos da bruxa Circe. Esse significado de coisa natural se consolidou de vez depois que o filósofo grego Aristóteles escreveu suas famosas *Lições sobre a Natureza*. Ali, Aristóteles tentou decifrar a origem do movimento – como e por que as coisas se mexem para lá e para cá em vez de apenas ficarem paradas, o que pareceria ser uma atitude bem mais natural – estabelecendo suas causas e princípios.

O mais curioso (ao menos para nós) a respeito dessa obra monumental é que não consta que Aristóteles tenha realizado qualquer experimento para testar a validade de suas ideias. Por exemplo, ele dizia que o movimento natural de uma pedra era cair, pois é mais pesada do que o ar que a cerca. Da mesma forma, a água se move para baixo, mas como é mais leve que a terra, ficava acima desta. E ele está essencialmente correto, mas não pelas razões que sustenta.

De fato, uma leitura mais criteriosa das *Lições* revela sacadas muito interessantes sobre conceitos físicos que, mais tarde, viriam a ser explicados de outra forma e com maior precisão. A intuição de Aristóteles sobre os fenômenos naturais e, de fato, o seu método de tentar compreender o mundo por meio do pensamento puro moldaram a Filosofia Ocidental por quase dois mil anos depois de sua morte.[2]

A força do paradigma aristotélico pode ser vista no Modelo Ptolomaico do Universo, por exemplo. Em seu *Almagesto* (*Grande Tratado*), Cláudio Ptolomeu descreve a Terra como se mantendo imóvel no centro de um sistema de esferas de cristal sucessivamente maiores, nas quais estão engastados os planetas e estrelas. A diferença do Modelo Ptolomaico para os demais sistemas geocêntricos da época (no século II) é que o astrônomo propôs que certos planetas, como Marte, estavam presos a esferas que, por sua vez, ligavam-se a outras esferas, que ele chamou de *epiciclos*. Ajustando cuidadosamente a velocidade de rotação das esferas e dos epiciclos de acordo com o que se observava nos céus, Ptolomeu foi capaz de prever os movimentos dos astros com assombrosa precisão.

Mas espere um minuto, dirá você, *acabei de ler ali em cima que Aristóteles não fazia experimentos. Como é que Ptolomeu pode ter chegado a resultados empíricos seguindo o paradigma aristotélico?* Bem, ocorre que, para Ptolomeu, a Cosmologia de Aristóteles – a descrição do mundo dada pelo velho mestre – era tomada como sendo verdade axiomática. Não cabia a Ptolomeu (ou assim ele pensava) testar se a hipótese das esferas celestes de cristal era verdadeira ou não; o que ele queria era descrever o movimento dos astros. E isso ele conseguiu muito bem, com os instrumentos de que dispunha na época – *mesmo estando completamente errado em seus postulados iniciais.*

Vamos parar por um momento aqui e absorver a enormidade do que acabamos de descobrir: *é possível fazer uma hipótese completamente errada sobre determinado fenômeno natural e, ainda assim, montar um modelo que descreva adequadamente como o fenômeno ocorre.*

Ora, mas se é assim, o que garante que o que quer que se diga a respeito da natureza está correto? Isso mesmo: *nada!* De fato, o máximo que podemos fazer se resume a duas coisas. Primeiro, descrever com razoável precisão o que acontece, que foi o que Ptolomeu fez. Segundo, refinar constantemente nossas observações, para que o modelo e suas hipóteses subjacentes estejam constantemente sendo testados. Essa é a parte mais difícil, como veremos adiante.

O *Almagesto* de Ptolomeu prosseguiu como a grande fonte de conhecimento sobre Astronomia por mais de doze séculos. Sua autoridade parecia tão incontestável que foi adotada pela Igreja medieval como dogma, com as consequências que se pode imaginar para quem o contradissesse. Isso porque o pensamento da Igreja achava interessante que a Terra ocupasse lugar de destaque no Universo; assim como o Homem ocupava lugar de destaque na Criação Divina. Desloque uma dessas posições de destaque e todo o arcabouço teológico cristão desabaria (ou assim eles pensavam). A despeito disso, sinais de fragilidade do sistema começavam a se acumular, e nem mesmo a ameaça da danação parecia deter certas mentes inquietas na Europa. Em meados do século XVI, o monge polonês Nicolau Copérnico publicou o seu *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (*Sobre as Revoluções das Esferas Celestes*), no qual argumentava que observações ao longo de vários anos sugeriam que o movimento dos astros poderia ser satisfatoriamente descrito de forma bem mais simples do que pelos cálculos de Ptolomeu, bastando para isso que se colocasse o Sol, e não a Terra, no centro do Universo.

Foi o suficiente para causar um tremendo furor na sociedade. Martinho Lutero

teria dito: “Este tolo quer subverter a ciência da Astronomia; mas a Sagrada Escritura afirma que Josué comandou que o Sol ficasse parado, e não a Terra!” (Kuhn, 1957, p.191).

E logo o livro de Copérnico encontraria seu lugar no Index de obras proibidas pela Igreja. Mas a caixa de Pandora científica já tinha sido aberta.

Coube a Johannes Kepler fazer a próxima grande contribuição. Reunindo um enorme volume de dados astronômicos compilados no observatório de Tycho Brahe, Kepler deduziu três leis empíricas do movimento dos planetas ao redor do Sol. Uma delas ainda preconizava que as órbitas não eram círculos (tidos como figuras perfeitas pelo pensamento aristotélico e, portanto, apropriadas para os movimentos celestes), mas formas alongadas, chamadas elipses. Esse imbróglio filosófico pôs os defensores do Modelo Geocêntrico em maus lençóis – como justificar matematicamente a enorme precisão obtida pelo Modelo Heliocêntrico? Como defender a existência de esferas rígidas de cristal, se as órbitas planetárias são elípticas?

E enquanto cortes e arcebispos discutiam ainda o significado das Leis de Kepler, o último prego no caixão do geocentrismo estava para ser batido.

Galileu e o Método Científico

Um certo Galileu Galilei, de Pisa, Itália, procurava uma maneira de aumentar a sua renda construindo lunetas terrestres para uso náutico e para fazer observações do céu. Era janeiro de 1610, e ele já era um catedrático em Pádua, ensinando Geometria e Astronomia. Apontando uma de suas lunetas para Júpiter, Galileu descobriu quatro estrelas “totalmente invisíveis a princípio, por sua pequenez”, as quais ocasionalmente desapareciam e reapareciam, no que só podia ser um movimento cíclico que as levava para trás do planeta. Ora, isso só podia significar que as pequenas estrelas eram, na verdade, pequenos “planetas” (ou satélites, como chamamos hoje) que orbitavam ao redor de Júpiter – o que era *totalmente incompatível* com a Cosmologia de Aristóteles. Se, até então, podiam-se discutir os méritos filosóficos ou a facilidade das contas na comparação entre os Modelos Copernicano e Ptolomaico, não havia como rebater a brutal realidade dos satélites de Júpiter: outros corpos giravam ao redor de algo que não era a Terra. De 1610 em diante, Galileu faria ainda diversas outras observações que reforçariam a crítica ao geocentrismo: a face

cheia de crateras e, portanto, “imperfeita” da Lua, as fases de Vênus, a rotação do Sol, e várias outras.

O grande mérito de Galileu talvez tenha sido o de não se prender exclusivamente a tentar explicar os *porquês* do que observava, e sim, arregaçar as mangas e descrever o que via em termos matemáticos, além de realizar inúmeras experiências empíricas.

De fato, o trabalho astronômico foi apenas uma das várias atividades científicas que o formidável italiano desenvolveu. É dele o primeiro trabalho que buscou descrever matematicamente a queda dos corpos, sem se ocupar da suposta motivação das pedras em buscar o solo, contrariando o que Aristóteles declarara quase dois mil anos antes. Ele e seu aluno Evangelista Torricelli tabularam os movimentos de diversos corpos e começaram o estudo das leis do movimento, além de fazerem descobertas importantes sobre a temperatura dos corpos.

Sem a menor sombra de dúvida, podemos dizer que Galileu foi o pai do que hoje em dia se chama de *Método Científico*, que vem a ser a observação e medição criteriosa de um fenômeno, a elaboração de hipóteses para explicá-lo e o teste dessas hipóteses. Mas mesmo esses sucessos estrondosos não pouparam Galileu de dissabores com a Igreja.[3] Galileu foi processado por conta das ideias contidas em seu livro *Discussão sobre os Dois Grandes Sistemas do Mundo*, em que recontava suas descobertas e argumentava em favor do heliocentrismo. Alguns anos antes, ele já havia entrado em atrito com um padre jesuíta por causa do tom jocoso usado para rebater os argumentos do padre sobre a natureza dos cometas (ironicamente, o argumento de Galileu estava errado). O cientista foi condenado a se retratar de sua obra e a permanecer em prisão domiciliar pelo resto da vida. Morreria quase cego por causa das observações que fez do Sol pela luneta, mas não sem deixar um legado fabuloso.

O triunfo teórico de Newton

No mesmo ano em que morreu Galileu, nasceu Isaac Newton. Newton foi provavelmente o cientista mais visionário que já existiu. A grandeza do seu trabalho só pode ser rivalizada por Charles Darwin em termos de profundidade e impacto. Na própria Física, apenas Albert Einstein se compara, e talvez nem mesmo ele tenha construído um arcabouço intelectual tão vasto.

Newton cresceu e estudou num ambiente majoritariamente livre das crises religiosas que tanto perturbaram seus predecessores. Tomado de interesse pelas obras de Kepler e Galileu, buscou ir além da mera descrição empírica dos movimentos celestes. Chegou a criar um ramo inteiro da Matemática – o Cálculo Diferencial, paternidade que divide com o matemático e filósofo alemão Gottfried Wilhelm von Leibniz – para ajudar em seu trabalho. No final das contas, conseguiu um feito formidável: propôs três leis que adequadamente descreviam o movimento de qualquer corpo comum na Terra; e o fez sem se preocupar (muito) em definir coisas abstratas como tempo, espaço, massa, velocidade, quantidade de movimento e força. Sua definição de força, aliás, como sendo algo que poderia atuar à distância, era uma coisa que o incomodava, mas postulou-a mesmo assim.

O grande sucesso de Newton, se formos comparar sua obra teórica às especulações filosóficas da Antiguidade, foi que sua teoria permitiu não só descrever os fatos até então conhecidos, mas também fazer previsões que viriam a ser confirmadas por novos fatos. Suas leis de movimento, unidas ao princípio da Gravitação Universal (“matéria atrai matéria na razão direta das massas e na razão inversa do quadrado das distâncias”), permitiram-lhe reproduzir, de modo independente, as três leis orbitais empíricas de Kepler.

Considere por um instante o que isso significa: um homem preso à Terra, munido apenas de Geometria e Cálculo Diferencial, conseguiu deduzir matematicamente o que Kepler encontrou depois de tabelar décadas de observações do céu. Mesmo assim, Newton famosamente declararia depois que “se é verdade que enxerguei mais longe, foi apenas porque estava apoiado nos ombros de gigantes”.

Newton fez ainda inúmeras outras contribuições nos mais variados campos, tais como Matemática, Óptica e Mecânica Ondulatória. Suas leis de movimento obtiveram um sucesso estrondoso em prever tanto órbitas planetárias quanto o comportamento de fluidos e os princípios da Acústica; e, de fato, foram usadas para descrever todo e qualquer movimento. A Física teórica, iniciada na Mecânica graças ao trabalho de Newton, se expandiu e deu origem a diversos outros ramos, sempre usando o mesmo ferramental matemático e teórico criado por ele. Experimento após experimento, cada resultado sempre parecia concordar totalmente com as previsões feitas usando os métodos teóricos de Newton.

A Mecânica Newtoniana reinava absoluta e, até finais do século XIX, nada indicava que precisasse de grandes correções. Parecia não haver limites para seu

poder de previsão, e houve mesmo quem acreditasse que, 300 anos depois de sua criação, ela seria capaz de “fechar” a Física e explicar todo o Universo num conjunto conciso de leis. Mas, em breve, tudo isso mudaria.

1 Por outro lado, um de nós (Daniel) lembra-se de penar como professor, logo na primeira turma em certo colégio particular. Perdeu vários minutos tentando explicar o conceito de movimento relativo dando exemplos de trens e ônibus até finalmente perceber que aqueles alunos *nunca tinham andado de ônibus ou de trem* e, portanto, não faziam ideia do que estava falando!

2 Não que se esteja desprezando o trabalho de Aristóteles. O filósofo da ciência Alexandre Koyré costumava dizer que Aristóteles tinha embasado suas teorias de maneira muito mais de acordo com o senso comum do que Galileu. Parece que Aristóteles estava muito mais interessado em estabelecer o *significado* dos fenômenos naturais do que propriamente em *descrevê-los* – o que é justamente o ponto fundamental da questão.

3 Verdade seja dita, parece que os maiores problemas de Galileu com a Igreja não eram nem tanto suas posturas científicas, mas sua verve irônica e a maior influência de seus inimigos na corte papal quando da morte do Papa Gregório XV e da ascensão de Urbano VIII.

CAPÍTULO 2

A LUZ, DA ONDA AO *QUANTUM*

As leis e os fatos mais importantes da Ciência Física já foram descobertos, e encontram-se tão firmemente estabelecidos que a possibilidade de virem a ser suplantados em virtude de novas descobertas é excessivamente remota (...). As descobertas do futuro deverão ser buscadas na sexta casa decimal.
Albert Michelson (1903, p.23-24)

Em 1666, ano de um grande incêndio que destruiu boa parte da cidade de Londres, Isaac Newton abriu um furo no postigo de sua janela, de forma que, com o quarto todo fechado e às escuras, um estreito raio de luz do Sol fosse capaz de entrar. Usando um prisma, ele conseguiu decompor a luz nas cores do arco-íris – do vermelho ao violeta, passando por azul, laranja, verde, amarelo – e, usando outro prisma, foi capaz de recombinar essa sequência de faixas coloridas, o chamado espectro visível da luz, em um raio branco de iluminação solar.

Esse resultado reverso indicava que as cores já estavam presentes no raio original. Não eram, como se poderia supor na época, "pintadas" pelo prisma. Além disso, Newton demonstrou que, uma vez separadas, as cores não podiam mais ser modificadas: o vermelho, o violeta e o azul anil não se prestavam a novas decomposições.

A existência de outras "cores", invisíveis para o olho humano, foi determinada mais de um século mais tarde, em 1800, quando William Herschel – o descobridor do planeta Urano – aplicou um termômetro às faixas de cor estudadas por Newton, determinando que cada uma delas produzia uma leitura diferente no mercúrio do instrumento: a temperatura subia à medida que o termômetro era levado do violeta para o azul, do azul para o verde e o amarelo e, depois, para o vermelho. Para a surpresa de Herschel, a temperatura continuou a subir quando o termômetro foi posicionado um pouco além do vermelho, numa altura onde, a olho nu, não parecia haver nenhuma outra faixa do espectro. Ele havia descoberto um tipo de radiação invisível, a infravermelha.

Um ano mais tarde, em 1801, o cientista prussiano Johann Ritter determinou que um composto de prata, semelhante aos que depois seriam usados nos filmes

de fotografia em preto e branco, escurecia – um fotógrafo poderia dizer que era velado – muito mais rapidamente quando posicionado a uma altura do espectro além do violeta. Essa observação de Ritter marcou a descoberta da radiação ultravioleta.

Mais ou menos no mesmo período em que essa relação entre cor e temperatura era estabelecida, outros cientistas, trabalhando num ramo da Física denominado Termodinâmica – na origem, uma empreitada extremamente prática, dedicada a descobrir as melhores formas de construir e operar máquinas movidas a carvão e a vapor –, encontravam uma relação entre temperatura e energia. A correlação entre cor e energia, que levaria à Teoria Quântica, estava, portanto, pronta para ser detectada.

Onda ou partícula?

Quando os estudos acerca da natureza e das propriedades da luz começaram a ser consolidados, lá para o fim do século XVII, na Europa, quase ninguém duvidava de que sua velocidade de propagação seria finita, embora muito alta – mas havia um profundo debate sobre se a luz era composta por pequenas partículas ou se se propagaria como uma onda.

As pessoas olhavam para o Sol ou para a chama de uma vela e se perguntavam se essas fontes de iluminação estavam disparando pequenos projéteis que iam se chocar com seus olhos e com tudo mais ao redor ou se na verdade não faziam nada além de perturbar um meio, como uma pedra lançada num lago perturba a água ou a vibração das cordas de um piano perturba o ar.

Um dos principais defensores da teoria ondulatória – que via a luz como um tipo de perturbação – era Christiaan Huygens, astrônomo e matemático holandês. Ele sustentava que a luz era uma espécie de onda de choque esférica, como uma bolha que se expandia a partir da fonte luminosa. Cada ponto dessa bolha atuava como uma fonte de novas bolhas, que se propagavam apenas em frente. A soma de todas as ondas de choque resultava nos raios luminosos que chegam aos nossos olhos.

Trata-se, é claro, de uma hipótese *ad hoc*,[4] que Huygens propusera para tentar explicar os resultados obtidos em laboratório. Embora ele tenha conseguido usar seu modelo ondulatório para deduzir as regras práticas da reflexão da luz, não havia, em sua teoria, nenhuma justificativa para as ideias em que tinha se

baseado. De fato, a teoria de Huygens sofreu críticas severas na Inglaterra. Ninguém menos do que Newton achava que a luz era um fluxo de partículas, voando sempre em linha reta.

O imenso prestígio de Newton nos meios acadêmicos dava um peso enorme à teoria corpuscular ("corpúsculo", ou "pequeno corpo", é o mesmo que partícula), num exemplo clássico da falácia do apelo à autoridade, que é o erro de se considerar uma coisa verdadeira não por causa das provas a favor dela, mas, sim, pela fama ou autoridade de quem faz a afirmação.

As críticas de Newton à concepção de Huygens eram duras, mas não infundadas. Seu modelo corpuscular tinha a virtude de ser mais simples e também de estar de acordo com o que se conhecia sobre a luz na época. Em particular, o Modelo Newtoniano explicava muito bem a reflexão da luz em espelhos e outras superfícies polidas – tanto a luz batendo em espelhos quanto bolas de bilhar chocando-se com as laterais de uma mesa de sinuca parecem se comportar da mesma forma.

Newton também achava que as partículas de luz moviam-se mais rápido em meios mais densos (como a água) e mais lentamente em meios mais rarefeitos (como o ar). Essa ideia fundamentava-se no seu entendimento de que mesmo os "átomos" de luz tinham que ter massa e, portanto, seriam atraídos com um "puxão" gravitacional mais forte quando passassem perto de corpos mais densos.[5] Era por isso, dizia Newton, que a luz se dobra e muda de direção quando sai do ar e entra na água,[6] ou vice-versa.

Prestígio de Newton à parte, o fato era que nem todas as propriedades da luz poderiam ser adequadamente explicadas pela teoria corpuscular. Por exemplo, uma das objeções à teoria ondulatória era que, se a luz fosse uma onda, deveria ser capaz de contornar obstáculos, como as marolas num lago de águas calmas passam ao redor de um barco.

Ocorre que a luz *de fato* aparenta contornar pequenos obstáculos, um fenômeno que já havia sido observado na época de Newton e chamado por seu descobridor, o padre Francesco Grimaldi, de *difração.* Ele observara que a luz saída de um pequeno furo se "abria", propagando-se num cone e, além disso, produzia franjas iluminadas na sombra de pequenos objetos postos no caminho do cone. Newton não tinha uma explicação satisfatória para a difração além da já citada ação gravitacional de corpos densos e, depois de realizar alguns quantos experimentos, deixou a questão em aberto.

O debate sobre a natureza da luz prosseguiu por cerca de um século depois de Huygens e Newton, sempre com vantagem para o pai da Gravitação Universal.

Mas, no século XIX, um experimento abalaria o edifício da teoria corpuscular da luz.

Na primeira década do século XIX, o inglês Thomas Young, um profundo conhecedor do trabalho de Newton sobre os fenômenos ópticos, percebeu que algumas das propriedades da luz poderiam ser melhor explicadas se considerarmos que ela é formada por ondas que se superpõem, ora reforçando, ora enfraquecendo umas às outras.

Para demonstrar esse princípio, ele propôs o seguinte experimento: num quarto escuro, pegue uma fonte de luz e coloque um anteparo à sua frente, de modo que toda a luz seja bloqueada. Agora, faça um furinho no anteparo de modo a deixar passar um cone de luz. E, a certa distância do anteparo com o furinho, coloque um segundo anteparo, agora com duas fendas pequenas, de modo que a luz possa passar por elas. Por fim, coloque um terceiro e último anteparo (esse sem furo nenhum) para receber a luz que passa pelo par de fendas.

Há dois resultados possíveis para essa experiência, pensou Young. Ou a luz é realmente composta de partículas e, nesse caso, o terceiro anteparo vai apresentar uma "mancha" luminosa forte onde os dois cones de luz se encontram e duas áreas de luminosidade menos intensa nas bordas; ou a luz é composta de ondas e, nesse caso, o terceiro anteparo vai formar um padrão misturado de luz e sombra, parecido com o que Grimaldi observara no passado.

Young já sabia que quando duas ou mais ondas se encontram elas podem se reforçar ou se enfraquecer. Se as cristas de duas ondas se sobrepõem, a crista resultante é a soma de ambas. Se uma crista coincide exatamente com um vale, a onda resultante fica menor e pode até se anular. De maneira geral, a soma de duas ou mais ondas gera um *padrão de interferência*, cujo formato vai depender das condições específicas.[7]

Nas Figuras 1 a 4, vamos mostrar a representação matemática de duas ondas e o que acontece quando elas se superpõem.

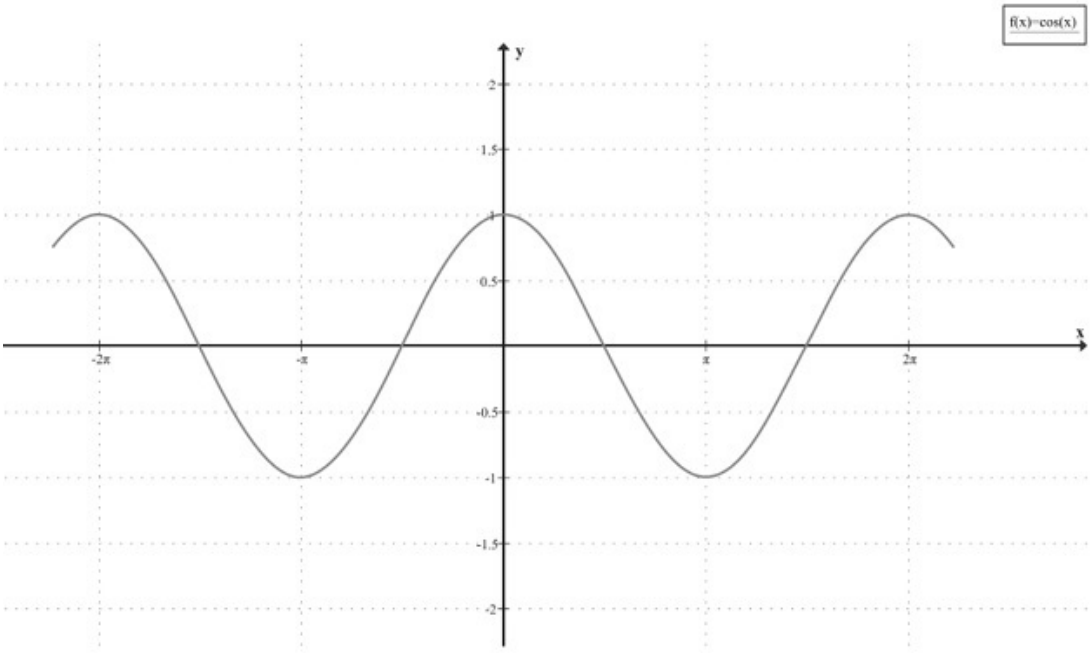


Figura 1 – Representação matemática de uma onda bem-comportada. Ondas numa praia são diferentes da onda desta figura porque são *muito* malcomportadas – efeitos como correntes marinhas, vento, turbulência, atrito e presença de outras ondas modificam o comportamento e o formato delas. Marolas num lago calmo se aproximam mais dessa representação. O eixo vertical representa a amplitude (ou "intensidade") da onda. Podemos entender isso como a altura da crista de uma onda no mar, por exemplo. O eixo horizontal representa a distância entre duas cristas sucessivas de uma ondulação.

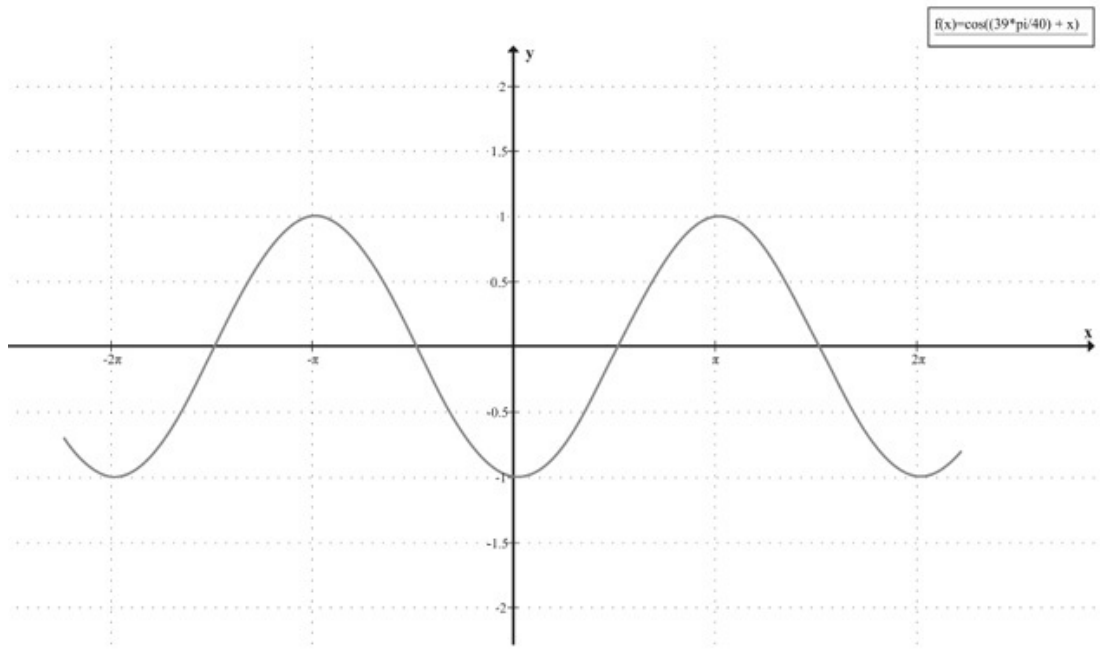


Figura 2 – Uma onda “deslocada” em relação à primeira. Repare que as cristas da primeira onda estão mais ou menos na mesma posição dos vales desta segunda onda. Diz-se que a segunda onda tem uma *diferença de fase* em relação à primeira.

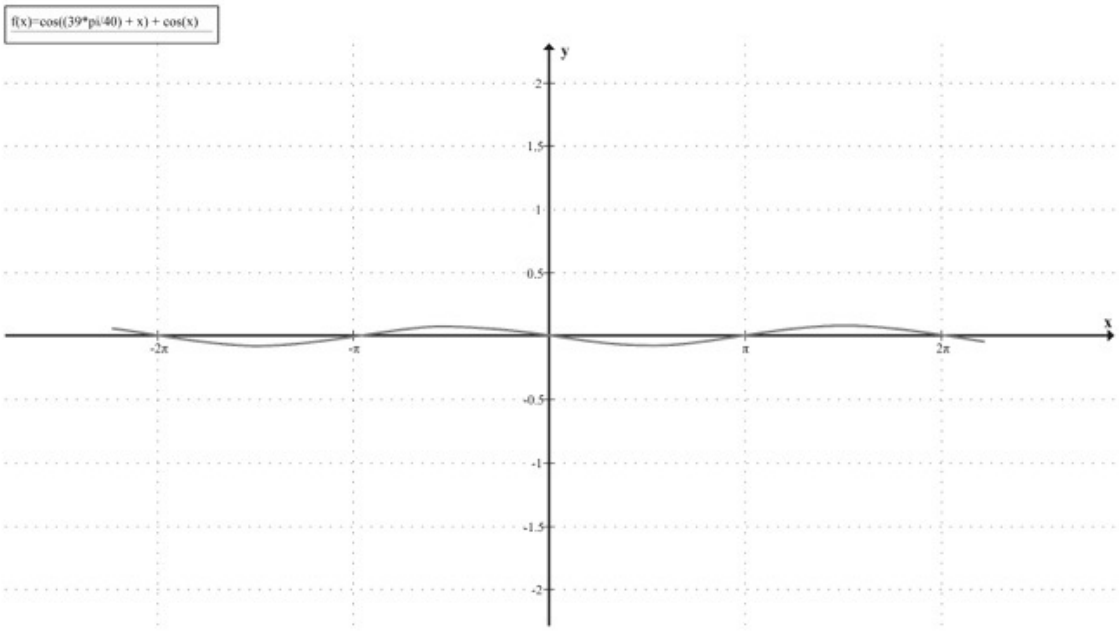


Figura 3 – A soma das duas ondas anteriores, num exemplo de interferência destrutiva.

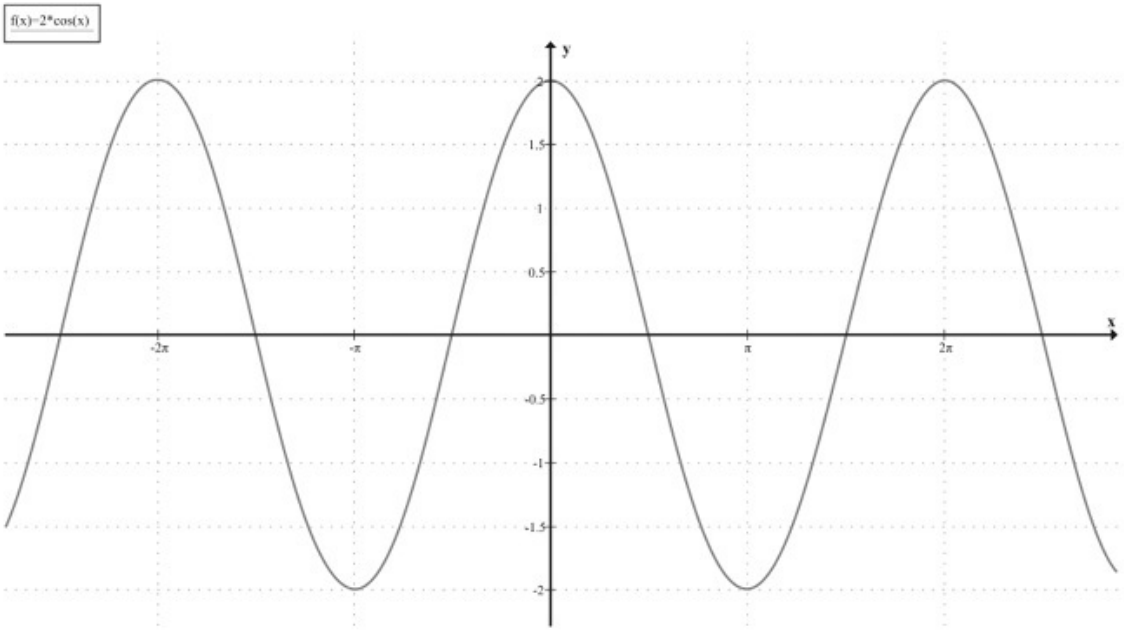
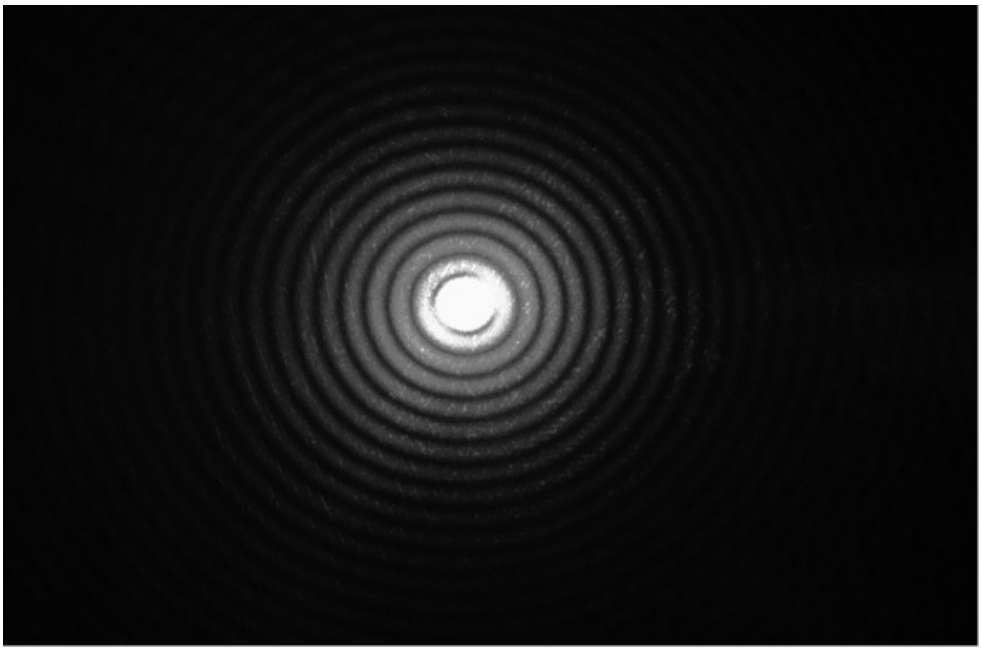


Figura 4 – A soma de duas ondas iguais à da Figura 1, num exemplo de interferência construtiva. Repare que a amplitude (a altura das cristas ou a profundidade dos vales) é o dobro da anterior, embora o formato da onda resultante seja o mesmo.



© Petrov Victor/Creative Commons

Figura 5 – Exemplo de um padrão de interferência num experimento feito com um laser. A imagem tem uma definição muito melhor do que aquela obtida por Young. Observe os aros de luz e as zonas escuras: correspondem, respectivamente, a áreas de interferência construtiva e destrutiva. Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Laser_Interference.JPG#globalusage

Quando Young realizou seu experimento, hoje conhecido como *experimento da fenda dupla*, encontrou os padrões de interferência que esperaria caso a luz fosse mesmo composta por ondas. Os resultados eram incontestáveis: não havia como conciliar o resultado experimental de Young com a teoria corpuscular de Newton. Ao longo do século XIX, outras experiências foram montadas com a intenção de demonstrar a natureza ondulatória da luz. Todas obtiveram grande sucesso.

E como se todas essas demonstrações empíricas não bastassem, o escocês James Clerk Maxwell publicou um artigo de quatro partes, entre 1861 e 1862, demonstrando que a luz era uma onda e construindo, no contexto dessa demonstração, um modelo para explicar a relação, até então profundamente

misteriosa, entre eletricidade e magnetismo.

Maxwell obteve ainda um sucesso teórico triunfal ao apresentar quatro concisas equações que mostravam como a luz se propagava – além de deduzir o valor *exato* da velocidade da luz em qualquer meio, desde que conhecidas as propriedades eletromagnéticas dele.

Numa grande unificação, comparável à obtida por Newton ao explicar, por meio da gravidade, tanto a queda das maçãs no solo quanto o movimento da Lua ao redor da Terra e o dos planetas ao redor do Sol, Maxwell conseguiu unir, numa só teoria, fenômenos tão díspares quanto ímãs, a luz – entendida como uma onda – e os relâmpagos. O sucesso estupendo da teoria de Maxwell pareceu ser o ponto final no longo debate sobre a verdadeira natureza da luz. Mas era mesmo?

Surge o *quantum*

"*Quantum*" é uma palavra do latim que significa "quão", "quanto", "tanto quanto" ou "quantidade". Ela entra no mundo da Física em 1900, quando o alemão Max Planck propõe que a luz emitida por um corpo aquecido – como um pedaço de metal deixado sobre brasas, por exemplo – poderia ser mais bem compreendida se os cientistas a tratassem não como um fluxo contínuo de ondas, mas como algo composto de minúsculos pacotes de energia, sendo que cada pacote seria um *quantum*.

Ao sugerir que as tais ondas da bem-sucedida teoria de Maxwell e dos experimentos de Young talvez não bastassem para dar conta do fenômeno da luz, Planck (que já foi definido como "o revolucionário relutante") não estava tentando transformar radicalmente nossa compreensão do Universo, e muito menos abalar os pilares da ciência, mas apenas buscando resolver um problema bem prático: em 1900, havia uma dura disputa comercial pelo mercado de lâmpadas incandescentes.

É a economia, estúpido

A criação da lâmpada incandescente costuma ser atribuída a Thomas Alva Edison, mas o principal mérito do inventor americano esteve mais na criação de

um modelo comercialmente viável do que, de fato, na ideia da iluminação elétrica. A primeira patente de uma lâmpada elétrica foi concedida não a Edison, mas ao britânico Joseph Swan. A casa de Swan, na Inglaterra, foi a primeira residência do mundo a ser iluminada com lâmpadas elétricas.

Swan também eletrificou por completo a iluminação do Teatro Savoy, em Londres, num experimento descrito, na época, tanto no jornal *The Times* quanto na revista científica *Nature*. O sistema estreou numa apresentação da opereta *Patience*, da famosa dupla vitoriana de compositores Gilbert & Sullivan. O uso da eletricidade em substituição às velas e à luz de gás foi classificado pelo *Times* como um "sucesso total". Escreveu o jornal, em sua edição de 29 de dezembro de 1881:

> A luz manteve-se perfeitamente estável durante toda a apresentação, e o efeito pictórico foi superior ao do gás, as cores dos vestidos – um importante elemento da ópera "estética" – parecendo tão verdadeiras e distintas quanto em pleno dia. As lâmpadas incandescentes Swan foram usadas, o auxílio da luz de gás sendo totalmente desnecessário.[8]

A década de 1880 assistiu a uma intensa competição entre industriais dos Estados Unidos, da Inglaterra e da Alemanha pela criação de um padrão para as lâmpadas elétricas. A iluminação representava o mais recente desenvolvimento numa série de tecnologias envolvendo eletricidade, como o motor elétrico e o telégrafo, e havia a sensação de que o país que conseguisse impor seus produtos como o padrão da indústria conquistaria enormes vantagens econômicas.

Lâmpadas incandescentes – como as do Teatro Savoy em 1881 e as da sua casa hoje em dia – devem seu poder de gerar luz à capacidade de um pedaço de metal (o filamento no interior do bulbo) de brilhar quando aquecido. A definição de um padrão para a luz elétrica dependia, portanto, de uma compreensão completa – ou o mais completa quanto possível – deste fenômeno: a produção da luz por meio do aquecimento. A proposta do *quantum* de Planck nasceu nesse contexto.

O corpo negro

A relação entre a cor de um raio de luz e sua capacidade de afetar a temperatura registrada num termômetro, que como vimos tinha sido

estabelecida já décadas antes do trabalho de Maxwell, foi estudada em detalhes, ainda em meados do século XIX, pelo físico alemão Gustav Kirchhoff. Ele reduziu todo o problema a um modelo abstrato, que chamou de “corpo negro”. Podemos imaginar o corpo negro como uma esfera oca, com um pequeno furo conectando sua superfície externa à cavidade em seu interior. Esse corpo tem ainda a propriedade de não refletir nenhuma luz: não importa o tipo de lâmpada e holofote que se aponte em sua direção, ele sempre parecerá – e daí o nome – negro.

Agora, imagine que a cavidade interior desse corpo seja aquecida, mais e mais: logo as paredes da cavidade começarão a brilhar, como um pedaço de metal que esquenta, passando do vermelho escuro ao amarelo e ao branco-azulado à medida que a temperatura se eleva. Essa evolução da cor pode ser acompanhada graças ao furo aberto na superfície.

Kirchhoff demonstrou, matematicamente, que essa radiação do corpo negro não dependia do material de que o objeto era feito, de seu tamanho ou formato, mas apenas de sua temperatura. Ele propôs que deveria ser possível criar uma equação ligando a temperatura do corpo negro à energia emitida, mas não foi capaz de deduzi-la – os meios para realizar os experimentos necessários não existiam em sua época. Quando uma equação finalmente foi proposta, décadas depois, ela desencadeou uma crise que levou Planck ao seu “ato de desespero”.

O leitor familiarizado com as guerras comerciais de hoje pelo mercado de *tablets* e *smartphones* talvez consiga ter uma ideia da guerra pelo mercado de lâmpadas elétricas da década de 1880.

Em 1887, a Alemanha fundou o Instituto Imperial de Física e Tecnologia, num *campus* estabelecido em terras doadas por ninguém menos que o magnata da indústria elétrica Werner Von Siemens (a Siemens, por falar nisso, havia tomado parte na eletrificação do Savoy de Londres, em 1881). Na década de 1890, o instituto desenvolveu um agressivo programa para criar a melhor lâmpada elétrica possível, que por sua vez motivou um intenso estudo do problema do corpo negro.

Um forte candidato à posição da equação sonhada por Kirchhoff surgiu, finalmente, no fim do século. Em 1893, o jovem físico Wilhelm Wien, do Instituto Imperial, mostrara como o pico da radiação emitida por um corpo negro deslocava-se em direção ao azul e ao ultravioleta à medida que a temperatura subia.

Isso significa que, embora o corpo aquecido sempre emita luz de várias cores simultaneamente, a cor *predominante* muda à medida que a temperatura sobe. E

essa mudança acontece sempre na direção da extremidade azul do espectro.

Três anos depois de demonstrar esse deslocamento, Wilhelm Wien propôs uma fórmula matemática para dar conta do fenômeno, relacionando a cor predominante à temperatura.

A Lei de Wien, como foi chamada, permitia explicar por que uma barra de ferro aquecida mudava de cor – o fenômeno observado correspondia ao deslocamento do pico de emissão. Nos anos seguintes, no entanto, ficou claro que a lei era falha; suas previsões não correspondiam exatamente aos resultados dos experimentos.

Embora a lei funcionasse bem para uma parte do espectro, ela falhava em prever (e explicar) o aumento observado na emissão de infravermelho com o crescimento da temperatura. De acordo com a Lei, a intensidade de infravermelho deveria ser bem menor do que a observada quando os cientistas faziam seus experimentos nos laboratórios.

Como, em ciência, nenhuma teoria é mais forte do que os resultados experimentais que a apoiam, foi como se o chão tivesse desaparecido debaixo dos pés da proposta de Wien. E os físicos voltaram a correr atrás de uma solução melhor. Max Planck, que havia ajudado a estabelecer uma justificativa teórica para a Lei de Wien – houve até mesmo propostas, modestamente repelidas, para chamá-la de Lei de Wien-Planck –, lançou-se ao desafio.

Planck primeiro apresentou, em outubro de 1900, uma simples emenda empírica à Lei de Wien. Era uma equação cujos resultados correspondiam aos fatos, mas que a comunidade científica em geral (e o próprio Planck, em particular) viu como nada mais que um remendo provisório.

Catástrofe a caminho

Meses antes de Planck, na Alemanha, apresentar sua “regra prática” para o espectro do corpo negro, um físico inglês, John William Strutt, também conhecido como Lord Rayleigh,[9] havia tentado calcular esse mesmo espectro, só que com base em princípios fundamentais da Física clássica, derivados diretamente das leis do movimento de Isaac Newton e de avanços, ainda no espírito newtoniano, obtidos no estudo do comportamento de partículas minúsculas, como os átomos e as moléculas que compõem os gases.

Um desses avanços era um resultado conhecido como “teorema da

equipartição", segundo o qual a energia de um gás deve ser dividida igualmente entre as moléculas que o integram e, em seguida, entre os diferentes rumos que essas moléculas podem tomar no espaço.

A ideia era mais ou menos assim: se você tem 10 moléculas que podem vibrar em 3 dimensões – para cima e para baixo; para frente e para trás; para a direita e para a esquerda – num sistema com 60 unidades de energia, então cada molécula deve receber 6 unidades, sendo 2 unidades para cada dimensão (60 "moedas de energia" divididas por 10 moléculas, e depois pelas 3 dimensões disponíveis para cada molécula).

Lord Rayleigh usou o teorema para dividir a energia do interior do corpo negro entre as diferentes frequências da radiação presente na cavidade.

O resultado obtido por Rayleigh, que posteriormente foi ampliado por James Jeans e ficou conhecido como Lei de Rayleigh-Jeans, previa que a energia no interior da cavidade do corpo escuro deveria crescer de modo ilimitado, atingindo valores infinitos na faixa ultravioleta do espectro.

Trocando em miúdos: uma aplicação perfeitamente lógica de um resultado válido da Física clássica levava à conclusão de que deveria ser possível obter uma quantidade infinita de energia simplesmente aquecendo um pedaço de metal – por exemplo, deixando-se um espeto de ferro sobre uma churrasqueira acesa. Não é preciso pensar muito para concluir que essa previsão representava um erro ainda mais desastroso do que os peculiares desvios apontados pela Lei de Wien.

Com efeito, anos mais tarde a previsão de Rayleigh-Jeans seria apelidada de "catástrofe ultravioleta".

Curiosamente, a principal motivação de Planck não parece ter sido, como às vezes se supõe, encontrar uma solução para o clamoroso impasse entre fato e teoria trazido pela "catástrofe".

Isso porque ele não acreditava que fosse correto aplicar o teorema da equipartição ao problema da radiação do corpo negro e, portanto, não concordava com a validade teórica do trabalho de Rayleigh.[10] Planck trabalhava não para resolver o dilema filosófico criado pelo nobre inglês, mas para satisfazer sua curiosidade pessoal e, claro, para solucionar questões práticas pertinentes à indústria alemã.

Energia em pacotes

Manipular uma equação para que ela se ajuste aos experimentos pode ser útil para o engenheiro, mas para o teórico tem o sabor amargo de disparar flechas ao acaso e, depois, pintar alvos cuidadosamente centralizados nos pontos atingidos. Entre outubro e dezembro de 1900, Max Planck buscou uma interpretação que lhe permitisse justificar sua fórmula com algo melhor do que um dar de ombros e a alegação de que "é assim porque assim funciona".

O que obteve foi a noção de que a energia não é emitida pelas paredes do corpo negro de modo contínuo, mas, sim, em pequenos pacotes – que chamou de *quanta*, o plural do latim *quantum*.

Nessa visão, quando um átomo da parede da cavidade do corpo negro passa a emitir luz, o que ele gera, na verdade, é uma rajada de pequenas partículas, sendo que cada uma delas encapsula um *quantum* de energia proporcional à frequência dessa luz. Cabe esclarecer que "frequência" é o número de oscilações, por segundo, da onda luminosa.[11]

O que nossos olhos veem como cor é, na verdade, a frequência da luz: quanto maior esse valor, mais azulada a iluminação.

O raciocínio, agora, é bem direto: as diferentes cores do espectro na verdade são diferentes frequências, e diferentes frequências transportam diferentes quantidades de energias. Logo, diferentes cores têm diferentes energias.

Isso significa que as cores têm diferentes *quanta*: você pode pensar no *quantum* de luz infravermelha como uma bala de revólver e no de luz ultravioleta como um míssil.[12] Cada cor do espectro tem seu *quantum* próprio, indivisível, e você nunca verá uma bala e meia ou dois terços de míssil voando por aí. Mas, levando a analogia um pouco mais adiante, você pode ver mísseis e balas voando juntos. Isso é o que acontece quando nossos olhos captam cores como o rosa ou o roxo: essas são misturas de diferentes frequências "puras" do espectro.

Planck e seus colegas inicialmente trataram a ideia do *quantum* como uma ficção matemática que, algum dia, seria superada por uma compreensão melhor do mecanismo do corpo negro. Afinal, para eles estava mais do que claro que a luz era uma onda e não uma rajada de partículas: a própria noção de frequência aparecia na definição do *quantum*. Mas, cinco anos mais tarde, um jovem chamado Albert Einstein provaria que o conceito de fóton – como a partícula de luz veio a ser chamada – era útil demais para ser tratado como algo meramente ficcional.

O ano maravilhoso

Em 1905, Albert Einstein publicaria uma série de artigos científicos que, embora não viessem a se tornar um sucesso imediato, acabariam sendo a base de sua reputação como um dos maiores gênios do século XX, possivelmente o maior físico teórico desde Isaac Newton.

Os mais famosos desses artigos trazem a elegante dedução do fato de que nenhum objeto é capaz de se mover mais depressa do que a velocidade da luz – a Teoria da Relatividade Restrita – e a derivação da equação $E = mc^2$. São ambas descobertas fundamentais, mas elas não nos dizem respeito aqui.

O que o próprio Einstein considerava o trabalho mais original[13] de seu "ano maravilhoso" – a descoberta pela qual viria a receber o Prêmio Nobel mais de uma década depois, em 1922 – dizia respeito ao fenômeno do efeito fotoelétrico.

Detectado pela primeira vez no fim do século XIX, esse efeito descreve como uma placa de metal, uma vez iluminada, passa a produzir corrente elétrica. A explicação comumente oferecida para o fenômeno, na época, era a de que as ondas de luz, ao atingirem a superfície metálica, davam aos elétrons do metal energia suficiente para que se pusessem em movimento, gerando assim a corrente.

Experimentos realizados em 1902, no entanto, revelaram que havia algo de errado com essa interpretação. O que o físico húngaro Philipp Lenard[14] descobriu foi que a intensidade da luz projetada sobre a placa não afetava a energia dos elétrons emitidos, e sim, seu número; já a frequência afetava a energia, mas não o número.

Vamos dar uma olhada melhor nisso: Lenard determinou que substituir uma lâmpada de, digamos, 50 W por uma de 100 W, da mesma cor, para estimular a corrente não faz os elétrons correrem mais depressa, mas aumenta a *quantidade* de elétrons correndo.

Já mudar a cor – isto é, a frequência – da luz, mantendo a mesma faixa de potência, não vai afetar o número de elétrons em trânsito, mas altera a energia de cada um.

Essa situação era um tanto quanto difícil de explicar pela teoria ondulatória da luz. Afinal, uma luz mais intensa significa que há mais energia sendo transmitida para a placa. Por que essa energia não se reflete no comportamento individual de cada um dos elétrons?

Num golpe de gênio, Einstein percebeu que a solução estava no *quantum*.

Aumentar a intensidade da iluminação significa *arremessar mais partículas* de luz sobre o metal. Mas, para uma luz monocromática, cada partícula tem a mesma energia das outras, correspondente ao *quantum* da frequência em questão. Assim, a luz mais forte não transmite mais energia aos elétrons individuais, mas *eleva o número de elétrons atingidos pelos projéteis quânticos*.

Já a mudança de frequência, mantendo-se a intensidade, tem o efeito oposto: o número de partículas continua constante, *mas a energia de cada partícula se altera*, o que permite explicar a mudança na energia transmitida aos elétrons em escala individual. Ou, nas palavras do próprio Albert Einstein, em seu texto de 1905:

> De acordo com a pressuposição considerada aqui, quando um raio de luz, começando de um ponto, se propaga, a energia não é continuamente distribuída sobre um volume cada vez maior, mas consiste de um número finito de *quanta* de energia, localizados no espaço, que se movem sem se dividir e que só podem ser absorvidos ou emitidos por inteiro.[15]

Nos anos seguintes, experimentos confirmaram a interpretação de Einstein para o efeito fotoelétrico. Em 1916, o americano Robert A. Millikan, um famoso físico experimental, publicou resultados demonstrando que, de fato, havia uma ligação direta entre a energia do elétron emitido e a frequência da luz incidente.

Esses resultados, no entanto, desfaziam a certeza legada pelos trabalhos de Young e Maxwell, mas sem deixar claro o que pôr em seu lugar: ao mesmo tempo que a bem-sucedida teoria eletromagnética do século XIX continuava em pé – e o conceito de ondas de luz dotadas de uma frequência específica mantinha-se fundamental –, uma interpretação corpuscular parecia ser indispensável para dar conta do efeito fotoelétrico e até do funcionamento de uma simples lâmpada de rua. Afinal, qual a solução?

4 "*Ad hoc*" é uma expressão latina que significa "para isto". Em ciência, hipóteses *ad hoc* são explicações criadas especialmente para se encaixar num conjunto de observações, muitas vezes sem uma base teórica e sem ligação com outros fatos conhecidos. Podem ser úteis como pontos de partida para a reflexão, mas os cientistas tendem a desconfiar um bocado delas.

5 O que também é uma hipótese *ad hoc*, verdade seja dita. E errada. Na realidade, a luz se propaga mais lentamente em qualquer meio material (ar, água, vidro etc.) do que no vácuo. Isso tem a ver com o fato de a luz não conseguir andar muito longe num meio denso sem esbarrar em alguma coisa que atrapalhe seu caminho.

6 O conhecido fenômeno da *refração*, que pode ser facilmente observado colocando um lápis dentro de um

copo de vidro cheio de água ou notando que nossa altura dentro de uma piscina não parece a mesma quando olhamos para nossas pernas dentro da água.

7 Por que não observamos padrões de interferência a qualquer hora em nossa sala de estar? Por duas razões. Primeiro, porque o comprimento da onda de luz visível é muito pequeno. A distância típica entre duas cristas consecutivas de uma onda de luz vermelha, por exemplo, é da ordem de 650 nanômetros. Isso é 650 *bilionésimos* de um metro, então o padrão de interferência é difícil de enxergar. Segundo (e muito mais importante), a luz precisa ser *coerente* para formar padrões de interferência que durem tempo o bastante para que sejam observados. E duas fontes de luz, A e B, são *coerentes* se a distância entre as cristas das ondas emitidas por A e por B mantiver-se a mesma ao longo do tempo. A luz natural (e das nossas lâmpadas) é emitida, refletida e polarizada de tantas maneiras antes de chegar aos nossos olhos que qualquer padrão de interferência que se forme na parede terá uma duração curta demais para que o enxerguemos.

8 Excerto preservado em The Gilbert & Sullivan Archive. http://math.boisestate.edu/GaS/carte/savoy/electric.html, acessado em 29/03/2013 (tradução nossa).

9 A forma como a luz do Sol se dispersa pela atmosfera da Terra, e que faz o céu ser azul, é chamada de "Dispersão de Rayleigh" em homenagem a ele.

10 A despeito do ceticismo de Planck, a catástrofe ultravioleta viria a ser reconhecida como um problema grave para a Física clássica: um ponto de ruptura no mundo newtoniano que tornava necessária a adoção do *quantum*.

11 No caso da luz visível, essa frequência fica na casa de algumas centenas de trilhões de oscilações por segundo, com o vermelho escuro realizando cerca de 400 trilhões e o violeta, por volta de 790. A unidade de frequência é o Hertz (símbolo Hz), e portanto se diz que a luz visível fica numa faixa de frequência que vai de 400 THz a 790 THz, onde o "T" é a abreviação de "Tera", o prefixo grego para "trilhão", ou 1 seguido de 12 zeros.

12 É por ser altamente energética que a luz ultravioleta é capaz de causar queimaduras e até câncer de pele, enquanto a luz visível, que transporta menos energia, é inofensiva.

13 As equações usadas por Einstein para expressar a Relatividade já haviam sido deduzidas, em 1895, pelo holandês Hendrik Lorentz, e ainda hoje são conhecidas pelos cientistas como "transformações de Lorentz". O gênio de Einstein, nesse caso, foi dar às transformações um contexto e um significado revolucionários. Quanto a $E = mc^2$, essa mesma equação já havia sido apresentada em 1900 pelo matemático francês Henri Poincaré. Alguns historiadores consideram que Lorentz e Poincaré "escaparam" de descobrir a Relatividade antes de Einstein por puro azar ou falta de imaginação – ou uma mistura de ambos.

14 É triste – e irônico – que Lenard, um físico importante que chegou a receber um Nobel, e cujo trabalho experimental inspirou Einstein, depois viesse a aderir ao nazismo e se tornasse um defensor da "Física ariana", que supostamente se opunha à "Física judaica" de Einstein e outros.

15 Artigo "On a Heuristic Point of View Concerning the Production and Transformation of Light", em *Einstein's Miraculous Year: Five Papers that Changed the Face of Physics*. Princeton: Princeton University Press, 2005, p. 178. (Tradução nossa).

CAPÍTULO 3

CERTEZAS NUM MUNDO INCERTO

Possibly Gilman ought not to have studied so hard.
Non-Euclidean calculus and quantum physics are enough to stretch any brain (…)[16]
H. P. Lovecraft, *Dreams in the Witch House*

Em uma carta a seu rival Robert Hooke, Newton certa vez declarou que "se é verdade que enxerguei mais longe, foi porque me apoiei nos ombros de gigantes", referindo-se aos trabalhos anteriores de outros cientistas.[17] Embora o sempre ácido Newton talvez estivesse se referindo indiretamente à baixa estatura de Hooke, o ponto é: em ciência, é fundamental que haja, se não cooperação direta, um contínuo levar adiante de trabalhos anteriores por outras mãos e mentes. Novas ideias são constantemente adicionadas e comparadas às noções anteriores, de forma que o edifício da ciência está sempre crescendo, ainda que de forma gradual.

Ou, ao menos, assim se idealiza.

O caso da Física moderna, que viemos desenhando nos últimos capítulos, ilustra bem o que acontece quando há uma ruptura radical nesse processo acumulativo. A luz, considerada como partícula por Newton e seus defensores durante muito tempo, teve seu caráter ondulatório dramaticamente demonstrado por Young e Maxwell; apenas para Einstein, de maneira igualmente dramática, estabelecer que a luz também pode se comportar como partícula. Mas, então, quem diabos está certo? Como é possível que a luz possa ser ora um fluxo de partículas, ora uma propagação ondulatória? E se é verdade que a luz *é* as duas coisas, quem (ou o quê) determina em que condições qual comportamento vai se manifestar?

Essa pergunta começou a ser respondida no contexto de outro problema que aparentemente não tinha nada a ver com ela: a razão pela qual os átomos dos quais somos feitos não desabam sobre si mesmos.

A estabilidade dos átomos e as ondas de matéria

Que todo corpo material ao nosso redor é feito de átomos não é uma ideia nova – na verdade, a ideia de que somos feitos de pequenos pedaços microscópicos de matéria tem pelo menos 2.500 anos.[18] Porém, foi apenas no começo do século XX que a estrutura atômica começou a ser desvendada. Em 1911, Ernest Rutherford bombardeou uma folha fina de ouro com partículas alfa (uma espécie de radiação que, já naquela época, sabia-se ser formada por partículas de carga elétrica positiva) e observou a magnitude do desvio que as partículas sofriam ao atravessar a folha, medida pelo ângulo de deflexão.

Até então, pensava-se que o átomo era semelhante a um pudim de ameixas – a "massa" do pudim seria um amálgama de cargas positivas, e as "ameixas", cargas negativas distribuídas em pontos específicos da superfície. O que Rutherford observou, no entanto, era que as partículas alfa às vezes passavam através da folha de ouro sem se desviar muito, e às vezes demonstravam uma deflexão muito grande. Quase como se fossem bolas de bilhar colidindo com um arranjo compacto de outras bolas de bilhar e, por conta disso, mudando radicalmente de direção, como num ricochete.

Como se sabe, cargas elétricas de igual sinal se repelem. Assim, Rutherford e sua equipe foram capazes de deduzir que as cargas positivas de um átomo se encontravam confinadas numa região central muito pequena – cem mil vezes menor do que o próprio raio atômico, como sabemos hoje – rodeada por uma nuvem de elétrons carregados negativamente. Esse novo modelo explicava que as partículas alfa que se aproximavam desse centro diminuto eram as que sofriam maior deflexão, enquanto as demais passavam mais ou menos incólumes.

O átomo de Rutherford era, portanto, semelhante a um minúsculo sistema solar, com os elétrons girando em torno do núcleo positivo a altíssimas velocidades. Além de dar conta do padrão de deflexão das partículas alfa, o modelo explicava com sucesso muitas das propriedades observadas empiricamente na época, mas tinha uma falha fatal: de acordo com as leis conhecidas da Eletrodinâmica, qualquer sistema assim *necessariamente* teria de emitir radiação eletromagnética (luz), o que acarretaria em perda de energia e um subsequente colapso: girando em suas órbitas, os elétrons deveriam emitir partículas de luz que levariam embora a energia necessária para que se mantivessem afastados do núcleo. Como cargas positivas e negativas atraem-se, a tendência natural do elétron seria mergulhar em direção ao centro do átomo.

Em outras palavras, o átomo de Rutherford deveria ser *instável*, caindo sobre si mesmo em frações de segundo. Ora, mas se tudo ao nosso redor (incluindo

nós mesmos) é feito de átomos, e se não vemos as coisas implodindo até desaparecer, o que está errado?

Felizmente para nós (e para físicos que dependem da coerência de suas teorias com o mundo real para arranjar emprego), o modelo atômico de Rutherford precisava apenas de alguns ajustes, feitos por um jovem físico dinamarquês de nome Niels Bohr a partir de 1913. Bohr imaginou que, tal como o espectro do corpo negro era quantizado, como vimos no capítulo anterior, assim também deveriam ser as emissões de um átomo. Ou seja, os elétrons de um átomo só poderiam emitir luz em frequências bastante específicas, que variam de átomo para átomo e não causam colapso.

Ele sugeriu dois postulados para explicar a estabilidade dos átomos:

1. Os elétrons de um átomo só podem se manter em certas órbitas estacionárias, com valores de energia bem definidos. Não é possível para um elétron ocupar o espaço intermediário entre duas órbitas atômicas consecutivas.
2. A energia do fóton de luz emitido ou absorvido por um átomo, quando um de seus elétrons muda de órbita, é um múltiplo inteiro da constante de Planck.[19]

Por mais que a ideia inicial de Bohr tivesse sido capaz de, numa só tacada, resolver o quebra-cabeça da estabilidade e prever as frequências da luz emitida por átomos de hidrogênio, permanecia a questão de que seus postulados não tinham muito a ver com a Física tal como se fazia até então. Uma série de objeções sérias foi surgindo, por exemplo: *quando* um átomo excitado vai emitir um fóton? Exatamente de que forma o elétron *sabe* que não pode ocupar espaços intermediários entre as órbitas? Como o fóton emitido *sabe* para qual outra órbita o elétron está saltando, para então ajustar sua frequência de acordo?

A Física, até aquele momento, era fortemente influenciada pelo *determinismo*. Graças ao sucesso tremendo da Mecânica Newtoniana e a seu incrível poder de previsão, pensava-se que, se tivéssemos acesso a todas as condições iniciais de um sistema – ou seja, se conhecêssemos a velocidade e a posição inicial de todas as partículas de um sistema e todas as forças e potenciais atuantes nele –, seríamos capazes de prever, com exatidão, todas as futuras posições de todas as partículas. Essencialmente, seríamos capazes de prever o futuro com exatidão, ao menos em princípio.

O átomo de Bohr, por outro lado, apresentava um comportamento fortemente

indeterminístico, ou seja, não havia nada no modelo que nos desse uma ideia de quando um fóton seria emitido, o que era um incômodo filosófico bem grande.

Mesmo com todo o sucesso obtido, o modelo de Bohr era limitado. Funcionava bem só para o átomo de hidrogênio, o mais simples de todos, que possui apenas um próton e um elétron. Qualquer sistema mais complicado apresentava dificuldades crescentes para ser descrito, o que levou o modelo a sofrer vários ajustes nos anos que se seguiram.

Paralelamente ao trabalho de Bohr e de seus colegas, outro cientista, de nome Louis-Victor de Broglie,[20] estava às voltas com sua tese de doutorado e ponderava o problema da luz, como tantos antes dele. Para de Broglie, não parecia estranho que a luz se comportasse algumas vezes como partícula e algumas vezes como onda, como sugeriam os resultados de Einstein a respeito do efeito fotoelétrico. O que lhe parecia de fato estranho era a aparente assimetria implícita na sugestão de que o *quantum* de luz – o fóton – deveria ser tratado como onda e partícula, enquanto os componentes da matéria eram vistos exclusivamente como corpusculares.

Assim, ele fez uma sugestão ousada: *toda* a matéria deveria ser entendida como tendo uma natureza dual, assim como a luz; e revelaria esse ou aquele caráter dependendo do tipo de experimento realizado. A onda "guiaria" sua partícula associada, fazendo com que o corpúsculo oscilasse em um tipo de movimento periódico, algo como "uma rolha de cortiça sendo carregada por ondas no mar".[21]

Essa ideia sobre as *ondas de matéria* ocorreu a De Broglie, como vimos, por razões de simetria. Estava claro para o cientista francês que, da mesma forma que se pode descrever a propagação da luz por meio de raios retilíneos quando se trata de fenômenos macroscópicos (o chamado limite da Óptica Geométrica, que dá conta, por exemplo, dos cálculos de reflexão em espelhos e de refração em lentes que os jovens aprendem a fazer no Ensino Médio), ou por meio de ondulações, quando se trata de fenômenos microscópicos (o chamado limite da Óptica Física, ou Ondulatória), também o mesmo poderia ser feito com relação a qualquer outra entidade microscópica, como um elétron.

Uma característica básica das ondas é a distância entre duas cristas ou dois vales sucessivos, chamada de *comprimento de onda*. Quanto maior o comprimento de onda, tanto menor será a energia transportada pela ondulação, e vice-versa: quanto menor o comprimento de onda, maior a energia. E uma característica básica de uma partícula de matéria em movimento é o seu *momento linear,* grandeza que mede o ímpeto de seu deslocamento – quanto

mais *momento* um corpo tiver, maior será a dificuldade de alterar sua trajetória, desviando-o do caminho original; razão pela qual também é chamado de *quantidade de movimento*. O momento linear foi definido por Newton como sendo o produto da massa de um corpo por sua velocidade.

A proposta da dualidade onda-partícula, então, é a seguinte: o caráter ondulatório e o corpuscular de cada ente subatômico estão atrelados à constante de Planck – aquela mesma que já aparecia na descrição do átomo de Bohr e, antes, nas equações do efeito fotoelétrico e do corpo negro. Se multiplicarmos o momento linear de cada partícula pelo comprimento de onda associado, vamos obter exatamente a constante de Planck – que é muito, muito pequena.[22]

Dito de outra forma, quanto *maiores* a massa e a velocidade de um corpo, tanto *menor* o comprimento de onda associado a esse corpo.

Como vimos no capítulo anterior, o caráter ondulatório de um objeto pode ser verificado fazendo experimentos de interferência e difração com anteparos de tamanho aproximadamente igual ao comprimento de onda considerado. Ou seja, só somos obrigados a levar em conta o caráter ondulatório de um objeto se as dimensões do aparato experimental forem comparáveis ao comprimento de onda de De Broglie; de outra forma, podemos tratá-lo como partícula, sem problema algum.

É exatamente por esse motivo que não enxergamos a dualidade onda-partícula no cotidiano. Um corpo macroscópico, como este livro, você, um carro, uma montanha, ou uma pulga tem um comprimento de onda de De Broglie tão pequeno que não pode ser observado.[23]

Para de Broglie, o átomo de Bohr não representava surpresa alguma. É possível entender as órbitas eletrônicas de Bohr como ondas estacionárias – análogas às vibrações que produzem música numa corda de violão. Cada estado excitado do átomo de hidrogênio tem que corresponder a um número inteiro de comprimentos de onda que caiba na circunferência da órbita.

As ondas de matéria de De Broglie ajudavam a visualizar um novo panorama para a Física, mas elas sozinhas ainda não eram suficientes para que a *velha Mecânica Quântica* (como chamamos hoje) desse conta de explicar as emissões espectrais de átomos mais complicados que o hidrogênio. Para isso, um novo passo teve de ser dado.

Schrödinger e a função de onda

Até aquele momento, a velha Mecânica Quântica tinha dado conta do átomo de hidrogênio e dos metais alcalinos, que ocupam a mesma coluna que o hidrogênio na tabela periódica, além de lidar bem com algumas questões em outros campos da Física. Um tratamento completo do panorama subatômico continuava a eludir os cientistas, até mesmo aqueles do grupo de Bohr, que contava com pesos-pesados da área, como Arnold Sommerfeld e Werner Heisenberg (sobre quem falaremos mais daqui a pouco), e recebia colaborações de Wolfgang Pauli e outros.

Munidos de métodos matemáticos mais precisos imaginados por Heisenberg, eles tinham conseguido avanços significativos na tentativa de descrever sistemas quânticos mais complexos. Porém, logo a comunidade científica seria atordoada por uma série de artigos do austríaco Erwin Schrödinger.[24]

O raciocínio de Schrödinger foi o seguinte: se De Broglie tinha teorizado que qualquer partícula subatômica tem um caráter ondulatório, fazia sentido tentar escrever uma equação cuja solução seria a *função de onda* que descrevesse o sistema quântico considerado. Essa equação governaria a evolução do sistema e deveria nos dizer, por exemplo, quais as chances de um elétron saltar de órbita – lembre-se de que a impossibilidade de se prever qualquer coisa a respeito do salto era um dos principais problemas com a velha Teoria Quântica. Evidentemente, a equação buscada por Schrödinger teria de atender às relações matemáticas entre comprimento de onda e momento linear que De Broglie tinha encontrado, já que sua base teórica era o trabalho do francês.

Além disso, a equação deveria satisfazer à velha e conhecida *conservação da energia* para que pudesse descrever sistemas físicos reais. Por fim, e tão importante quanto, a equação deveria ter como soluções funções de onda *lineares*, ou seja, a soma de duas (ou mais) soluções da equação deveria ser também uma solução. Esta última condição garante que efeitos de interferência (como vimos no capítulo passado) sejam observados. De fato, qualquer Teoria Quântica *precisa* prever fenômenos de interferência, ou não estará sendo consistente com a realidade.

Após se trancar por vários dias numa cabana nas montanhas (aparentemente para se recuperar de uma doença; o mais provável é que tenha levado também sua amante), Schrödinger apareceu com um artigo bombástico em janeiro de 1926, no qual propunha a famosa equação que leva seu nome, e já com soluções para os níveis de energia do átomo de hidrogênio. Ao longo daquele ano, outros artigos se seguiram,[25] nos quais Schrödinger praticamente definiu o caminho que a Mecânica Quântica tomaria até os dias de hoje.

Mas o que é a tal *função de onda*?

Essa não é uma pergunta simples de responder. Anteriormente, dissemos que a função de onda é uma solução da equação de Schrödinger. Matematicamente, é um objeto que guarda todas as informações sobre o sistema quântico considerado. Ela *não* representa uma entidade quântica particular – um elétron, uma partícula alfa, um átomo etc. – e sim, o *estado* dessa entidade.

Nos meses que se seguiram às publicações de Schrödinger, De Broglie, Bohr e os demais cientistas debateram exatamente qual o significado físico da função de onda. O problema é que ela era representada por um número *complexo* – é uma necessidade da equação de Schrödinger que a função de onda seja complexa, tendo uma parte com números reais – que são os números como 10, 1/3, –6 ou até mesmo π, que usamos para representar quantidades e medidas que encontramos no dia a dia, como pesos, comprimentos, saldos bancários, velocidades – e uma parte com números imaginários, que são múltiplos do número *i*, símbolo que representa a raiz quadrada de –1.[26] Só que apenas conseguimos interpretar fisicamente grandezas reais, e temos grande dificuldade para dizer o que representa "de verdade" uma grandeza imaginária.

De Broglie insistia que por trás da função de onda deveria existir um objeto físico real – uma onda existente, tal como uma radiação luminosa ou uma vibração sonora, responsável por guiar a trajetória de uma partícula igualmente existente. O próprio Schrödinger não sabia exatamente o que dizer. Para ele, a função de onda era pouco mais do que um artifício necessário para fazer as contas darem certo. A função de onda de um elétron, por exemplo, representaria uma distribuição de carga sobre um determinado volume onde se espera observá-lo. Nessa interpretação, a função de onda seria um campo com existência tão real quanto um campo elétrico ou um campo gravitacional. Caberia ao grupo de Bohr, entretanto, bater o martelo sobre como a função de onda seria enxergada.

De incertezas e probabilidades

Uma partícula na Física clássica tem uma trajetória muito bem definida. A qualquer momento podemos dizer onde ela está e a que velocidade está se movendo. Já com uma onda isso não é mais verdadeiro. Considere uma onda no mar: você é capaz de dizer com exatidão *onde* ela está localizada? Pode

estipular com toda certeza com que velocidade ela se desloca? Vá em frente, feche o livro por um instante, pense um pouco e depois volte.

Pensou? Muito bem. Se tiver visualizado direitinho uma onda quebrando na areia, vai perceber que ela não pode ter uma localização definida porque está "espalhada" por uma faixa bem larga de espaço. Da mesma forma, partes da onda quebrarão sobre a areia com velocidades diferentes. Podemos até tentar calcular uma velocidade média para essa onda (que na verdade é o resultado da interferência de várias ondas simples, mais efeitos de turbulência, atrito etc.), mas dificilmente seremos capazes de atribuir uma velocidade única e definida para a onda toda. E repare que em momento nenhum falamos de um objeto microscópico, e sim, de algo que podemos ver e sentir a qualquer hora em qualquer praia.

De fato, *todas as ondas são assim.* Se considerarmos uma onda plana bem-comportada, cuja velocidade é perfeitamente determinada pela matemática, vamos perceber que sua posição é totalmente indeterminada – a onda está tão espalhada que não podemos dizer que ela "está" aqui ou ali.

Com objetos quânticos isso não é diferente.

Lembre-se de que, pelo princípio da dualidade onda-partícula, podemos tratar uma partícula subatômica como partícula mesmo – ou seja, com posição e velocidade bem definidas – se nosso aparato experimental não for sensível o suficiente para detectar o comprimento de onda de De Broglie correspondente. Porém, se os instrumentos forem precisos o bastante para que o comprimento de onda associado faça diferença, *obrigatoriamente* vamos observar o caráter ondulatório da entidade quântica; o que inclui essa incerteza fundamental.

Assim, podemos dizer que quanto mais tivermos certeza da posição de um elétron, por exemplo, tanto menos saberemos sobre a velocidade dele, e vice-versa.

Foi Werner Heisenberg, um dos colegas de Niels Bohr, quem percebeu que isso era válido para todos os sistemas quânticos – e não apenas para posição e velocidade, mas para uma série de pares de "observáveis", como ele chamou.

As grandezas dentro desses pares – momento angular em diferentes direções, energia de um estado excitado e tempo de transição para outro estado, as já citadas posição e velocidade, entre outras – não podem ser ambas conhecidas com precisão arbitrariamente alta ao mesmo tempo. Se tivermos uma boa ideia de uma delas, nosso conhecimento da outra será, necessariamente, limitado. E isso não tem nada a ver com a precisão de nossos instrumentos, ou com a habilidade dos cientistas que estão fazendo medidas. É um limite imposto pela

própria natureza, contra o qual não parece haver contorno possível.

Essa ideia é conhecida como o *Princípio da Incerteza de Heisenberg*.

Paralelamente ao desenvolvimento do Princípio da Incerteza, o físico germânico Max Born estava se ocupando do problema do indeterminismo na Mecânica Quântica. Não sabemos, por exemplo, exatamente em qual posição encontraremos um elétron orbitando o núcleo de um átomo. Sabemos que ele tem que estar lá. Assim, se olharmos em *todo o espaço*, a probabilidade de encontrarmos o elétron em *algum lugar* é de 100%. Mas se limitarmos a busca a uma região mais restrita – digamos, apenas nas órbitas correspondentes ao terceiro e quarto estados excitados –, as chances de encontrar o elétron diminuem bastante. Em outras palavras, não é possível prever onde encontraremos uma partícula. No máximo, podemos calcular qual a probabilidade de ela estar em certa região. E isso se aplica não apenas à posição, mas a qualquer um dos observáveis da Mecânica Quântica – velocidade, momento angular, energia, entre outros; sempre podemos esperar que tais grandezas apresentem um certo espectro de valores possíveis, mas não saberemos *qual* valor vai aparecer até irmos ao laboratório e realizarmos a tal medida.

Em seu trabalho, Born demonstrou como calcular essas probabilidades. Implícito no raciocínio estava o seguinte: se prepararmos um número suficientemente grande de sistemas quânticos idênticos e medirmos um mesmo observável em cada um deles, vamos verificar que o número de resultados iguais é proporcional à probabilidade de obter aquele resultado. A cada possível valor do observável é atribuído um coeficiente que é proporcional à probabilidade de ele ser encontrado numa medição.

Em português claro, isso significa que, se num experimento há uma chance de 70% de observar um fóton com uma certa polarização, podemos esperar que cerca de 70 de cada cem fótons observados tenham a tal polarização. Nunca será uma proporção *exata*, pois estamos tratando de probabilidades aqui, não de certezas. Mas quanto maior o tamanho da amostra, tanto mais próximo do valor exato.

Isso de calcular probabilidades é muito bonito, mas Born não parou por aí. Para ele e para o grupo de Niels Bohr, tornava-se cada vez mais claro que o mundo quântico jogava com regras um pouco diferentes das que esperaríamos se nos baseássemos apenas pela Física clássica. Born então arriscou uma interpretação para a função de onda – sozinha, ela não tinha significado físico (lembre-se de que ela é um número complexo, contendo o fator *i*, uma grandeza

difícil de interpretar em termos físicos). Mas se multiplicarmos a função de onda por seu *complexo conjugado*, uma operação equivalente a elevar um número real ao quadrado, fazemos desaparecer o *i* e obtemos um número real que representa uma *densidade de probabilidade*. Ou seja, para Born, a função de onda não exprime uma coisa real, um campo físico de verdade – apenas um conjunto de probabilidades. A função em si nem sequer tem significado, antes de ser elevada ao quadrado.

Bohr e Heisenberg trataram de sintetizar todos esses trabalhos no que se convencionou chamar de "a Interpretação de Copenhague para a Mecânica Quântica".[27] Para eles, o panorama quântico apresentava características muito diferentes do que é compreensível intuitivamente. Vamos resumir o que eles disseram:

1. O princípio da complementaridade: a matéria exibe um caráter dual entre onda e partícula. Qual caráter se apresenta depende das características do experimento. Não se pode invocar apenas o caráter corpuscular ou o ondulatório para descrever os fenômenos quânticos.
2. A função de onda de um sistema quântico guarda todas as informações acessíveis sobre o estado do sistema.
3. A função de onda sozinha não tem significado físico. Multiplicada por seu complexo conjugado, representa a probabilidade de encontrar o sistema quântico neste ou naquele estado.
4. É impossível conhecer simultaneamente e com precisão absoluta todas as características do sistema. Nosso conhecimento é limitado pelo Princípio da Incerteza.
5. É impossível prever que valor um observável vai assumir antes de realizarmos uma medida.
6. O princípio da correspondência: para objetos suficientemente grandes ou sistemas com um número de partículas satisfatoriamente elevado, as previsões da Mecânica Quântica devem ser equivalentes às da Mecânica clássica.

Veja só quanta diferença se comparado ao panorama determinístico da Física clássica! No universo de Newton, partículas ou planetas têm suas trajetórias cuidadosamente definidas, sem espaço para dúvidas. As incertezas que existem são resultados da imprecisão de nossos instrumentos ou da falta de perícia do experimentador. No universo quântico, não. As imprecisões e incertezas são parte intrínseca da natureza, e precisão instrumental alguma poderá eliminá-las.

Além disso, Bohr sugeriu que sequer fazia sentido dizer que “o elétron estava realmente na posição x”. Antes de realizar uma medida, o elétron simplesmente *não está em lugar nenhum* que se possa definir.

Outra característica desconcertante é que, por causa das condições de linearidade impostas por Schrödinger no desenvolvimento de sua equação, é possível que uma função de onda seja dada pela soma de duas ou mais funções de onda superpostas. No mundo real, isso significa que é possível montar experimentos em que um sistema quântico se encontre num estado superposto indefinido. Voltando ao exemplo dos fótons polarizados acima, podemos dizer que um dado fóton está num estado de polarização superposto, com 70% de chance de estar polarizado de uma forma e 30% de chance de estar em outra polarização. Mas até que ele seja medido, não há sentido em afirmar que o estado de polarização do fóton seja um ou outro.

Bohr *versus* Einstein

Como você pode imaginar, isso incomodou muita gente de *pedigree* científico impecável. Einstein, por exemplo, apesar de ter sido um dos fundadores da Mecânica Quântica, se perguntava se o Princípio da Incerteza era mesmo um limite fundamental ou se haveria alguma maneira de contorná-lo e chegar a uma descrição completa do mundo quântico. Para Einstein, a coisa toda era um contrassenso: como assim, o elétron não tem uma posição definida? Ele podia aceitar que o conhecimento sobre a posição do elétron fosse muito difícil, senão impossível, de obter. Mas o mundo só faria sentido (ao menos para ele) se o elétron *realmente* estivesse na posição x.

É sempre perigoso usar analogias para descrever fenômenos científicos, mas vamos arriscar uma mesmo assim, para tentar deixar a bronca de Einstein um pouco mais clara.

Imagine que você tem um baralho comum de 54 cartas (13 de cada naipe, mais dois coringas). Você embaralha bem e saca quatro cartas, deixando-as com a face para cima: um coringa, o rei de copas, o dois de copas, o sete de ouros e o dez de paus. Você tenciona sacar mais uma carta do topo do baralho. Qual será essa carta?

Bem, podemos calcular qual será a probabilidade de a carta pertencer ao naipe de espadas (que é 13/50, ou 13 chances em 50), por exemplo, ou qual a chance

de ser uma figura (11 em 50), ou o outro coringa (apenas uma chance em 50). Podemos assinalar probabilidades para qualquer dessas coisas. Entretanto – e esse é o cerne da crítica de Einstein –, não importam quais sejam as chances, já que o valor da carta está bem definido *a priori*. Nós é que não sabemos qual é esse valor até virar a carta.

O panorama descrito por Bohr é diferente. Para ele, o mundo quântico não é um jogo de cartas marcadas (com o perdão do trocadilho), mas uma loteria. Imagine que você faz uma aposta simples na mega-sena, marcando seis dezenas na esperança de ficar milionário. Você não sabe se suas dezenas serão sorteadas (as chances são algo como 50 milhões para 1 – boa sorte!) e precisa esperar até que o globo da sorte pare de girar para que as bolinhas numeradas caiam. Antes de as bolinhas caírem é *totalmente impossível* prever quais números serão sorteados, porque eles simplesmente *não existem ainda*.

Voltando ao baralho, é como se a carta seguinte escolhesse seu naipe, número ou figura no instante em que é virada, em vez de já ter essas características predefinidas desde o dia em que saiu da fábrica.

Para complicar ainda mais a situação, nunca esteve muito claro qual o mecanismo pelo qual os sistemas quânticos decidem assumir um ou outro estado. A Interpretação de Copenhague sustenta que o sistema permanece indefinido até que uma medida seja feita. Nesse momento, algo misterioso chamado “colapso da função de onda” ocorre, e um dos valores possíveis do observável medido se manifesta e assim permanece.

Einstein e Bohr travariam uma série de debates sobre o significado e implicações da Mecânica Quântica nos anos seguintes. Einstein proporia situações e experimentos para tentar mostrar que as consequências lógicas da Interpretação de Copenhague geravam absurdos, apenas para algum tempo depois ver Bohr conseguir encontrar uma resposta demonstrando que havia alguma falha conceitual no raciocínio do pai da Relatividade. A comunidade científica assistiu, deliciada, a esse duelo de titãs intelectuais, que apesar das fortes diferenças filosóficas permaneceram cordiais até o fim de suas vidas. A última anotação deixada por Bohr no quadro negro de seu escritório, na noite anterior à sua morte em 1962, foi uma análise de uma das tentativas feitas por Einstein, ainda nos anos 1930, de desbancar a Interpretação de Copenhague.[28]

De matemática, gatos mortos-vivos e o

problema da medida

Muitos outros viriam a questionar a interpretação estabelecida por Bohr. As alternativas que tiveram mais sucesso até agora, como a Interpretação de De Broglie-Bohm, reproduzem as previsões estatísticas da Interpretação de Copenhague e evocam mecanismos diversos para explicar, ou até eliminar, a necessidade do incômodo colapso da função de onda.[29] Entretanto, a Interpretação de Copenhague venceu as ideias concorrentes (ainda que não necessariamente tenha *convencido* todo mundo) e se estabeleceu como a posição ortodoxa. É o modelo mais simples, realmente, apesar de suas consequências esquisitas. Tudo o que se pede é que deixemos de lado nossos "preconceitos macroscópicos" e tentemos entender o que a Matemática está tentando nos dizer – e a Matemática da Mecânica Quântica não é seriamente questionada por ninguém.

Mas, como dizem por aí, o diabo mora nos detalhes.

A Matemática estava definida com bastante rigor, graças em grande parte aos esforços de John von Neumann, matemático húngaro-americano que estabeleceu um tratamento altamente abstrato de todas as ideias que estivemos discutindo neste capítulo em sua colossal obra, *Fundamentos Matemáticos da Mecânica Quântica*, de 1932. Nesse livro, von Neumann deduz quase tudo que falamos aqui com base em argumentos de álgebra linear. Essa formulação rigorosa emprestou bastante robustez à Interpretação de Copenhague, mas o próprio von Neumann pensava de forma diferente. Para ele, como para Einstein, De Broglie e David Bohm, a interpretação ortodoxa não contava a história inteira. Von Neumann estava particularmente interessado no *problema da medida*.

Sabemos, pelo Princípio da Correspondência, que no limite entre o mundo macroscópico e o microscópico as previsões da Física Quântica e da clássica devem coincidir. Mas *onde exatamente* está esse limite? Por qual processo a medida influencia o comportamento (para não falar do resultado) de um sistema quântico?

Von Neumann imaginou que, uma vez que tudo no mundo é composto, em última instância, de sistemas quânticos, a fronteira entre micro e macro é ilusória. Ou seja, se um experimentador está observando um sistema quântico descrito por certa função de onda, o próprio ato de medir alguma coisa é resultado da interação da função de onda *do observador* com aquela do sistema observado. Dessa interação é que viria o colapso da primeira função de onda.

Extrapolando esse argumento, podemos imaginar uma única função de onda para todo o Universo que contemplasse todos os sistemas e todos os observadores. Von Neumann imaginou que “alguma coisa de fora” talvez tivesse que intervir para que cada parte dessa função de onda universal colapsasse e acabou por concluir que isso deveria ser a consciência de cada experimentador.

O rigoroso formalismo matemático de von Neumann foi apreciado e usado por todos os físicos desde a publicação de seu livro, mas quase ninguém na comunidade da Física realmente levou a sério a ideia sobre a consciência do observador causar o colapso. Além do mais, não está claro o que seja “consciência”, muito menos que ela deveria ser capaz de causar colapsos de função de onda por aí. O problema da medida ainda não está completamente fechado, mas tudo leva a crer que o que quer que aconteça para causar o colapso, não requer nenhuma espécie de presença inteligente prestando atenção o tempo todo.

O célebre experimento mental do Gato de Schrödinger ilustra bem isso: imagine que pegamos um gato bem vivo e o fechamos dentro de uma caixa com um aparato diabólico instalado. O aparato contém um frasco lacrado cheio de cianureto, um martelo acoplado a um contador Geiger (um aparelho que detecta radiação) e uma amostra radioativa. Se um dos átomos da amostra decair (emitindo uma partícula de radiação no processo), o contador Geiger vai registrar o decaimento e o martelo cairá sobre o frasco, quebrando-o e matando o gato. Enquanto nenhum átomo decair, o gato permanecerá vivo.

Ora, pelas regras da Mecânica Quântica, não é possível determinar quando a amostra vai emitir radiação – apenas que há uma chance que isso aconteça num determinado intervalo de tempo. Assim, um observador do lado de fora da caixa teria que considerar que o gato está numa superposição de estados – exatamente como num padrão de interferência que vimos no capítulo passado – de “gato vivo” e “gato morto”. A única forma de determinar se o gato está vivo ou morto é abrindo a caixa, forçando a função de onda superposta do gato a colapsar em um dos dois estados, vivo ou morto.

Schrödinger, que não punha muito crédito na Interpretação de Copenhague, imaginou esse experimento mental como forma de expor um aparente paradoxo no modelo: o gato conta como observador consciente ou há necessidade de postular um observador externo que cause o colapso da função de onda, além do experimentador?

De fato, é possível imaginar uma extensão desse experimento mental, que foi

o que o físico Eugene Wigner fez, aparentemente inspirado pela sugestão de von Neumann sobre o papel da consciência. Nessa variante, Wigner prepara a caixa com o gato, mas chama um amigo para que faça a observação, enquanto ele mesmo sai da sala. Em seguida, Wigner e o amigo se encontram e o físico pergunta o que aconteceu ao gato. Pergunta-se: antes de Wigner interrogar seu amigo, o sistema estaria numa superposição de estados de "gato morto/amigo triste" e "gato vivo/amigo alegre"? Se não, quando exatamente o sistema colapsou em um desses estados?

Mas Bohr não via paradoxo algum no experimento original proposto por Schrödinger. Desconfiamos que ele também não se abalaria com o amigo de Wigner. Para Bohr, estava claro o bastante que o colapso da função de onda aconteceria no momento em que uma partícula radioativa fosse registrada no contador Geiger, sem postular, desnecessariamente, a interferência de consciências humanas, animais ou sobrenaturais.

Uma pausa para reflexão

Desde o princípio deste livro estivemos contando uma história de como o pensamento científico surgiu na Antiguidade, como floresceu e se desenvolveu na Renascença, como se solidificou até o século XIX e como teve seus pilares abalados por uma série de ideias revolucionárias nas primeiras décadas do século XX. Era uma história longa, mas que precisava ser contada para que chegássemos aqui – para que você tivesse um panorama mais ou menos completo do que significou, para a Física, ter de engolir ideias tão radicais quanto a função de onda. Esperamos que você tenha percebido o quanto foi difícil ter de abandonar noções tão úteis quanto posição e velocidade, onda e partícula e aceitar que nem podemos dizer que certas coisas existem "de verdade" antes de as medirmos. Que uma única entidade quântica pode estar em estados superpostos e indefinidos, até que uma medida seja efetuada e que, por meio de processos ainda não inteiramente compreendidos, a função de onda colapse em um de muitos estados possíveis.

Estivemos contando a história da função de onda, enfim; e gastamos todo esse tempo para que você pudesse entender em linhas gerais o que a Mecânica Quântica tem a dizer sobre o mundo e, esperamos, o que ela *não* diz. Agora você está pronto para entender um pouco mais sobre as picaretagens quânticas

que começaram a aparecer anos depois da consolidação de tudo o que discutimos neste capítulo.

16 “Gilman não deveria ter estudado tanto. Cálculo não euclidiano e Física Quântica são o bastante para confundir qualquer cérebro (...)”. Fonte: *At the Mountains of Madness and Other Novels*, Sauk City, Wisconsin: Arkham House, 1985, p. 263. (tradução nossa)

17 Turnbull, H.W. (ed.). *The Correspondence of Isaac Newton*, v.1, 1959, p. 416.

18 Demócrito de Abdera, juntamente com seu mestre Leucipo, pensava que a matéria era composta por grãozinhos microscópicos, indestrutíveis e indivisíveis – daí a palavra grega ατομος, que significa justamente “indivisível”. Hoje sabemos que não é bem assim. A ideia antiga de átomo tem muito mais a ver com o nosso conceito moderno de molécula, no sentido de menor quantidade de matéria que ainda preserva as propriedades químicas de uma determinada substância.

19 A constante de Planck (nomeada em homenagem a Max Planck) surgiu em 1900 como uma constante de proporcionalidade entre a energia de um pacote discreto de luz e seu comprimento de onda, aparecendo nas equações do corpo negro e do efeito fotoelétrico. “Discreto”, aqui, não tem a ver com discrição – significa o oposto de “contínuo”. Matéria e radiação vêm aos pedacinhos, que, já vimos, são chamados de *quanta*.

20 Um aristocrata francês, estudante de humanas tornado físico, cuja história mereceria um capítulo à parte, o que, infelizmente, não faremos aqui.

21 Louis de Broglie, *A Natureza Ondulatória do Elétron*, palestra de aceitação do Prêmio Nobel, dezembro de 1929.

22 Para os curiosos: em unidades do Sistema Internacional de Medidas, a constante é da ordem de grandeza de 10^{-34}. Isso representa um número do tipo 0,000... com 33 zeros depois da vírgula.

23 Um exemplo clássico que se vê nos livros didáticos de Física Quântica e estrutura da matéria é pedir ao aluno que calcule o comprimento de onda de De Broglie de uma bola de futebol chutada por um jogador. Assumindo valores típicos para a massa e a velocidade de uma bola, esse comprimento de onda é da ordem de 10^{-34} metros, o que é muito, muito menor do que o mais sensível equipamento do mundo é capaz de perceber.

24 A vida de Schrödinger é ainda mais colorida do que a de De Broglie, e poderíamos gastar muitas páginas só falando de suas extravagantes aventuras amorosas, mas infelizmente o espaço é curto.

25 E. Schrödinger, *Annalen der Physik* 79, 361, 189, 734; 80, 437; 81, 109 (1926); *Die Naturwissenchaften* 14, 664 (1926). Esses artigos são muito difíceis de encontrar fora de bibliotecas especializadas (além de estarem escritos em alemão), mas o leitor destemido pode tentar encarar um resumo em inglês em *The Physical Review* vol. 28, n.6 (1926), “An Undulatory Theory of the Mechanics of Atoms and Molecules”.

26 Quando foi introduzido na matemática, o número *i* era visto como um artifício para ajudar na solução de certas equações – onde, cedo ou tarde, ele acabava sendo elevado ao quadrado, quando se transformava no “bem-comportado” –1. Mais tarde, no entanto, *i* se mostrou essencial em várias outras aplicações nas quais era bem mais difícil se livrar dele.

27 Assim chamada pelo fato de Bohr ser dinamarquês e porque ele e Heisenberg trabalharam no desenvolvimento do formalismo quântico na Universidade de Copenhague nos anos 1920. A própria

expressão apareceria pela primeira vez no prefácio de um livro escrito por Heisenberg em 1930, *Os Princípios Físicos da Teoria Quântica*.

28 Uma foto do quadro, com o esquema rabiscado por Bohr, aparece no livro *Quantum*, de Manjit Kumar.

29 A Interpretação do *Ensemble* é uma das favoritas de jovens físicos que se retorcem ao ter que estudar as implicações fenomenológicas da Mecânica Quântica: ela assume a Regra de Born até as últimas consequências e diz que a função de onda não descreve uma só partícula, mas uma vastidão delas – o *ensemble* – e que cada uma das partículas individuais assume valores dos observáveis num número compatível com os coeficientes de Born. Assim, quando medimos alguma coisa, estamos aferindo as propriedades de *uma* das partículas do *ensemble*, não de todas, nem obrigando o Universo a escolher aleatoriamente alguma coisa.

CAPÍTULO 4

A (IN)CONSCIÊNCIA QUÂNTICA

Eu vos garanto: se alguém disser a esta montanha:
“Levanta-te e lança-te ao mar”, e não duvidar no seu coração, mas acreditar que isso vai acontecer,
assim acontecerá.
Evangelho Segundo S. Marcos, 11:23

O fato de elaborar uma teoria sobre alguma coisa
não muda a coisa teorizada.
B.F. Skinner

A ideia de que os desejos, as crenças, as expectativas e as intenções da mente humana de algum modo criam ou moldam a realidade que nos cerca é antiga: a promessa de Jesus de que a fé move montanhas, na epígrafe (um dos “cheques em branco” dos Evangelhos, na definição do teólogo Robert M. Price), pode ter parecido ousada na época e da forma em que foi feita, mas dificilmente teria sido inédita ou original, mesmo então.

A suspeita de que a força de vontade humana é um componente fundamental da realidade tem a seu favor o fato de que é, dentro de certos limites, justificada. Uma pessoa pessimista, por exemplo, pode deixar de enxergar boas oportunidades que apareçam em seu caminho, contribuindo, assim, para manter as coisas num estado pior do que o que seria estritamente necessário.

Nesse caso, pode-se argumentar que as crenças e as expectativas (pessimistas) “moldam” a realidade (no sentido de que impedem que a situação melhore).

Num exemplo do efeito oposto, se nós, Carlos e Daniel, não tivéssemos tido confiança em nosso projeto, este livro não estaria em suas mãos agora.

A expressão-chave, em tudo o que foi exposto, é: *dentro de certos limites*. Suponha, digamos, que todos os vestibulandos na disputa por uma vaga no curso de Medicina da Universidade de São Paulo meditem, visualizem a si mesmos na lista de aprovados, relaxem e, no geral, mantenham uma atitude saudavelmente positiva: nada disso muda o fato de *que há mais de 60 candidatos para cada vaga*. Portanto, mais de 98% desses saudáveis mentalizadores acabarão frustrados, a despeito de toda a “energia positiva” investida.

Algumas pessoas, no entanto, têm uma grande dificuldade em evitar a

generalização. Elas partem da percepção de que bons pensamentos podem ser *úteis* ou *necessários* para a conquista das metas que todos temos na vida e chegam, por vias tortas e de modo totalmente injustificado, à conclusão de que os tais pensamentos seriam *suficientes*.

É um equívoco superficialmente sedutor, já que seu primeiro efeito tende a ser uma grande sensação de poder: a pessoa que o assume se vê, por assim dizer, no *cockpit* da própria vida.

Mas o outro lado da moeda é pura neurose: uma profunda sensação de culpa por tudo que acontece de errado – afinal, não são os pensamentos de cada um que atraem as coisas, boas ou ruins, para nossas vidas?

O equívoco também é, quando se reflete sobre o assunto, bem pouco plausível: como assim, pensamentos *atraem* coisas? Que os pensamentos afetam nossa relação com as coisas que estão aí, dadas no mundo, é razoável, mas como eles poderiam atraí-las (ou repeli-las, por falar nisso...)?

Aí entra a picaretagem quântica. Mas, antes de voltarmos à Física, um pouco de Filosofia.

Escolhendo seu partido

É improvável que exista um adulto no mundo que não tenha, em algum momento de sua vida, dedicado pelo menos um minuto para ponderar a relação entre corpo e espírito, mente e matéria. Até o mais pragmático dos animais humanos tem a fagulha do filósofo em si ("pragmatismo", afinal, é uma postura filosófica).

No debate mente-matéria, parecem existir três grandes posições, que funcionam mais ou menos como "esquerda", "centro" e "direita" na política: rótulos grosseiros e genéricos, cheios de nuances entre si e com uma boa dose de discordância interna, mas ainda assim úteis para uma categorização rápida e rasteira. Essas posições são:

– *Monismo materialista*: a natureza fundamental da realidade é feita das coisas que os físicos medem em seus laboratórios, matéria e energia. *Mente*, nessa visão, é algo como cor ou temperatura, uma propriedade que a matéria assume, dadas certas condições. Ou, como Charles Darwin anotou em seus diários: "Por que o pensamento ser uma secreção do cérebro seria algo mais

espantoso que a gravidade ser uma propriedade da matéria?”[30].

– *Dualismo*: a realidade comporta duas naturezas fundamentais, uma material e uma mental (ou espiritual). Nessa visão, mente e matéria são coisas diferentes, que interagem, por exemplo, na formação da personalidade e da consciência dos seres humanos. A maioria das religiões do ocidente não só é dualista como ainda propõe que a substância mental é imortal e indestrutível. O dualismo enfrenta alguns graves problemas filosóficos – como a substância mental pode interagir com a matéria? –, mas já teve defensores de peso dentro do mundo científico, como o filósofo Karl Popper e o neurocientista e ganhador do Nobel de Medicina John Eccles.

– *Monismo idealista*: aqui, a natureza fundamental da realidade é o pensamento, a ideia, a mente; o Universo material é feito de ilusões, fachadas, enganos e aparências. Essa é uma postura que algumas pessoas derivam de certas religiões asiáticas,[31] como determinadas formas de budismo e hinduísmo, com sua ênfase no caráter fugaz de nossas percepções e na necessidade de transcendência dos desejos e das necessidades materiais.[32]

Se você é como a maioria dos brasileiros, sua visão particular do problema provavelmente se encaixa em uma das subdivisões da postura dualista (existem tantos sabores de dualismo quanto há doutrinas políticas de esquerda no mundo, ou talvez até mais).

Um problema potencial surge, porém, quando se nota que a ciência, tal como se desenvolveu nos 400 anos desde Galileu, tem se mostrado perfeitamente compatível com o que chamamos de *monismo materialista*: as explicações científicas do mundo funcionam muitíssimo bem se tudo o que existir for somente, apenas e nada além do que matéria em movimento.

Isso não significa que o materialismo filosófico (que não deve ser confundido com o chamado “materialismo” moral, a triste ideia de que só o que importa no mundo é farrear e ganhar dinheiro) seja *verdade*. Mas, sem dúvida, ele tem se mostrado *suficiente* em todos os campos de investigação científica, da origem do Universo ao funcionamento do cérebro humano.

Essa é uma situação que gera certo desconforto. Embora seja perfeitamente possível aceitar que a ciência lida apenas com o lado material do Universo e deixar as questões místicas para a esfera íntima ou religiosa, muitas pessoas se ressentem do que veem como uma falta fundamental de sinais mais claros de transcendência e espiritualidade nos fatos do mundo.

Para algumas dessas pessoas, as lacunas no conhecimento humano explícitas

na Teoria Quântica – seu caráter aleatório, além da indefinição fundamental inscrita no Princípio da Incerteza – representam um refúgio. Isso já era notado na década de 1920. Escrevendo para uma revista popular americana em 1929, o físico Percy Williams Bridgman (que viria a ganhar um Nobel na década de 1940) previa que, assim que as descobertas mais recentes da Física caíssem nas mãos do homem comum, o mundo quântico passaria a ser tratado como "a substância da alma; os espíritos dos mortos habitarão ali"[33].

Quem observa o observador?

A variedade específica de misticismo que liga a Teoria Quântica à ideia de que a força de vontade é capaz de *tudo* – de que, nas palavras de Amit Goswami, que já citamos na introdução, escolhemos, a cada momento, o mundo em que vivemos – tem uma ligação muito íntima com o papel peculiar do observador no mundo quântico.

Como vimos no capítulo anterior, até que uma observação – ou medição – seja feita, diversas propriedades das entidades do mundo atômico e subatômico permanecem indefinidas.[34] É sobre esse pequeno alicerce de verdade que se constroem os edifícios da cura quântica, do ativismo quântico, do vendedor quântico e do *kama sutra* quântico (este último, nós inventamos agora).

Há uma aparência de plausibilidade no argumento geral: se (quase) tudo o que existe inicialmente são ondas de probabilidade, e se é a observação que provoca o colapso dessa onda, é o meu olhar, ao selecionar qual das possibilidades codificadas nela vai se tornar real, que faz com que as coisas sejam do jeito que são. Escolhendo o olhar, escolho as coisas. Certo?

Errado. E por dois motivos: um deles é que o colapso da função de onda é sempre aleatório. Mesmo se o olhar de um observador consciente – olhos ligados por nervos ópticos a um cérebro humano – fosse necessário para causar o colapso, o controle do observador sobre o resultado final não seria maior (na verdade, dadas as circunstâncias específicas do mundo quântico, seria *substancialmente menor*) do que o controle que a pessoa que joga uma moeda para o alto tem sobre qual face cairá voltada para cima, cara ou coroa. E só o que o arremessador pode escolher, se a moeda for honesta, é o momento do lance, jamais o resultado.

O outro motivo – e talvez o mais importante – é que a "observação" a que os

físicos se referem quando falam de fenômenos quânticos não requer uma mente consciente. No sentido quântico, *a observação não requer observador*.

Imagine um fóton – uma partícula de luz – a se propagar pelo vácuo do espaço entre as estrelas. Esse fóton não tem posição precisamente definida antes que seja observado. Mas "observação", nesse sentido, significa *qualquer tipo de interação entre o fóton e outro objeto, na qual ambos sofram algum tipo de alteração irreversível*.[35]

Falando de outro modo: a colisão da partícula de luz com um grão de poeira cósmica representa uma "observação" tão válida quanto a colisão dessa mesma partícula com a retina de um olho humano, muito embora, no sentido usual da palavra, apenas o ser humano seja, de fato, um "observador". A confusão aí é semântica, e não mística.

Algumas pessoas tentam fazer um cavalo de batalha do seguinte fato: até que um observador consciente – um astrônomo humano aqui na Terra ou mesmo um alienígena em Alfa Centauri, tanto faz – ponha o olho na lente do telescópio e veja o grão de poeira espacial brilhar ao refletir o fóton, a posição da partícula continuará efetivamente indefinida, porque *ninguém saberá dela*. Logo, a observação consciente continua a ser essencial para definir onde o fóton está.

O que a linha de argumento do parágrafo anterior faz, no entanto, é apenas enunciar uma obviedade: que só sabemos daquilo que ficamos sabendo. Da mesma forma que uma árvore que cai na floresta produz som mesmo se não houver ninguém por perto para ouvir, ou do mesmo modo que as montanhas de Marte estavam lá antes que tivéssemos telescópios capazes de enxergá-las, um fóton refletido por um grão de poeira faz o grão brilhar, mesmo quando ninguém está olhando.

Esse dado fundamental – de que qualquer interação irreversível entre objetos inanimados já conta como uma "observação quântica" – também ajuda a entender de onde, afinal, vem o mundo sólido e real ao nosso redor, e como a realidade pôde existir antes de chegarmos aqui para, nas palavras dos gurus da picaretagem quântica, "criá-la": as partículas estão sempre "observando-se" mutuamente umas às outras, e já vinham fazendo isso nos dez bilhões de anos que antecederam a origem da vida na Terra.

O verdadeiro problema, para muitos cientistas, é entender como essas interações causam o colapso da função de onda.[36] Há várias hipóteses interessantes a respeito,[37] mas a resposta curta é: por enquanto, ninguém sabe. Reconhecer que a ignorância existe, no entanto, não é o mesmo que abrir a porta para qualquer ideia estrambótica. Ou: não é porque você não consegue ver

o que está debaixo da cama que a ideia de que duendes, vampiros e lobisomens se escondem ali se torna respeitável.

That 70's Show

> A mitologia hindu é, virtualmente, uma projeção em larga escala, no reino psicológico, das descobertas microscópicas da ciência. Divindades hindus como Shiva e Vishnu dançam continuamente a criação e destruição de universos, enquanto que a imagem budista da roda da vida simboliza o processo interminável de nascimento, morte e renascimento que é parte do mundo das formas, que é o vazio, que são as formas.

A citação anterior[38] vem do livro *The Dancing Wu Li Masters*, do jornalista americano Gary Zukav. Publicada originalmente nos Estados Unidos em 1979, a obra resume e concentra o espírito da década em que foi escrita, a época dos *hippies*, do *flower power*, do encantamento das celebridades ocidentais, seguindo a trilha aberta por Bruce Lee e pelos Beatles, com as artes marciais da China e os gurus da Índia.

Zukav utilizou o adjetivo "psicodélico" – uma das marcas registradas do período – cinco vezes no livro, sendo uma para se referir à Teoria da Relatividade e outras quatro para tratar da Mecânica Quântica. Ele especulava que os currículos de Física do século XXI passariam a incluir aulas de meditação e que fenômenos considerados "ocultistas" poderiam se tornar objeto de estudo sério entre os físicos (nada disso até agora aconteceu, mas o leitor mais otimista pode se consolar com a ideia de que o século ainda tem mais de 80 anos pela frente...).

Uma combinação de termos gregos, "psicodélico" significa, literalmente, "aquilo que manifesta a alma", ou "aquilo que põe a alma em evidência". Da forma como é mais comumente usada, a palavra se aplica aos efeitos de drogas alucinógenas como o LSD, ou a obras de arte que buscam emular as alucinações causadas por esse tipo de droga.

Publicado no Brasil já no fim dos anos 1980 como *A Dança dos Mestres Wu Li* (edição que, pelo que conseguimos apurar, ainda pode ser encontrada em sebos), o livro de Zukav representa um marco importante na história do misticismo quântico, não por ter sido o primeiro a popularizar o assunto – essa duvidosa honra cabe a *O Tao da Física*, de Fritjof Capra, lançado nos Estados

Unidos em 1975 –, mas porque é um retrato muito fiel do espírito do tempo em que a associação entre o *quantum* e o místico ganhou impulso na imaginação popular; porque suas ideias serviram de fonte para muito do que veio depois; e porque, dados os devidos descontos à bagagem interpretativa do autor, trata-se de um *bom* livro sobre Física Quântica e Relatividade, o que é muito mais do que se pode dizer a respeito de seus sucessores.

Quando se propõe a descrever e explicar teorias e experimentos, Zukav é ótimo. É quando se põe a interpretá-los, sempre na chave da Filosofia oriental, que erra. Ou, melhor dizendo, que vai longe demais.

O parágrafo citado no início desta seção, por exemplo, traz um pensamento que se segue à descrição minuciosa de uma série de mecanismos pelos quais partículas subatômicas são destruídas em colisões e como a energia gerada nessa destruição dá origem a novas partículas.[39] E, também, como a energia presente no vácuo pode, às vezes, dar origem a pares de partículas.

Então, partículas se chocam, são destruídas e daí surgem novas partículas, levando à metáfora: "divindades hindus como Shiva e Vishnu dançam continuamente a criação e destruição de universos".

Além disso, o Princípio da Incerteza permite que partículas surjam espontaneamente do vácuo, desde que não durem por muito tempo[40] – assim como posição e momento, tempo e energia são quantidades relacionadas pelo princípio –, o que torna possível o paralelo feito por Zukav com "a imagem budista da roda da vida [que] simboliza o processo interminável de nascimento, morte e renascimento que é parte do mundo das formas, que é o vazio, que são as formas"[41].

Literariamente é um recurso interessante, mas é preciso manter em mente seus limites.

Primeiro, é muito mais provável que os antigos mestres orientais tenham formulado essas ideias com base na observação do ciclo dos seres vivos – que nascem, lutam, reproduzem-se e morrem – ou mesmo na história humana – com sua sucessão aparentemente interminável de reinos, povos e impérios que surgem, conquistam, enchem-se de glória apenas para desaparecerem mais tarde – do que de algum *insight* profundo sobre a natureza última do vácuo quântico.

Segundo, nem toda correspondência possível, no campo da linguagem, aponta para algo relevante no mundo dos fótons e dos átomos. Senão, teríamos de supor que, ao escrever *Romeu e Julieta* – no qual dois jovens de famílias inimigas e de sexos opostos se sentem irresistivelmente atraídos um para o outro, o que causa a destruição de ambos –, William Shakespeare estava

dizendo algo significativo sobre o elétron e o pósitron, partículas de cargas elétricas opostas que são inexoravelmente atraídas uma para a outra e que se aniquilam mutuamente no momento da colisão.

De modo semelhante, é preciso resistir à tentação de fazer o contrário, extrair "lições" do mundo quântico para a condução de nossa vida cotidiana, macroscópica. Zukav faz muito alarde em torno do fato de que a dualidade onda-partícula "mostra" que nem todos os dilemas que encontramos na vida reduzem-se, realmente, a apenas duas alternativas.

Mas, embora seja verdade que muitos aparentes dilemas – caso ou compro uma bicicleta? Luto ou saio correndo? Peço demissão ou abaixo a cabeça? Cerveja ou vinho? – aceitem soluções que transcendam as alternativas iniciais (talvez possamos pedir uma caipirinha ou um refrigerante), esse simples fato da vida não tem nada a ver com a dualidade onda-partícula. Assim como o fato de que as coisas conquistadas com pouco esforço são geralmente pouco valorizadas não se liga à constatação da Mecânica Quântica de que as partículas que surgem do vácuo (do "nada") têm duração extremamente curta.

Metáforas são boas para iluminar a vida, mas se levadas além de seus limites, acabam provocando confusão: não é porque a sua namorada é linda como uma flor que você deve adubá-la. Ou, nas palavras atribuídas ao escritor britânico G.K. Chesterton por Neil Gaiman na epígrafe de seu romance *Coraline*, "contos de fadas são verdadeiros não porque nos dizem que dragões existem, mas porque nos dizem que dragões podem ser derrotados"[42].

O campo dos sonhos

Na introdução de uma recente reedição de seu livro, Zukav afirma que a obra contém "a semente do pensamento de que a consciência está no coração de tudo o que podemos experimentar, de tudo o que podemos conceber, e de tudo o que somos. Também aponta para a possibilidade de que intenções criam a realidade que experimentamos"[43].

No entanto, o que em Zukav era apenas "semente" e "possibilidade" foi transformado em afirmação categórica por seus sucessores na trilha do misticismo quântico.

O físico Amit Goswami, em *O Universo Autoconsciente*, deixa bem claro, logo nas primeiras páginas, que seu objetivo é demonstrar que o monismo

idealista é uma conclusão lógica da Mecânica Quântica; e em *A Cura Quântica*, o médico endocrinologista Deepak Chopra não é menos ousado, ao garantir que intenções e ideias são os fatores primários no surgimento das doenças, enquanto agentes patogênicos, como vírus e bactérias, são meramente *secundários*. Tudo isso, mais uma vez, graças à Mecânica Quântica.

Discutir os méritos filosóficos do monismo idealista, ou a validade médica das teorias que buscam ligar doenças a estados de espírito, seria assunto para mais um ou dois livros, possivelmente bem diferentes deste que você tem em mãos. O que nos interessa aqui não é examinar o conteúdo exato das propostas desses autores, mas o fato de que ambos tentam validar essas propostas com apelos ao mundo quântico. Esses apelos fazem sentido?

Resposta curta: não. Como vimos nas páginas anteriores, um "observador consciente" não é necessário para explicar a transição entre os mundos quântico e clássico; e, mesmo que fosse, esse observador não teria como "escolher" o resultado final da observação, que é sempre aleatório.[44]

Para a resposta longa, continue a ler.

Goswami, um físico de formação, segue mais ou menos na linha de Zukav, descrevendo fatos e experimentos de modo essencialmente correto, mas forçando a mão na parte interpretativa. Ele considera a ideia de um Universo materialista aterrorizante e vê no *quantum* uma rota de fuga. Por exemplo, escreve:

> A influência negativa do materialismo realista na qualidade da vida humana moderna tem sido aterradora. O materialismo realista apresenta um Universo sem significado espiritual: mecânico, vazio, solitário [...] Na filosofia idealista, consciência é fundamental; portanto, nossas experiências são reconhecidas e validadas como cheias de significado.[45]

A opinião anterior, retirada de *O Universo Autoconsciente*, é um verdadeiro vespeiro filosófico. Alguém poderia citar, entre os efeitos "aterradores" do "materialismo realista na qualidade de vida humana", a descoberta dos antibióticos, a invenção das vacinas, do automóvel, da internet, além da redução drástica da mortalidade infantil no último século.

Outra pessoa talvez considere extremamente arrogante a pretensão de que, para ter significado, as experiências humanas têm de ser validadas pelo nível mais fundamental do Universo. O amor entre duas pessoas, por exemplo, precisa mesmo ter algum significado, além do que se passa no coração do casal de amantes, para ter valor?

Mas, concorde-se ou não com a avaliação do autor, o que fica claro é que ele tem um desejo, o de que o idealismo *seja* verdadeiro, e uma espécie de programa filosófico, o de demonstrar que o idealismo *é* verdadeiro. O *quantum* é apenas a ferramenta mais à mão.

Na tentativa de produzir uma prova que satisfaça seu desejo, Goswami se apropria do chamado "problema da medição" da Mecânica Quântica. Trata-se de um problema que já encontramos neste capítulo e no anterior: como as ondas de probabilidade que codificam as partículas subatômicas geram o Universo macroscópico determinista que vemos ao nosso redor?

Para Goswami, a explicação de que as interações das partículas entre si e com o ambiente gera o colapso da função de onda é insatisfatória. Ele então oferece uma alternativa espantosa, de certa forma calcada na ideia de von Neumann sobre o papel do observador consciente: a de que existe um "campo de consciência" que observa a função de onda do Universo, fazendo-a entrar em colapso. Todas as mentes humanas participam desse campo, o que faz com que a existência seja uma espécie de grande democracia espiritual: cada um de nós vota, com sua consciência, para definir a face da realidade.

Chopra argumenta mais ou menos na mesma direção: para ele, existe uma "inteligência" que permeia, por exemplo, o sistema imunológico humano, e essa inteligência pode ser influenciada, por meios quânticos, pela consciência do paciente.

De novo, como no caso dos paralelos entre Mecânica Quântica e Filosofia oriental, é preciso separar o que tem funcionalidade metafórica do que tem plausibilidade física.

Podemos, talvez, dizer que alguns aspectos da realidade são mesmo criados por uma espécie de consenso mental humano – coisas como o papel da mulher na sociedade ou a percepção da moralidade de se possuir escravos, por exemplo, mudam com o tempo e com a evolução dos povos –, mas generalizar isso para o mundo físico é bem mais problemático. E invocar a Física Quântica para justificar essa generalização é muito mais problemático ainda.[46]

O catálogo das dificuldades envolvidas é imenso, por isso vamos citar apenas três: duas conceituais e uma de ordem puramente prática.

Começando pelo aspecto conceitual, há o problema, nada fácil, de dar significado físico à expressão "campo de consciência". Em Física, um "campo" é algo que associa um valor a cada ponto de um determinado volume de espaço, por exemplo, a sala em que você está agora tem um "campo de temperatura", já que, a cada ponto do interior dela, é possível associar um número

correspondente à temperatura das moléculas que estão ali. Da mesma forma, o "campo gravitacional da Terra" associa, a cada ponto do espaço, um valor que permite calcular a força com que um objeto deixado lá vai ser atraído para o centro do nosso planeta.

Qual, portanto, a grandeza que um suposto "campo da consciência" associa aos pontos do espaço? Haveria um valor de QI intrínseco a cada minúscula fração do Universo? A coisa simplesmente não tem sentido. Além disso, se aceitarmos que o "campo de consciência" causa o colapso de uma suposta "função de onda do Universo",[47] quem, ou o quê, provoca o colapso da função de onda da consciência?

Uma escapatória possível seria postular que o tal "campo de consciência" não é um campo físico, como o gravitacional ou o eletromagnético, mas algo que transcende a mera realidade material. A partir do instante em que se invoca a transcendência, no entanto, não tem mais sentido usar princípios da Física para defender a ideia: transforma-se em uma questão de fé, filosofia ou religião. Talvez realmente exista um "campo transcendente de consciência" fora do Universo, mas, se esse for o caso, não é apelando à Mecânica Quântica – ou a qualquer outra teoria física – que se haverá de provar a proposta.

A segunda dificuldade conceitual está na definição de *consciência*. Afinal, o que é isso? Cientistas e filósofos debruçam-se há tempos sobre a questão. No geral, a palavra é aplicada à capacidade que alguns sistemas têm de reconhecer a si mesmos como entidades autônomas, de refletir sobre o ambiente que os cerca e sobre os próprios estados internos – de, por exemplo, pensar "estou com fome", em oposição a apenas *sentir* fome, de *apreciar* o aroma da comida, em vez de apenas deixar-se atrair por ele.

Por tudo o que sabemos, com base na melhor informação científica disponível, essa capacidade combinada de identificação, percepção e reflexão é algo que evoluiu ao longo das eras, começando com o impulso rudimentar que impele as formas de vida mais simples a buscar abrigo e alimento, até chegar à capacidade humana de contemplar o céu estrelado e fazer poesia.

E seja o que for essa consciência, ela sempre aparece de forma localizada: nos indivíduos da espécie humana, talvez em outros mamíferos, em alguns pássaros e, de acordo com algumas pesquisas científicas recentes, polvos. Quem sabe, no futuro, em androides, computadores que venhamos a construir ou em alienígenas que venhamos a encontrar. Ela parece também depender, crucialmente, de um órgão específico, o cérebro. Algo bem diferente dos campos da Física, que permeiam todo o espaço e não requerem um suporte de

carne e sangue.

A diferença entre o localizado e o disperso nos traz à dificuldade prática que mencionamos: não vemos indícios desse campo em parte alguma. Podemos detectar um campo gravitacional vendo um peso cair, ou um campo eletromagnético acompanhando o movimento da agulha de uma bússola, mas não há um experimento capaz de revelar a presença do "campo de consciência".

Alguém poderia imaginar que fenômenos paranormais – como transmissão de pensamento, premonições e sonhos proféticos – serviriam como indicadores da presença desse campo, da mesma forma que a trajetória da Lua no céu indica a presença do campo gravitacional da Terra. E, de fato, muitos defensores do misticismo quântico se apegam a indícios e narrativas de ocorrências paranormais em busca de apoio empírico para suas ideias.

O problema, aí, é que nenhum desses fenômenos jamais foi validado cientificamente: desde que o americano Joseph Banks Rhine escolheu a palavra "parapsicologia" para descrever seu campo de estudos, na década de 1930, nenhum suposto evento paranormal sobreviveu ao escrutínio científico.[48]

De fato, as únicas descobertas científicas sólidas já feitas, com base nos estudos sobre paranormalidade, dizem respeito à psicologia do erro e do embuste, e revelam como é fácil enganar as pessoas. Como somos facilmente distraídos, enrolados e engabelados pelos outros ou por nós mesmos.[49]

De novo, nada impede que uma pessoa assuma uma perspectiva mística e aceite, como paranormais, eventos que, numa visão científica, não passam de coincidências ou mal-entendidos. Só que, ao abandonar a perspectiva científica, tem-se de abandonar, também, qualquer reivindicação legítima de aplicação da Mecânica Quântica ao problema.

A hipótese de que o "campo de consciência" é o ingrediente fundamental do Universo abre a possibilidade – eis o principal fator de *marketing* do misticismo quântico – de que a realidade seja maleável, no sentido de que pode ser forjada na fornalha da força de vontade: se um número grande o suficiente de pessoas acreditar, digamos, na paz mundial, ou que sorvete de morango cura o câncer, o campo universal poderia ser redefinido para acomodar esses novos conceitos.

O problema, que deve parecer evidente, é que isso simplesmente não acontece. A realidade não é democrática: dos primórdios da humanidade até o período clássico da civilização grega, o consenso parece ter sido o de que a Terra era plana, mas não há nenhum indício de que nosso planeta tenha sido achatado como uma panqueca durante todo esse tempo.

Outros exemplos abundam: antes de Galileu realizar suas primeiras

observações da Lua, o consenso, no mundo ocidental, dizia que nosso satélite natural tinha de ser uma esfera perfeita e sem manchas. Se houvesse mesmo um "campo de consciência" construindo a realidade, o grande cientista italiano jamais teria observado as montanhas, os vales e as crateras lunares.

É possível até mesmo argumentar que a Física clássica representava uma realidade consensual tão forte que a Mecânica Quântica jamais deveria ter tido a oportunidade de aparecer.

Mas será que funciona?

Como algumas pessoas gostam de dizer, no entanto, às vezes uma ideia não precisa ser *verdadeira* para funcionar: Dumbo, o elefante voador do desenho animado da Disney, pensava que só era capaz de se lançar aos ares porque segurava uma pena mágica na tromba, quando o verdadeiro impulso vinha de suas orelhas enormes. Mesmo inexistentes, os poderes mágicos da pena davam-lhe a segurança de que precisava para cruzar os céus.

Será que o misticismo quântico não poderia operar do mesmo modo? Sem afetar a estrutura íntima da realidade, mas atuando como fator de motivação, empenho e, consequentemente, sucesso?

Lembrando o exemplo que demos no início do capítulo: não há mentalização que faça multiplicarem-se as vagas nos cursos superiores mais concorridos.

Além disso, há alguma evidência experimental de que técnicas de "visualização" – em que a pessoa se esforça para ver a si mesma já na posição almejada – são, na verdade, contraproducentes. De acordo com o psicólogo britânico Richard Wiseman, pessoas que se valem de estratégias assim acabam sendo levadas a subestimar o esforço realmente necessário para conquistar o objetivo e, por isso, se frustram com mais facilidade.

Misticismos outros

Nem só do Princípio da Incerteza e da dualidade onda-partícula vivem as picaretagens quânticas, no entanto. Outro fenômeno, o chamado *emaranhamento quântico*, às vezes também costuma ser invocado.

No emaranhamento, partículas separadas por grandes distâncias – a expressão

“em lados opostos do Universo” é muito usada por certos autores – parecem capazes de se comunicar instantaneamente, com uma alteração no estado de uma operando uma transformação automática na outra.

Ninguém menos do que Einstein referiu-se a essa possibilidade como uma “ação fantasmagórica a distância”, e você não terá dificuldade em encontrar quem tente aplicar o princípio a fenômenos tão diversos quanto a astrologia e a transmissão de pensamento.

O emaranhamento é um fenômeno real, comprovado experimentalmente, e uma interpretação adequada do que, exatamente, acontece ali ainda não existe. Mas, como de costume, suas implicações são bem diversas das sugeridas pela literatura mais popular. Os detalhes estão no próximo capítulo.

30 “Early Writings of Charles Darwin”, vol. 2, transcritos e anotados por Paul H. Barrett, trabalho disponível online em http://darwin-online.org.uk/content/frameset?pageseq=1&itemID=F1582&viewtype=text, acessado em 30/3/2013. (Tradução nossa)

31 Existem também monismos idealistas cristãos. Uma versão especialmente curiosa é a que foi proposta no século XVIII pelo bispo inglês George Berkeley. Segundo o bispo Berkeley, todo o Universo só existe como pensamento, na mente de Deus.

32 Muitos misticismos e doutrinas da Nova Era abraçam essa visão, o que não deixa de ser irônico, já que o principal objetivo dessas doutrinas parece ser, exatamente, oferecer um atalho para a satisfação dos desejos e das necessidades que deveriam ser transcendidos!

33 Em *Reflexions of a Physicist*, Philosophical Library, New York, 1950, ensaio “The New Vision of Science”, publicado originalmente na edição de março de 1929 da *Harper’s Magazine*. Disponível em formato e-book em http://archive.org/details/reflectionsofaph031333mbp. Acessado em 30/03/2013.

34 “Diversas”, mas não “todas”: a carga elétrica de um elétron, por exemplo, é sempre a mesma e está perfeitamente definida.

35 O leitor mais rigoroso poderá torcer o nariz para o uso da palavra “irreversível”. Afinal, praticamente todo efeito físico pode ser desfeito: se amasso o carro, por exemplo, basta levá-lo ao funileiro. Mas repare que consertar o carro amassado requer o dispêndio de tempo, dinheiro e energia: o carro não se endireita sozinho. Uma definição mais refinada de “irreversível”, no contexto em que estamos usando a palavra, seria: uma situação que tem uma probabilidade extremamente baixa – para todos os efeitos práticos, igual a zero – de se desfazer de modo espontâneo, num intervalo razoável de tempo.

36 Escrevemos “muitos”, e não “todos”, porque há fisicos, como o americano Victor J. Stenger (autor do livro *The Unconscious Quantum* ou *O Quantum Inconsciente*), que consideram que a chamada dualidade onda-partícula reflete apenas uma limitação da linguagem humana: nessa visão, os objetos quânticos seriam “coisas” de uma natureza especial, uma natureza que não temos palavras para descrever, e por isso nos vemos obrigados a recorrer a termos grosseiros e inadequados, como “onda” e “partícula”. Assim, muito da estranheza do mundo quântico se reduz à questão de termos um vocabulário limitado por nossa experiência cotidiana no mundo macroscópico. Kenneth Ford, ex-diretor do Instituto de Física dos Estados Unidos, já escreveu que ondas são “desnecessárias, porém convenientes” para tratar da Mecânica Quântica (Ford,

2011, p.205).

37 Uma delas é a dos Muitos Mundos, segundo a qual todas as possibilidades codificadas na função de onda se realizam, cada uma em um Universo diferente.

38 Todas as citações da obra de Gary Zukav vêm da edição e-book the *The Dancing Wu Li Masters*, publicada nos EUA por Harper-Collins em 2009. (Tradução nossa).

39 Isso é, fundamentalmente, o que ocorre nos experimentos realizados em colisores como o LHC: partículas se chocam em alta velocidade e os físicos, então, estudam as partículas resultantes.

40 Ok, então não é *exatamente* assim que acontece: dizer que é possível "pegar emprestado do Nada" um bocadinho de energia para em seguida "devolvê-lo ao Nada" é uma licença poética. O fato é que o que chamamos de vácuo na verdade *fervilha* de energia; e flutuações quânticas aleatórias podem produzir pares de partículas ditas "virtuais", num processo cuja duração é prevista pelo Princípio da Incerteza. Mas esse é um fenômeno melhor descrito pela Teoria Quântica de Campos, que foge do escopo deste livro.

41 Ver nota 38.

42 Gaiman aparentemente estava parafraseando um trecho da crônica "The Red Angel", coletada no volume *Tremendous Trifles*, de 1909. O original diz: "Contos de fadas não dão à criança a primeira ideia de um bicho-papão. O que os contos de fadas dão à criança é a primeira clara ideia de que o bicho papão pode ser derrotado". (Tradução nossa).

43 Ver nota 38.

44 Um cientista pode escolher qual faceta de um objeto quântico vai se manifestar no experimento – se onda ou partícula –, mas o único papel que a consciência do experimentador tem aí é na definição da montagem do equipamento. Não há nenhum tipo de "controle mental direto" sobre a partícula em si.

45 Todas as citações de "O Universo Autoconsciente" vêm da edição e-book *The Self Aware Universe*, Jeremy P. Tatcher/Putnam, New York, baseada na edição *trade paperback* de 1995. (Tradução nossa).

46 Já a "inteligência" invocada por Chopra poderia ser vista como uma metáfora para as mudanças acumuladas ao longo da evolução biológica, mas ele não está se referindo ao processo darwiniano de seleção natural e, sim, a um "campo inteligente" semelhante ao de Goswami.

47 Esse, aliás, é um conceito que talvez nem tenha significado físico: o cientista brasileiro Mario Novello, em seu livro *O que é Cosmologia?*, lembra que, para integrar todo o Universo numa só função de onda, seria preciso criar um tratamento quântico satisfatório da gravidade, o que ainda não foi feito.

48 Críticos às vezes acusam a "ortodoxia" científica de não aceitar fenômenos revolucionários. O que não deixa de ser engraçado, já que essa mesma ortodoxia aceitou coisas bem estranhas, como a Relatividade e o *quantum*, assim que as provas adequadas foram produzidas.

49 Mais detalhes podem ser encontrados em livros como *Paranormality* (*Paranormalidade*), do psicólogo britânico Richard Wiseman, e *The Elusive Quarry (A Presa Elusiva)*, do americano Ray Hyman.

CAPÍTULO 5

MUNDO ESTRANHO

Acho que posso dizer com segurança que ninguém entende Mecânica Quântica.[50]
Richard P. Feynman

Cala a boca e calcula!
David Mermin[51]

Um dos aspectos mais estranhos da Mecânica Quântica – provavelmente *o* mais estranho – é o fato de que somos perfeitamente capazes de calcular o resultado de experimentos, prevendo a ocorrência de eventos que realmente se confirmam, mas até hoje não sabemos ao certo como interpretar filosoficamente a coisa toda. Por exemplo, é muito simples prever o resultado de uma experiência de difração, na qual um feixe de elétrons passa por dois furos e forma um padrão de interferência num anteparo. Mas é muito difícil dizer o que acontece *exatamente* com cada elétron à medida que a figura de interferência vai se desenhando. A maioria dos físicos simplesmente *desistiu* de tentar interpretar a Mecânica Quântica, contentando-se, em vez disso, em descrever os resultados obtidos. Outros ainda acreditam que a Mecânica Quântica oferece um panorama incompleto, e se dedicam a encontrar um esquema que consiga descrever corretamente o que acontece no mundo microscópico, ao mesmo tempo que preveja, de maneira consistente, tudo o que já encontramos todos os dias no laboratório. Esses cientistas acreditam que, tal como Ptolomeu e seus epiciclos planetários, que vimos no Capítulo 1, estamos presos a um paradigma que nos dá as respostas certas, mas que fornece uma visão de mundo totalmente errada.

Infelizmente, não parece haver saída desse labirinto filosófico, embora muita gente boa tenha tentado.[52] Não há uma correspondência clara entre propriedades e grandezas macroscópicas e os fenômenos quânticos. Até mesmo nosso vocabulário soa inadequado na tentativa de descrevê-los.

No centro dessa inadequação está o Princípio da Incerteza. O fato de não podermos medir duas grandezas conjugadas, como posição e momento linear, com grau absoluto de precisão é, em última análise, responsável pelas esquisitices quânticas que vimos no Capítulo 3. Com efeito, uma leitura ainda

mais ortodoxa da Interpretação de Copenhague sustenta que não tem sentido perguntar onde um elétron está antes de realizar uma medida: antes de fazer um experimento (e provocar o colapso da função de onda do sistema), o elétron *não tem uma posição definida*. O mesmo pode ser dito sobre o momento linear, *spin*, ou qualquer outra propriedade mensurável da partícula. O máximo que podemos fazer em relação a todas essas coisas é calcular as chances de cada propriedade observável assumir um determinado valor.

Vamos, agora, examinar um pouco mais de perto como as propriedades e consequências contraintuitivas da Mecânica Quântica confundiram a cabeça de tanta gente, levando certas pessoas a acreditar que a ciência havia encontrado a confirmação definitiva de suas religiões ou filosofias favoritas – e, por conta disso, como alguns espertalhões se aproveitaram para semear desinformação e ganhar uns trocados.

A experiência da fenda dupla

Na palestra n. 6 sobre o caráter das leis físicas que o ganhador do Nobel de Física Richard Feynman deu na Universidade de Cornell em 1964, de onde tiramos a primeira epígrafe deste capítulo,[53] o cientista revisita muitas das propriedades estranhas da Mecânica Quântica por intermédio de um experimento muito elegante, que passamos a descrever.

Imagine que temos um canhão de elétrons[54] (parecido com o que existe nas antigas TVs de tubo) apontado para um anteparo. Nesse anteparo nós colocamos algum detector que registre o impacto dos elétrons, talvez um fundo fosforescente que emita um pontinho brilhante, de maneira que saibamos onde cada partícula bateu. E, entre o canhão de elétrons e o anteparo, colocamos uma tela opaca com duas pequenas fendas, cujo tamanho seja comparável ao comprimento de onda dos elétrons (algo simples de calcular). A expectativa, depois de todo o trabalho de Einstein e de De Broglie, é de que os elétrons do feixe se comportem como ondas ao atingir a tela e difratem ao passar pelas fendas. Como a experiência de Young demonstrou, ondas difratando geram padrões de interferência no anteparo – em essência, regiões de claro e escuro que correspondem, respectivamente, a interferências construtivas e destrutivas quando as ondas se superpõem.

Nós então ligamos o canhão de elétrons e esperamos para ver o que acontece.

Se dispusermos de uma câmera que possa filmar em alta velocidade, ou se regularmos para baixo a taxa de emissão do feixe no canhão, veremos o anteparo registrar a impacto individual de *cada* elétron que chega até ele. Humm! Muito curioso! Queríamos verificar o caráter ondulatório do elétron, mas tudo o que acontece é a marcação de pontinhos brilhantes no anteparo, exatamente o que esperaríamos de partículas que tivessem quicado aleatoriamente nas bordas microscópicas das fendas e se espalhado. De fato, podemos dividir o anteparo em regiões de tamanho arbitrário e *contar* quantos elétrons atingem uma dada região a cada minuto, digamos. Isso vai ser importante mais para frente, então tome nota.

Mas espere. Esse não é o final da história. Se deixarmos os pontinhos se acumularem, um padrão vai surgir. Zonas com mais pontinhos e outras mais rarefeitas. Algumas zonas praticamente escuras, indicando que quase nenhum elétron acerta aquele trecho do anteparo. Ora, mas são franjas de difração! *Exatamente* o que esperávamos observar no começo! Com efeito, acabamos de comprovar o caráter dual da matéria: os elétrons são espalhados como ondas, mas o anteparo registra cada impacto individual, como se eles fossem partículas.

Vamos, agora, propor uma variação no experimento. Dispostos a testar os limites do poder de previsão da Mecânica Quântica, podemos tapar uma das fendas de cada vez e registrar o padrão formado no anteparo quando apenas uma ou outra estiver aberta. Afinal, se é possível reduzir a taxa de emissão de forma que um elétron de cada vez atinja o anteparo, é razoável supor que cada partícula passe por apenas uma das fendas e seja desviada pelas bordas da passagem utilizada. Assim, somando as figuras formadas em cada caso, deve ser possível recuperar o padrão de interferência. Ao menos é isso o que aconteceria no caso clássico, se estivéssemos disparando bolinhas de papel contra um anteparo adesivo. Não é isso que a Mecânica Quântica prevê, mas vamos realizar o experimento assim mesmo.

Nas Figuras 6 a 8, vemos os resultados dos experimentos realizados em laboratório. Elas representam um canhão disparando elétrons contra um anteparo e uma tela sensível, com o registro do impacto das partículas acumulando-se ao longo do tempo

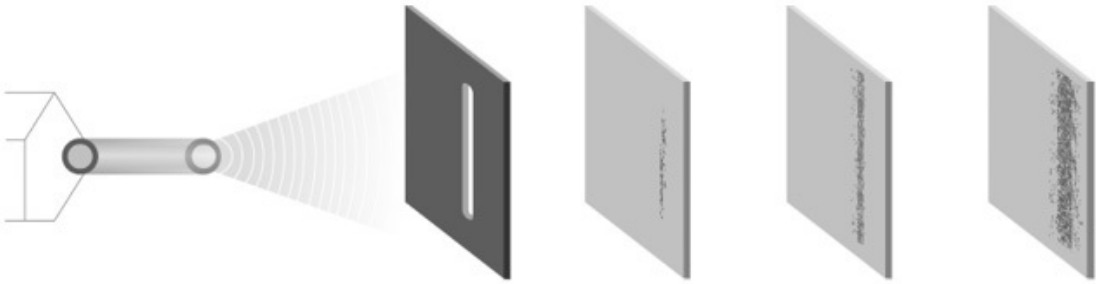


Figura 6 – Com apenas uma fenda aberta no anteparo, vemos as marcas de impacto acumularem-se atrás da passagem.

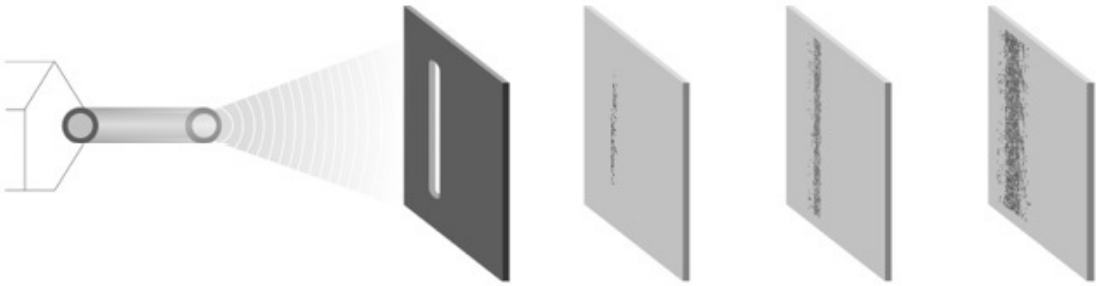


Figura 7 – Abrindo-se uma segunda fenda, enquanto a primeira é fechada, o mesmo padrão se repete, atrás da nova passagem.

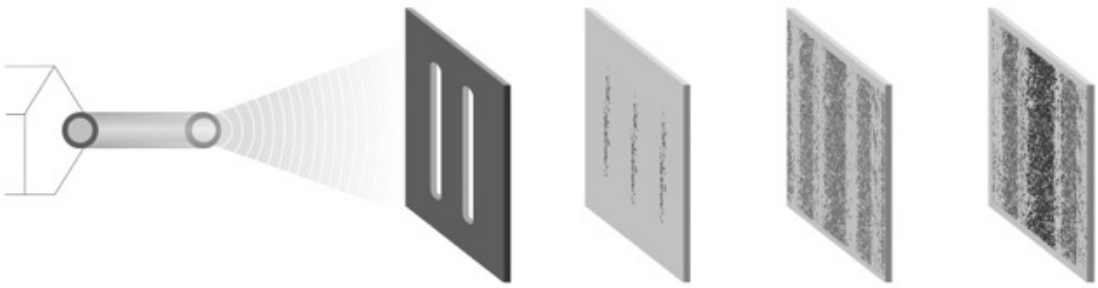


Figura 8 – Com as duas fendas abertas, vemos a formação de um padrão de interferência que é diferente da simples soma das duas condições anteriores.

Para surpresa dos opositores da Interpretação de Copenhague, obtivemos dois padrões de impacto no anteparo – que podemos chamar de P_1, obtido com uma das fendas, que podemos chamar de "1", aberta, e a outra, "2", fechada, e P_2, obtido com a fenda "1" fechada e a "2" aberta – que correspondem a *distribuições de probabilidade* de impacto de elétrons: determinadas regiões do anteparo acumulam mais impactos do que outras. Se os elétrons fossem entidades clássicas, não haveria mistério nenhum: a soma das distribuições P_1 + P_2 seria igual à distribuição P_{12} (lê-se "pê-um-dois"), obtida com ambas as fendas abertas, porque cada elétron teria de passar por apenas uma das duas fendas. Só que essa soma não é igual ao padrão de interferência que vimos antes. Por quê? Lembra-se de quando dissemos (no Capítulo 3) que as funções de onda são números complexos e que só podemos interpretar fisicamente o módulo delas? Pois bem, as distribuições de probabilidade individuais P_1 e P_2 são exatamente o complexo conjugado das funções de onda individuais de cada situação. Elas representam a amplitude – o "tamanho" de cada onda, expresso como um número real, em vez de um número complexo. Vamos usar a letra grega ψ (lê-se "psi") para representar funções de onda.[55] Ou seja:

– Função de onda que descreve a distribuição dos elétrons no anteparo quando somente a fenda 1 está aberta: ψ_1.

– Função de onda que descreve a distribuição dos elétrons no anteparo quando somente a fenda 2 está aberta: ψ_2.

– Distribuição de probabilidade do impacto dos elétrons no anteparo quando somente a fenda 1 está aberta: $P_1=|\psi_1|^2$.

– Distribuição de probabilidade do impacto dos elétrons no anteparo quando somente a fenda 2 está aberta: $P_2=|\psi_2|^2$.

(As barrinhas verticais cercando a letra grega são o símbolo de "módulo", e significam que estamos tomando o valor absoluto do que está dentro delas. Assim, o módulo do número 3 é mesmo 3, mas o módulo do número –5 é 5).

No nosso caso presente, o que ocorre é que a distribuição de probabilidade dos elétrons no anteparo, quando as duas fendas estão abertas, P_{12}, é igual ao quadrado da soma delas. Assim:

$$P_{12}=|\psi_1 + \psi_2|^2$$

Em geral, a soma de dois números ao quadrado é muito diferente do quadrado da soma dos mesmos dois números (nem precisa lembrar muita coisa do Ensino Médio para verificar esse fato, basta fazer $|–5 + 3|^2$ e $|–5|^2 + |3|^2$ para ver a diferença).[56] Por que temos de obter o quadrado da soma em vez de somar os quadrados de cada função de onda? Bem, padrões de interferência na óptica acontecem quando cristas e vales de duas ou mais ondas se superpõem – e essa interferência, construtiva ou destrutiva, vai depender da *fase* de cada onda. É a fase que nos diz se uma onda apresenta uma crista, um vale ou algo intermediário num determinado ponto. Só que a informação sobre a fase de uma só onda se perde quando tomamos o módulo de sua representação matemática e o elevamos ao quadrado. Ou seja, se queremos descrever matematicamente um fenômeno de interferência, não podemos jogar fora a contribuição das fases das diferentes ondas – sem essa informação, *não há* interferência possível. É preciso deixar que as fases de cada função de onda, ψ_1 e ψ_2, sejam somadas para só então tomarmos o quadrado do módulo resultante. Quando procedemos assim, verificamos que P_{12} depende não só da soma $P_1 + P_2$, mas também da contribuição de um "termo de mistura", que leva em conta a diferença de fase entre as ondas provenientes de cada fenda.

Ok, então! Agora sabemos qual é o mecanismo matemático que prevê a formação de um padrão de interferência e entendemos, mais ou menos, por que temos de deixar as duas fendas abertas para obtê-lo. Mas não deixa de ser estranho – *muito* estranho, de fato – que a interferência só apareça quando os elétrons têm de "escolher", de alguma forma, por qual fenda passar. Afinal, se essa "escolha" fosse um fenômeno estatístico aleatório, poderíamos esperar que cada evento de passagem por uma fenda acontecesse de forma isolada e independente de todos os outros.

Dando um contraexemplo do mundo clássico: imagine que você é apresentado ao resultado de uma sequência de dez arremessos de moeda. É fundamentalmente impossível distinguir, apenas com base na série de caras e coroas, se ela foi produzida por dez lançamentos de uma só moeda ou por cinco lances de duas moedas diferentes. Já no caso dos elétrons, a opção por uma ou duas fendas – "moedas", na nossa analogia – gera resultados notavelmente diversos.

Ocorre que há um detalhe sutil oculto no experimento com os elétrons. Dissemos que é possível reduzir a taxa de emissão no feixe, para melhor

acompanhar a formação da figura de interferência. E se arranjarmos o canhão de forma que ele emita apenas *um elétron de cada vez*? Seria intuitivo achar que alguma outra figura surgiria no anteparo; talvez recuperando o padrão $P_1 + P_2$. Lembre-se: padrões de interferência aparecem quando duas ou mais ondas, fora de fase, se superpõem. Se apenas um elétron está sendo emitido, ele teria de passar por uma das duas fendas e, portanto, não teria com o que se superpor. O caráter de difração seria perdido.

Só que não é isso o que a Mecânica Quântica prevê, e não é o que realmente acontece. Mesmo emitindo um único elétron de cada vez, se esperarmos tempo bastante, o anteparo vai registrar a *mesma* figura de difração de antes. Isso significa que o elétron está interferindo *nele mesmo*; analogamente, podemos dizer que o elétron está passando pelas duas fendas *ao mesmo tempo*.[57] Qual é, então, a trajetória do elétron? Como é possível que ele passe pelas duas fendas? Será que é sequer válido fazer perguntas desse tipo? Pela matemática da Mecânica Quântica, realmente não há debate: as funções de onda ψ_1 e ψ_2 precisam interagir entre si para que o padrão de interferência apareça, o que só ocorre com as duas fendas abertas. O preço a pagar por essa interpretação crua das equações é engolir que o elétron pode interferir consigo mesmo.[58]

Essa foi a grande bronca do time contrário à Interpretação de Copenhague. Ora, o elétron é uma partícula fundamental, não poderia se dividir. Pior ainda, podemos *ver* o impacto de cada elétron no anteparo, então mesmo que imaginemos que o elétron se parta entre dois pedaços menores, como diabos haveria ele de se recombinar antes de bater no anteparo? Algumas tentativas foram feitas para reconciliar o resultado experimental com uma explicação filosoficamente confortável, mas nenhuma foi muito longe. No entanto, nem tudo estava perdido: e se pudermos modificar o experimento mais uma vez? E se fosse possível colocar detectores por baixo de cada fenda que registrassem a passagem dos elétrons? Assim seria possível determinar por onde cada elétron passou e, sabendo onde no anteparo ele bateu, reconstruir sua trajetória. Assim, ficaria demonstrado que uma interpretação puramente estatística está incompleta; e que há algo mais por descobrir.[59]

É aí que entra em ação o Princípio da Incerteza.

Quero dizer, ele já estava entrando em ação antes. Os elétrons no feixe estão com o seu momento linear vertical bem-definido (afinal, estão todos andando bonitinhos em linha reta, supostamente com poucos desvios para cima ou para baixo). Só que, a partir do momento em que um elétron encontra as fendas, a incerteza quanto à sua posição se reduz. Podemos não saber por qual das duas

ele passou, mas as chances estão distribuídas entre ambas. E esse pequeno ganho de certeza quanto à posição gera uma ampla *in*certeza na distribuição de velocidades. Por isso, os elétrons são espalhados e, por isso, atingem o anteparo com uma boa abertura angular (veja, na Figura 9, como um ganho de informação sobre qual fenda o elétron atravessa afeta a dispersão). Podemos calcular essa dispersão de momento e estimar a posição dos máximos e mínimos de interferência. Muito bem, muito bom, muito bonito – e se colocamos os tais detectores por trás das fendas? Se isso acontecer, vamos registrar a passagem de cada elétron por uma ou outra fenda, nunca por duas fendas ao mesmo tempo. A-há! Fim do mistério, certo? As duas fendas estão abertas e agora sabemos por onde cada elétron passou! Infelizmente (para os adversários de Copenhague), a figura que se forma no anteparo não é mais o nosso belo padrão de interferência. Ela se assemelha muito mais à distribuição somada $P_1 + P_2$ que obtivemos quando fechamos uma fenda de cada vez. O que está acontecendo? Ora, o localizador de elétrons também funciona como uma "medida", embora certamente não tenha nada a ver com a consciência do operador.[60] Ao sinalizar por onde cada elétron passa, ele está localizando, com bastante precisão, a posição da partícula e, consequentemente, tornando cada vez mais difusa a dispersão de seu momento linear. Seria tentador entender que a luz do detector funciona como uma bola de bilhar batendo em outra e alterando sua trajetória, mas é mais fundamental do que isso: o detector *força* a função de onda do elétron, que antes estava calmamente sobreposta entre as duas fendas, a escolher por qual fenda vai passar – e essa medição causa um colapso. O elétron realmente passa por apenas uma fenda e tudo se dá como se a outra estivesse fechada. O padrão de interferência é perdido.

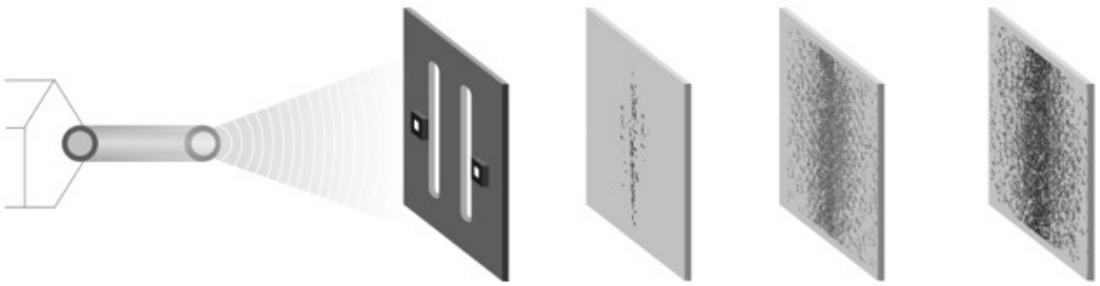


Figura 9 – Com a presença de detectores que determinam por qual fenda cada elétron teria passado, o padrão de interferência (como visto na Figura 8) é destruído.

É possível diminuir a precisão do detector (talvez usando fótons menos energéticos), de maneira que nem todos os elétrons sejam encontrados. O que acontece é que aí temos a formação de uma figura difusa, que não é nem a interferência original, nem a superposição $P_1 + P_2$ de uma fenda fechada de cada vez. Se diminuirmos a intensidade do detector o suficiente, acabaremos por recuperar a figura de interferência, o que demonstra que o Princípio da Complementaridade (que definimos no Capítulo 3) é inescapável.[61] Qualquer alteração que fizermos para detectar a "trajetória real" do elétron, ou de qualquer outra entidade quântica usada no experimento, necessariamente destrói o caráter de difração.

O experimento da fenda dupla é um dos mais elegantes que existem para verificar muitas das sutis e estranhas propriedades da Mecânica Quântica. Não é à toa que numa pesquisa informal com os leitores da revista *Physics World*, em 2002, ele foi votado o "mais belo da Física".

O paradoxo EPR e o Teorema de Bell

Um dos ditados favoritos entre os físicos diz que "o mapa não é o território". Trocando em miúdos, isso significa que ter uma teoria matemática que consiga descrever bem certa classe de fenômenos não significa, necessariamente, compreendê-los. Embora seja um ditado mais usado pelos cosmólogos, cujas teorias sobre o princípio do Universo são tão ricas e variadas quanto são as dificuldades em testá-las experimentalmente, cai como uma luva para qualquer um que pense um pouco sobre Mecânica Quântica. E foi com esse espírito que os críticos da Interpretação de Copenhague seguiram questionando as estranhas implicações filosóficas da teoria. Era uma coisa dizer que entidades microscópicas seguem alguma regra estatística para se organizarem – o estudo das propriedades dos gases só avançou tanto, no século XIX, graças a um tratamento estatístico. Mas tratar partículas subatômicas como abstrações matemáticas? Não, era pedir demais. O mundo ao nosso redor é real. As substâncias têm propriedades definidas. Também fótons, elétrons, prótons teriam que ter alguma engrenagem oculta que explicasse seu comportamento estranho, mas que preservasse o determinismo da Física clássica.

Podemos resumir o desconforto dos críticos da seguinte forma: a função de onda ψ de um estado quântico não prevê o resultado de uma medida – no máximo, dá uma descrição estatística dos resultados de uma possível medição. Antes de realizar o experimento, portanto, não tem sentido perguntar onde a entidade quântica "realmente estava", de acordo com a Interpretação de Copenhague. É como se o próprio ato de medir uma grandeza *criasse* a realidade física. Para um realista, como os críticos da interpretação ortodoxa passaram a ser conhecidos, isso é um absurdo total. Eles diriam que a Mecânica Quântica é forçosamente *incompleta*, pois não é capaz de descrever todas as propriedades e características de um sistema. E assim o debate prosseguiu, por muito tempo.

Num de seus muitos embates com Niels Bohr, Albert Einstein publicou (junto com mais dois colegas, Boris Podolsky e Nathan Rosen) um artigo bombasticamente intitulado "Pode a descrição *quantum*-mecânica da realidade ser considerada completa?",[62] no qual buscava um argumento matador contra a interpretação ortodoxa. O raciocínio de Einstein, Podolsky e Rosen (ou EPR, para abreviar) era mais ou menos assim: é possível criar partículas aos pares, as quais, pelas várias leis de conservação, precisam ter certas características correlacionadas – momento linear, por exemplo. Assim, se um par de partículas for criado, seu estado quântico vai estar *emaranhado* (como dizemos hoje). Deixe as partículas se afastarem a uma distância arbitrariamente grande. Meça o momento linear de uma das partículas e a outra vai necessariamente ter o seu próprio momento definido, sem que precisemos medi-lo. Para o trio EPR, isso não representa problema algum – como realistas, eles acreditavam que cada uma das partículas emaranhadas tinha momento linear bem definido; e que a medida de uma não afetaria em nada as características da outra. Porém, se a interpretação ortodoxa fosse mesmo válida, eles sustentavam que haveria uma "ação fantasmagórica a distância", alguma espécie de campo esquisito, que "informaria" a outra partícula do par emaranhado qual valor de momento linear ela deveria escolher exibir. E, uma vez que as distâncias podem ser arbitrariamente grandes, isso violaria o princípio relativístico que diz que nenhuma informação pode viajar mais rápido que a luz. Ou a interpretação ortodoxa está incompleta ou a Física Quântica é não local.[63] Xeque-mate!

Niels Bohr ofereceu alguns contrapontos ao argumento EPR, sustentando que havia certas dificuldades experimentais com a proposta do artigo, ao mesmo tempo que parecia concordar com Einstein que uma violação da localidade seria "irracional". De fato, num artigo publicado cinco meses depois,[64] Bohr

reafirmou que a estrutura do Princípio da Incerteza impede a observação simultânea de observáveis conjugados, como posição e momento linear, mesmo em pares de partículas emaranhadas – mas não chega a refutar matematicamente o elegante argumento EPR. E assim a coisa ficou por algum tempo.

O Paradoxo EPR, como o argumento acabou ficando conhecido, deu margem a uma série de teorias alternativas à Mecânica Quântica, todas explorando a possibilidade da existência de "variáveis ocultas", que pudessem preservar os resultados da teoria ortodoxa e o princípio da localidade. Mas eis que, em 1964, o irlandês John Stewart Bell matou a charada.

Bell propôs que se tomassem medidas de observáveis complementares em *direções diferentes*. É sabido, por exemplo, que certas partículas exibem um momento angular[65] intrínseco, chamado de *spin*. Elétrons exibem *spins* orientados para cima ou para baixo, dependendo da direção do campo magnético utilizado para realizar a medida. Um par emaranhado elétron-pósitron, portanto, vai ter *spins* anticorrelacionados – se o elétron apresentar *spin* para cima, o pósitron vai apresentar *spin* para baixo, e vice-versa. No jargão técnico, chamamos esse estado quântico de *singleto de spin*. O detalhe aqui é que os campos usados para a medição estão sempre apontando para a *mesma* direção. Bell sugeriu que os campos detectores tivessem orientações diferentes para cada membro do par emaranhado, por motivos que ficarão claros em breve.

De acordo com o Princípio da Incerteza, medidas de *spin* em eixos perpendiculares entre si são *incompatíveis*, assim como velocidade e momento linear, ou seja: se observamos a componente vertical do *spin* de um elétron e encontramos *spin* para cima, segue que uma segunda e imediata medida da componente vertical do mesmo elétron necessariamente vai dar para cima. Mas suponha que na segunda vez se queira medir a componente horizontal do *spin* do elétron. Nesse caso, há chances iguais de medirmos *spin* para baixo ou para cima. O resumo da ópera[66] é que medir o *spin* em certa orientação não tem nada a ver, em princípio, com a medida em uma orientação perpendicular. No caso de pares emaranhados, o raciocínio é o mesmo: medidas de *spin* em direções perpendiculares não necessariamente vão mostrar correlação.

Muito bem, então, se a orientação dos detectores for a mesma, seguramente vamos recuperar a previsão do artigo EPR. Para cada *spin* para baixo detectado, corresponderá um *spin* para cima no outro membro do par emaranhado, e vice-versa. Se definirmos que "para cima" tem valor +1 e "para baixo" tem valor –1, o produto desses *spins* será sempre –1, pois estarão perfeitamente

anticorrelacionados.

Se a orientação dos detectores for antiparalela (por exemplo, um campo aponta para cima e outro, para baixo), os *spins* do par emaranhado estarão sempre perfeitamente correlacionados, pois toda vez que um detector encontrar um elétron com *spin* para cima ou para baixo o outro detector encontrará o pósitron com *spin* na direção contrária – mas o próprio detector também estará na direção contrária. O produto dos *spins* será sempre +1.

Se a orientação dos detectores for perpendicular, pode ou não haver correlação. Cada partícula tem 50% de chance de apresentar *spin* para cima ou para baixo. Há, portanto, quatro casos possíveis: o elétron pode ter *spin* para cima e o pósitron, para cima; o elétron pode ter *spin* para cima e o pósitron, para baixo; o elétron pode ter *spin* para baixo e o pósitron, para cima, ou ambos podem ter *spin* para baixo. O produto dos *spins* em cada caso é, respectivamente, +1; –1; –1; +1. Portanto, a média dos produtos será *zero*.[67]

Bell então se perguntou o que aconteceria se medíssemos o *spin* de um par emaranhando sorteando orientações *arbitrárias* para cada membro do par (imagine que quando cada detector é acionado, gera um campo orientado em 0°, 120° ou 240° a partir da vertical, por exemplo). Se calhar dos dois detectores sortearem a mesma orientação, sabemos que o par emaranhado vai estar com *spins* (anti)correlacionados. Mas se as orientações forem diferentes, então pelo Princípio da Incerteza a correlação entre os *spins*, depois de várias e várias medições aleatórias, deverá ser um número entre –1 (para perfeita anticorrelação) e +1 (para perfeita correlação), podendo inclusive ser zero. E que número é esse? A matemática da Mecânica Quântica garante que o produto dos *spins* do par emaranhado elétron-pósitron vai, na média, dar um certo número real que depende do cosseno do ângulo formado entre os detectores,[68] o que de fato se verifica em laboratório.

A sacada vem agora: *se* os realistas tiverem razão, cada par emaranhado – na realidade, todas as partículas do Universo, emaranhadas ou não – nasce com propriedades bem definidas de momento linear, *spin* etc. O nosso desconhecimento dos valores exatos dessas propriedades não interfere no comportamento delas. Pois bem, Bell assumiu que a hipótese dos realistas estava correta. Ele disse que existe alguma função realista local[69] l (a letra grega “lambda”) que guarda *todas* as informações pertinentes ao estado quântico de uma partícula. *Se* isso é verdade, *então* é possível definir uma função de l para o elétron e outra para o pósitron, de modo que o resultado da medição do *spin* de cada um esteja determinado *antes* que façamos a experiência. E sabendo que o

resultado dessa medição em uma orientação arbitrária só pode ser –1 ou +1, é também possível calcular o valor esperado da média da correlação entre os *spins*. Assim, fazendo apenas essas poucas suposições sobre l, Bell chegou a um resultado *totalmente diferente* daquele previsto pela Mecânica Quântica ortodoxa.

O resultado obtido por Bell é simplesmente devastador. Ele *assumiu* que existem algumas variáveis ocultas que preservam a Localidade, para depois provar que esse raciocínio conduz a um resultado absurdo. Então, se o artigo EPR estiver certo, a Mecânica Quântica ortodoxa não está simplesmente incompleta, ela está *errada*. E se a Mecânica Quântica ortodoxa não está errada, como sabemos que não está, então *nenhuma* teoria com variáveis ocultas locais vai impedir que partículas emaranhadas tenham propriedades correlacionadas não locais.

Consequências do Teorema de Bell

A dúvida imediata que surge é: seria possível violar o limite da velocidade da luz para mandar mensagens instantâneas? Surpreendentemente, não. Se por um lado o emaranhamento quântico parece violar a Teoria da Relatividade, por outro, ele a respeita de maneira sutil. Ainda que a correlação de um par emaranhado seja, para todos os efeitos, instantânea, não temos como *prever* qual será o resultado de uma medida. Assim, de nada adiantaria deixar um membro do par emaranhado aqui na Terra e outro em Marte, digamos: a pessoa que estiver em Marte não vai saber do resultado da medição aqui na Terra, a menos que seja informado por canais usuais. E nem um, nem o outro teriam como modular a detecção de propriedades emaranhadas, para passar alguma espécie de mensagem instantânea. Todas as comunicações precisam seguir por vias normais.

Dessa forma, o principal aspecto da Teoria da Relatividade é preservado – todos os sinais trocados entre observadores precisam observar o princípio da *causalidade*, ou seja, não importa onde estejam ou a que velocidade se desloquem, todos os observadores precisam concordar que causas precedem efeitos. Mesmo a “fantasmagórica ação a distância” de pares emaranhados não viola a causalidade.

E quanto às consequências filosóficas desse resultado? Bem, é possível tentar

construir teorias de variáveis ocultas não locais, uma vez que o Realismo ainda não foi totalmente refutado. De qualquer modo, o Teorema de Bell e sua subsequente verificação experimental sepultaram quase que de vez os sonhos realistas, relegando-os à periferia da Física. Como comentou o físico David Griffiths em seu livro didático *Introduction to Quantum Mechanics*:

> é uma irônica virada do destino que o paradoxo EPR, que assumiu a Localidade para provar o Realismo, conduziu, em última instância, ao repúdio da Localidade e deixou o assunto do Realismo indefinido. Um resultado de que Einstein teria gostado *menos*.[70]

Filosofia, ciência e mistificação

O resumo de um determinado simpósio sobre a psique e a matéria que ocorreu na PUC de São Paulo em 2003 dizia assim, em certo trecho:

> Se a Física Newtoniana pressupunha um objeto a ser estudado fora da psique, a Física Quântica questionou essa "objetividade" e afirmou que toda observação depende da posição do observador, trazendo a subjetividade, da qual a Psicologia tentou tanto se livrar, de volta para a Física.[71]

Tendo em vista o que John von Neumann declarou sobre o papel da consciência no processo de medida, e as intermináveis discussões sobre a interpretação correta da Mecânica Quântica, como exatamente podemos criticar os acadêmicos de Ciências Humanas por falar sobre o que não entendem? A pessoa que escreveu o trecho acima talvez possa ser "culpada" de não seguir com atenção os desenvolvimentos da Física de 1920 até agora, mas não se pode responsabilizá-la por entender de forma errada uma mensagem que os próprios físicos têm dificuldades de entender, quanto mais propagar.[72]

Feynman certa vez teria declarado jocosamente que a "filosofia da ciência é tão útil para os cientistas quanto ornitologia é para os pássaros", uma piada que nunca teve grande sucesso entre os filósofos, mas de que os físicos não cansam de achar graça. A piada atribuída a Feynman talvez tenha aparecido como uma reação a todo o tempo e esforço gastos para tentar extrair algum sentido "real", cósmico ou humano das complexas equações que descrevem sistemas quânticos. Essencialmente, esse é o espírito por trás da segunda epígrafe que

abriu este capítulo. “Cala a boca e calcula!” é menos uma interjeição exasperada e mais uma gentil admoestação dos físicos mais velhos aos jovens que perdem tempo precioso tentando entender por que, trocando em miúdos, o fato de uma moeda lançada para o alto dar cara implica que o outro lado saiu coroa.[73]

Em sua maior parte, a confusão e a aura de mistério que envolvem a Mecânica Quântica vêm do fato de que os próprios físicos levaram décadas – mais de um século e contando – para engolir que, se existe mesmo alguma descrição realista subjacente ao mundo quântico, ela está talvez para sempre fora de nosso alcance. O Universo, em sua constituição mais fundamental, não parece ser determinístico. Mas é claro, existe uma distância considerável entre o Universo não ser determinístico e ser aberto a interpretações “místicas”. Essa é a diferença-chave entre a ciência séria e as picaretagens quânticas que vemos por aí. A ciência reconhece que existem mistérios e faz o possível para elucidá-los. Às vezes o caminho é tortuoso, como esperamos ter deixado claro até agora; e às vezes os próprios cientistas propõem explicações que, em retrospecto, são ingênuas, quando não totalmente *erradas*. Já o misticismo quântico *precisa* do mistério. Ele *precisa* que certas coisas permaneçam indefinidas ou difíceis de interpretar quando comparadas à nossa experiência cotidiana. A picaretagem começa com uma lacuna no conhecimento científico e lá se estabelece, contente em afirmar as mesmas bobagens sentimentais e platitudes de sempre para enganar os incautos e ganhar um dinheirinho. E nenhuma picaretagem quântica é tão perversa quanto aquela praticada em nome da saúde.

Queremos crer que a maioria das pessoas tem bom senso o bastante para procurar um médico de verdade para resolver problemas de saúde de verdade. Recentemente têm aparecido (talvez pela facilidade de encontrar notícias pela internet, mas nunca se sabe) vários casos de gente que deixou de procurar ajuda médica real, preferindo soluções “alternativas” que deixaram consequências funestas. Mas que mal há, alguém pode perguntar, em comprar um colchão magnético quântico para dormir melhor? Certamente ninguém (esperamos) seria tolo a ponto de tratar uma doença séria com um colchão magnético.

Bem, temos dois contrapontos a essa noção. O primeiro é que colchões verdadeiramente terapêuticos *não precisam* de magnetismo para funcionar – até porque eles precisam ser montados para problemas específicos de coluna. A presença de ímãs não vai alterar em nada as propriedades terapêuticas do colchão. O segundo é que, se tanto faz o colchão ser magnético ou não, por que dar dinheiro para alguém que claramente não sabe do que está falando – ou pior,

que está conscientemente mentindo para o público?

No período em que escrevia este capítulo, um dos autores deste livro resolveu ir à praia com a família num domingo de sol. Havia salva-vidas na areia e placas de perigo, pois o mar estava bastante agitado e as ondas batiam forte. Mas ele, confiante em suas décadas de experiência com o mar do Rio de Janeiro, resolveu nadar mesmo assim e passou bastante tempo se divertindo tranquilamente. Até que, perto da hora de ir embora, resolveu entrar mais uma vez no mar para tirar a areia do corpo. Foi quando a maior onda do dia resolveu quebrar em cima dele com *muita* força. Tanta, que ele foi arremessado contra a areia e caiu de mau jeito, torcendo o joelho e o pulso de maneira muito dolorida.

Passado o susto inicial (que rendeu e ainda rende não poucas pilhérias por parte da família e dos amigos), tratou de procurar um médico. O diagnóstico inicial, feito no ambulatório, foi um estiramento do ligamento colateral medial, uma das amarras da articulação do joelho que impede que a perna abra demais, num movimento conhecido como *stress* valgo, e acabe danificando algo mais importante. Para confirmar esse diagnóstico e avaliar a gravidade da lesão, o médico solicitou um exame de ressonância magnética.

Eis a ideia por trás do exame: o corpo humano é composto basicamente de água, que em sua molécula apresenta dois átomos de hidrogênio. Os núcleos desses átomos possuem um momento magnético próprio, como se fossem pequenos ímãs. A máquina de ressonância emite um poderoso campo magnético constante (muito mais forte do que o de qualquer colchão místico apregoado por aí) que faz com que os pequenos ímãs naturais dos prótons do núcleo dos átomos de hidrogênio dentro das moléculas de água de nosso corpo fiquem perfilados, como soldados em formação. Em seguida, outro campo eletromagnético, dessa vez variável, é acionado. A frequência do segundo campo tem o mesmo valor da *frequência de ressonância* do próton, o que faz com que ele absorva fótons dessa segunda radiofrequência, para em seguida emitir fótons ele mesmo. Essa emissão é captada por sensores no aparelho, que a convertem em imagens nítidas do interior de nosso corpo. E, de posse dessas imagens, o médico é capaz de traçar diagnósticos mais precisos e prescrever tratamentos mais adequados. E como é possível construir uma máquina de ressonância magnética? É possível porque os fenômenos que governam seu funcionamento são firmemente calcados nos princípios quânticos que delineamos ao longo deste livro. Não porque a água do corpo foi “harmonizada”. Não porque “frequências positivas” auxiliaram a recuperação. A máquina não cura, apenas processa imagens – mas é um enorme avanço que

auxilia o tratamento de lesões nos tecidos moles do corpo, que não aparecem em raios X (outra ferramenta médica tornada possível graças aos avanços da Mecânica Quântica de verdade).

O joelho ainda doía quase um mês depois do acidente, mas estava em recuperação. E se o tratamento prescrito funcionou, em boa parte foi pelo diagnóstico preciso do médico, graças ao estudo e esforço pessoal dele e aos resultados consistentes da Mecânica Quântica de verdade.

Já admitimos que não sabemos como interpretar a Mecânica Quântica além da simples e crua noção estatística. Reconhecemos que, em grande parte, a Física desistiu de tentar ir além, contente em aceitar que o ferramental matemático dá uma noção compatível com o que vemos na realidade, em nossos experimentos, por mais que tenhamos dificuldade em entender e pôr em palavras o que de fato está acontecendo. Podemos até mesmo desculpar, em parte, os acadêmicos de outras áreas do conhecimento por não terem acompanhado as discussões profundas de 1900 até agora.

Mas não há justificativa possível para quem usa um linguajar obscuro, numa semelhança mínima com o jargão técnico, a fim de confundir e enganar. Até agora, expusemos as diferenças de discurso e de objetivo entre a Mecânica Quântica de verdade e o misticismo *pop*. Chegou, portanto, a hora de destrinchar melhor algumas das táticas que os picaretas quânticos usam para apregoar seus embustes.

50 *The Character of Physical Law*, Modern Library, NY, 1994, p. 123. (Tradução nossa).

51 Geralmente atribuída a Richard Feynman, a ponto de o próprio Mermin duvidar que realmente criara a citação!

52 Enquanto escrevíamos este livro, três pesquisadores britânicos (Mathew F. Pusey, Jonathan Barret e Terry Rudolph) publicaram um artigo, em 2011, mostrando um teorema que diz que a função de onda não pode ter uma interpretação puramente estatística. Se essa descoberta vai abalar o mundo da Física, ou se vai para o depósito das nobres tentativas de derrubar a Interpretação de Copenhague, ainda está para se ver. Disponível em: http://arxiv.org/abs/1111.3328.

53 Em 1964, Feynman deu uma série de sete palestras especiais na Universidade de Cornell sobre o caráter das leis físicas. Um livro foi publicado no ano seguinte e as palestras foram filmadas pela BBC e mais tarde transformadas em livro. A citação vem da palestra n.6, “Probabilidade e Incerteza”. Em 2012 foi publicada uma edição brasileira do livro (*Sobre as leis da física*, editora Contraponto). O conteúdo completo das palestras em vídeo está disponível na internet graças ao bilionário Bill Gates, no que ele chamou de Projeto Tuva.

54 Antes de 1961, experimentos desse tipo só tinham sido feitos com fótons. Claus Jönsson foi o primeiro a reproduzir o resultado com elétrons (Jönsson, C. *Zeitschrifftfür Physik*, 161, p. 454-474. 1961. Há uma versão em inglês facilmente encontrada na internet com o título *Electron Diffraction at Multiple Slits*).

Desde então o experimento foi realizado com outras entidades quânticas – átomos, moléculas e até mesmo com objetos que podemos ver ao microscópio. Disponível em http://202.41.85.161/~mvr/ch412/joens.pdf. Acessado em 29/03/2013.

55 Tanto P quanto ψ (nesse caso) são genericamente funções da posição e do tempo, mas não é preciso entrar nesse nível de detalhe para os nossos propósitos.

56 Para quem continua em dúvida: $|–5 + 3|^2 = 4$ e $|–5|^2 + |3|^2 = 34$. Bem diferente, portanto.

57 Vale lembrar que isso não é uma das famosas "experiências de pensamento" que os físicos tanto gostam (embora tenha começado como uma). Tal fenômeno foi confirmado em 1973 pelos italianos O. Donati, Gian Franco Missiroli e Giulio Pozzi ("An Experiment on Electron Interference", *American Journal of Physics*, 41, p. 639-644). Infelizmente, esse artigo não está disponível gratuitamente.

58 Outra maneira de encarar esse fenômeno é considerar que um sistema quântico simplesmente não tem propriedades bem-definidas antes de uma medida.

59 Mais uma vez, essa modificação começou como uma "experiência de pensamento" e foi confirmada numa experiência de verdade mais tarde.

60 De fato, podemos deixar o aparato funcionando sozinho, ir ao cinema e voltar para descobrir que as marcas no anteparo correspondem à previsão teórica. Nenhuma intervenção consciente (para definições úteis de "consciência") necessária.

61 Inescapável, mas mesmo assim podemos contornar certas limitações. Em 1978, o físico John Archibald Wheeler (orientador de pesos-pesados como Kip Thorne, Bill Unruh e Richard Feynman) propôs um esquema batizado de "apagador quântico", em tradução livre, no qual podemos detectar por qual fenda um fóton passou, porém "apagar" essa informação antes que o fóton atinja o anteparo.

62 A. Einstein; B. Podolsky; N. Rosen. *Physical Review*, n. 47, 1935, p.777. É um artigo famoso, disponível legal e gratuitamente em http://www.drchinese.com/David/EPR.pdf. Acessado em 30/03/2013.

63 Localidade é outro princípio considerado importante numa lei física. Diz-se que fenômenos são locais se um corpo só puder interagir com outro corpo com que esteja em contato, por meio de um campo, por exemplo. Newton teve muitas dores de cabeça quando criou o conceito de força para propor como a gravidade do Sol poderia afetar a Terra de tão longe, e por fim se saiu com o seu famoso *hypotheses non fingo* – "não teço hipóteses" – no "Escólio Geral" de seu livro *Principia Mathematica*. Já Einstein, para quem a ideia de campos não era novidade alguma, propôs a Localidade como consequência do limite de velocidade finita de propagação de informação: um corpo só pode interagir com outro se essa interação viajar, no máximo, à velocidade da luz.

64 Bohr, N. "Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete?". *Physical Review*, n. 48, 1935, p. 696. O artigo de Bohr tem o mesmo título do de Einstein, "Podolsky e Rosen".

65 Na Física clássica, o momento angular é uma grandeza ligada à rotação dos objetos – é a conservação do momento angular, por exemplo, que mantém em pé um pião rodando. O termo "*spin*" reflete essa herança, já que significa "giro", em inglês.

66 Rigorosamente falando, a medida do spin em uma direção colapsa a função de onda do spin para um

autoestado naquela direção, e isso significa um estado 50%-50% nas outras duas direções. A medida em uma direção *obriga* o estado de spin nas outras direções a ser 50%-50%.

67 Para quem não se lembra: a média de um conjunto de valores é a soma desses valores, dividida pelo número de elementos do conjunto. Assim, teríamos:

[(+1)+(–1)+(–1)+(+1)]:4.

Como o total no numerador é zero, a conta toda dá zero.

68 Para quem não tem medo de matemática: P(a,b) = –a.b, onde a e b são os vetores unitários que definem a orientação dos detectores e P(a,b) é a média do produto dos *spins* para aqueles detectores. O produto escalar entre dois vetores, como se sabe, é um número real que depende do cosseno do ângulo entre eles.

69 "Local", no caso, significa: que respeita o limite de propagação da velocidade da luz, isto é, que não transmite informação mais rapidamente do que o permitido pela Teoria da Relatividade.

70 *Op. cit.*, ed. Prentice Hall, Nova Jersey, 1994, p.380.

71 "I Simpósio entre Psiquê e Matéria – Novas Conexões", abertura, pela Profa. Dra. Denise Gimenez Ramos, Núcleo de Estudos Junguianos da PUC-SP, 2003. Disponível em: http://www.pucsp.br/jung/portugues/simposios_eventos/I_simposios.html. Acessado em 30/03/2013.

72 Não é nossa intenção revisitar a "guerra das ciências", que animou muitos debates acadêmicos nos anos 1990 e que colocou em cantos opostos as Exatas e as Humanas. Preferimos apenas lamentar que os campos tenham se afastado tanto um do outro e que, suspeitamos, tenham se tornado mutuamente ininteligíveis. Mas ao menos as Exatas têm a natureza que lhes serve de fiel da balança quando suas especulações ficam estranhas demais...

73 Em última análise é isso que o emaranhamento quântico *significa*, se é que podemos usar essa palavra. Se duas partículas estão emaranhadas, a medida de uma forçosamente implica a determinação do estado complementar da outra, tal como uma moeda atirada para o alto que dá cara necessariamente implica que, do outro lado, está a coroa.

CAPÍTULO 6

GUIA DE DEFESA PESSOAL CONTRA OS PICARETAS QUÂNTICOS

Em nossa publicidade, afirmamos que as pulseiras Power Balance melhoram a força, o equilíbrio e a flexibilidade.
Admitimos que não existe evidência científica digna de crédito que apoie nossas alegações, e portanto estivemos envolvidos em conduta enganosa.[74]

Se você tem um *smartphone*, talvez já tenha encontrado um aplicativo em oferta chamado QuantumH (o "H", parece, é de "*harmony*", ou "harmonia", mas também é um trocadilho entre "*aitch*", o nome da letra agá na língua inglesa, e "*age*", ou "Era"). Ele promete usar o poder da Mecânica Quântica para pôr sua vida em harmonia com o Universo, das seguintes maneiras:

– *Ajuste de frequências*: o aplicativo gera uma sequência de *flashes* coloridos na tela do telefone que produz uma interferência construtiva entre as ondas do seu organismo e as ondas positivas do campo de consciência cósmico, ao mesmo tempo que interfere de forma destrutiva com as ondas negativas.

– *Intuição amplificada*: a famosa "ação fantasmagórica a distância" descrita por Einstein permite que partículas quânticas troquem informações entre si instantaneamente, mesmo se separadas por anos-luz de distância. O poder harmonizador do QuantumH sintoniza sua mente com esse fluxo quântico de dados e permite que você capte fatos, impressões e ideias que estão "no ar" com maior facilidade.

– *Poder da atração*: quando as ondas da sua mente entram em harmonia com as ondas daquilo que você deseja (lembre-se, de acordo com a Física Quântica, todos os objetos e objetivos são, na verdade, feitos de ondas), fica muito mais fácil atrair para a sua vida aquilo que você busca.

– *Banco de probabilidades*: as ondas da Mecânica Quântica codificam probabilidades – suas chances de conseguir o emprego dos seus sonhos ou de fazer aquela viagem inesquecível, por exemplo. O que pouca gente sabe é que, de acordo com a Interpretação dos Muitos Mundos, nenhuma probabilidade desaparece de fato: todas as oportunidades codificadas na onda

quântica continuam a existir. Com o QuantumH, esses “caminhos não percorridos” continuam sempre a existir como potenciais ao seu alcance.

Esperamos que quem quer que tenha ficado conosco até aqui esteja fundamentalmente escandalizado com os parágrafos acima e se pergunte se uma página de um livro de um mago indiano não entrou nesta encadernação por engano. Para a tranquilidade de corações e mentes, deixamos claro que o QuantumH *não existe*. Inventamos o aplicativo para dar ao leitor uma ideia dos apelos errôneos – quando não fraudulentos – feitos por aí a respeito dos efeitos “milagrosos” que poderiam, supostamente, ser obtidos por meio da Mecânica Quântica.

O *quantum* nos deu maravilhas como os transistores, que são a alma dos *chips* que fazem funcionar computadores e celulares; também permitiu a criação do raio laser que lê CDs e DVDs. Pesquisadores têm a esperança de usar as propriedades do mundo quântico para criar computadores capazes de ir muito além das máquinas atuais. Mas cada um desses avanços foi resultado dos esforços de cientistas e engenheiros trabalhando com os pés firmemente fincados dentro do “paradigma científico materialista” que o misticismo quântico tanto desdenha.

Neste capítulo, procuraremos explicitar alguns indicadores que permitem suspeitar – quando não, concluir – que o nome e o jargão do *quantum* estão sendo invocados de modo ilegítimo, como uma cortina de fumaça para encobrir alegações que nada têm a ver com fatos reconhecidos pela ciência.

Ao preparar este guia, tivemos o cuidado de tentar separar o que são afirmações pseudocientíficas gritantes do que não passa de mero uso metafórico dos termos usuais da ciência.

Metáforas, é claro, podem ser boas ou ruins, pertinentes ou nem tanto. Às vezes, a apropriação indébita da linguagem científica gera resultados interessantes, como nos versos “O estudo da paixão pura – permanentemente limitado / Equação agora está na moda? Amor = dois idiotas ao quadrado”, do poema humorístico “A Teoria Quântica do Amor”, de Tom Cordle.[75] Outras vezes, o resultado é mais duvidoso, como numa definição de “empresa quântica” que encontramos na internet: “A empresa quântica é curva, natural, global, imprevisível, flexível, integrada”.[76] (Se alguém tiver uma definição inteligível de “empresa curva”, para além de uma empresa instalada num prédio projetado pelo Oscar Niemeyer, escreva para nós.)

Abaixo, nossa lista de sinais de alerta de que o nome da Mecânica Quântica

está sendo usado de um modo menos que legítimo. Se quiser depois fazer o exercício de reler o início do capítulo, você reconhecerá todos eles na "peça publicitária" que criamos:

A Mecânica Quântica diz que seu corpo e sua mente são feitos de ondas; o produto "quântico" X é útil porque harmoniza essas ondas.

Sem nem entrar no mérito de o que "harmonizar" poderia querer dizer nesse contexto, é importante notar que embora, sim, as partículas que compõem o corpo humano possam ser descritas como ondas, essa possibilidade é, para todos os efeitos práticos, meramente acadêmica. Qualquer objeto material pode ser tratado como um conjunto de ondas, e as interações entre as ondas dos objetos e as ondas de seu corpo têm a forma das interações normais a que você está acostumado: as ondas que compõem este livro estão interagindo com as ondas do seu corpo quando você o segura. Em outro exemplo, o resultado da interação das ondas de seu pé com as de uma bola de futebol é o que chamamos de chute.

Em linhas gerais, a ideia de que o destino humano pode (ou precisa) ser harmonizado com o Universo faz parte de um conjunto de ideias religiosas e filosóficas que preconiza a existência de um fluxo privilegiado para os eventos no mundo – que pode ser chamado, entre outras coisas, de destino ou, para os fãs da nomenclatura oriental, *tao* – e que identificar e seguir esse fluxo, sem lhe oferecer resistência, é o caminho para a felicidade. Isso tudo pode ser ou não verdade, mas o fato é que nem o destino nem o *tao* aparecem nas equações da Mecânica Quântica.

A Mecânica Quântica diz que tudo o que existe são probabilidades, o que significa que nada é impossível.

"Tudo o que existe são probabilidades" é uma interpretação possível da descrição quântica do Universo, mas de modo algum é a única interpretação levada a sério pelos cientistas. Além disso, é preciso ter em mente que as diferentes probabilidades dos fenômenos quânticos interferem entre si, tornando alguns resultados virtualmente inevitáveis, ao passo que outros passam a ser efetivamente impossíveis.

Exemplo: os físicos britânicos Brian Cox e Jeff Forshaw fizeram cálculos,[77] usando as regras matemáticas da Mecânica Quântica, e concluíram que para

observar um grão de areia se desmaterializar espontaneamente e reaparecer a apenas quatro centímetros de sua localização original seria preciso aguardar um tempo superior a dez vezes a idade atual do Universo. Portanto, uma pessoa não está realmente errada quando diz que um grão de areia – ou um diamante, ou uma Ferrari, ou um pinguim – sumir de repente e ressurgir espontaneamente em outro lugar é um evento *impossível*.

Ademais, é preciso lembrar que, quando uma interação (ou "observação") ocorre, todas as probabilidades codificadas na função de onda desaparecem, restando apenas o resultado certo e concreto do experimento. Mesmo na Interpretação dos Muitos Mundos, o que supostamente ocorre é uma segregação radical dos diferentes resultados: cada um deles se concretiza num Universo diferente, e não há como ocorrer interferências entre esses Universos.

Pensamentos são feitos de ondas, e os objetos no mundo são feitos de ondas, portanto os pensamentos podem atrair/repelir/controlar objetos.

Esse raciocínio é tão válido quanto dizer que tsunamis são feitos de ondas, e telefones celulares emitem ondas, logo celulares atraem/repelem/controlam tsunamis. Para além do erro lógico, no entanto, há algumas falhas na caracterização do pensamento como "onda". Pensamentos são resultados do funcionamento de células no cérebro, e parte desse funcionamento envolve o movimento de cargas elétricas. Esse movimento gera ondas eletromagnéticas que podem ser captadas por um eletroencefalograma, mas não é correto dizer que as ondas "são" os pensamentos, quando na verdade parecem ser apenas um subproduto. E mesmo se as ondas realmente fossem pensamentos, sabemos que a energia transmitida por elas cai com o quadrado da distância – o que significa dizer que, quando dobramos a distância que nos separa do interior do crânio pensante, a energia recebida se reduz a um quarto. Se gerasse energia suficiente para que suas ondas pudessem afetar objetos materiais distantes, o cérebro provavelmente brilharia como uma lâmpada acesa. Esse mito é muito parecido, ainda que não idêntico, ao próximo, extremamente popular na literatura de autoajuda:

A Mecânica Quântica valida o "princípio da atração", pelo qual o que você pensa é atraído para você, seja bom ou mau.

Já tratamos um pouco da questão do "poder do pensamento positivo" em

outras partes deste livro, mas não custa repetir: o *quantum não tem nada a ver com isso*. Das várias interpretações da Mecânica Quântica que disputam, a sério, a atenção dos cientistas, não há nenhuma que diga que as intenções humanas permitem controlar a realidade.

Mesmo na hipótese de que a observação consciente tenha algo a ver com o colapso da função de onda (uma hipótese que não faz parte de nenhuma teoria científica), esse colapso é sempre *aleatório*: os desejos humanos não têm nenhum peso no resultado final da movimentação quântica.

É verdade que um pesquisador pode preparar o experimento de modo a obter um resultado preconcebido, mas isso é o mesmo que dizer que um cozinheiro pode preparar a receita para obter um prato desejado. Não há nada de mágico ou misterioso nisso.

Ao permitir comunicação acima da velocidade da luz, a Mecânica Quântica torna plausíveis fenômenos como premonição e telepatia.

A questão do emaranhamento quântico, um fenômeno que pode ser descrito como uma ação instantânea de uma partícula sobre outra, mesmo quando a separação entre elas é enorme, vem sendo muito explorada por propositores de certos fenômenos ditos paranormais, mas essa exploração ignora um dado fundamental: em nenhum dos experimentos que confirmaram a realidade do emaranhamento houve a transmissão de informação inteligível acima da velocidade da luz.

Basicamente, se duas partículas estão emaranhadas, então é verdade que uma mudança numa delas parece afetar a outra no mesmo instante; mas, para saber que a partícula receptora foi afetada, o cientista precisa realizar uma observação, o que destrói o emaranhamento. Assim, antes de checar o estado da partícula receptora, o pesquisador deve ter certeza de que a partícula emissora foi manipulada, sob pena de "melar" o experimento. Como ele faz para checar isso? Perguntando ao cientista responsável pela emissão. E essa troca de pergunta e resposta tem de acontecer por canais normais, dentro dos limites usuais do mundo físico, incluindo o imposto pela velocidade da luz.

A Mecânica Quântica requer que mudemos de modo radical nossa forma de encarar a medicina/a política/a administração de empresas/a economia/a ética/a literatura/o meio ambiente/o sexo/etc.

Muitas pessoas acreditam que a visão instrumental que nossa civilização tem do mundo e dos processos que acontecem nele precisa mudar, se quisermos garantir a sobrevivência de nossa espécie e a preservação de valores que nos são caros. Essas pessoas talvez estejam certas, e é possível enumerar vários motivos plausíveis para revermos o modo como nos relacionamos com outras pessoas e com o mundo natural... Mas a Mecânica Quântica *não é* um desses motivos.

Algo que é preciso ter em mente, quando se fala sobre uma teoria científica, é o fato de que toda teoria, para ser bem-sucedida – e o *quantum* é a teoria mais bem-sucedida de todos os tempos –, precisa ser compatível com a experiência humana. *Toda* a experiência humana. Uma teoria que funcionasse perfeitamente bem quando aplicada a elétrons e fótons, mas que, por exemplo, previsse que o ferro é um gás à temperatura ambiente, seria um fracasso retumbante.

Isso significa que o mundo clássico-newtoniano em que nos movemos entre a cama e o trabalho, e de volta, não se contrapõe ao mundo quântico – mas é, de fato, uma *consequência* dele. Quando alguém diz que não existe matéria sólida, mas apenas configurações de elétrons no espaço vazio, essa pessoa está perdendo um *insight* fundamental: o de que certas configurações de elétrons no espaço vazio são exatamente o que nós, assim como nossos ancestrais faziam antes de nós, chamamos de “matéria sólida”. O chão não se desmancha porque, de repente, nos damos conta das enormes distâncias que existem entre os núcleos dos átomos.

Se hoje sabemos que é um fenômeno quântico, chamado Princípio da Exclusão de Pauli, que nos impede de passar através das paredes, sabemos algo que nossos antepassados não sabiam. Mas as paredes não ficaram menos impenetráveis por causa disso.

É claro que a descoberta da realidade quântica trouxe transformações para o mundo – mas essas transformações têm mais a ver com as tecnologias desenvolvidas com base no *quantum* do que qualquer outra coisa.

Futuro quântico

Questões filosóficas importantes certamente foram levantadas e continuam em debate, mas suas implicações dizem muito mais respeito à forma como os cientistas encaram seu trabalho e os resultados de seus experimentos do que com qualquer transformação radical do mundo em que vivemos.

As mudanças radicais derivadas da Mecânica Quântica vieram, e continuam vindo, não da cabeça dos filósofos e dos intérpretes místicos da teoria, mas, sim, dos engenheiros e cientistas que a puseram em prática.

Por exemplo, uma revolução tecnológica que parece estar cada vez mais próxima é a da *Computação Quântica*. Pesquisadores que trabalham nessa área buscam construir um computador que funcione manipulando *bits* quânticos, os chamados "*qubits*".

Computadores clássicos, como o que usamos para escrever este livro, operam por meio de *bits*, unidades binárias de informação que podem assumir dois estados, 0 ou 1. Tudo o que um computador faz se resume, no fundo, a criar longas cadeias de zeros e uns, e a transformar uns em zeros e zeros em uns. Essas cadeias e transformações depois são interpretadas como sons, imagens ou o resultado de operações matemáticas.

Numa foto digital, digamos, uma determinada configuração de zeros e uns pode representar a ordem "pinte este ponto de azul", transmitida ao monitor do seu *tablet* ou *laptop*.

O inconveniente de operar com *bits* clássicos surge quando computadores precisam testar várias soluções para um mesmo problema antes de chegar à resposta correta – por exemplo, para tentar encontrar o melhor caminho entre dois pontos em um mapa. Nesse caso, várias cadeias de *bits*, cada uma correspondendo a uma solução possível. No caso dos *qubits*, porém, isso não é necessário: uma só cadeia de *qubits* poderia codificar várias soluções diferentes ao mesmo tempo. Como? Mantendo os *bits* numa *sobreposição de estados*, como as que discutimos nos Capítulos 3 e 5. Da mesma forma que um só elétron pode passar por duas fendas ao mesmo tempo, um *qubit* pode ser zero e um, simultaneamente.

Sustentar a sobreposição durante o processamento dos dados é uma operação delicada, mas operações simples envolvendo pequenos números de *qubits* já foram realizadas em laboratório. É assim, com trabalho e pesquisa, e não por meio de cursos de autoajuda e do poder do pensamento positivo, que a estranheza do mundo quântico se converte em benefícios para a humanidade.

74 Nota publicada no site australiano das pulseiras Power Balance, por determinação dos órgãos de defesa do consumidor daquele país. A decisão da Comissão Australiana de Defesa do Consumidor contra as pulseiras foi tomada em dezembro de 2010, e está disponível online aqui: http://transition.accc.gov.au/content/index.phtml/itemId/964065. Acessado em 30/03/2013. Desde então, o distribuidor australiano das pulseiras fechou seu negócio e o site saiu do ar, mas um print-screen da página com o desmentido pode ser encontrado aqui: http://gizmodo.com/5723577/powerbalance-admits-their-wristbands-are-a-scam. Acessado em 30/03/2013.

75 Pode ser lido na íntegra em:
http://open.salon.com/blog/tom_cordle/2009/03/08/the_quantum_theory_of_love. Acessado em dez./2011.

76 Obtida em: http://www.nbz.com.br/arquivos/empresaquantica.pdf. Acessado em dez./2011.

77 *Quantum Universe: Everything that Can Happen Does Happen*. Penguin Books, edição ebook de 2011, sem numeração de página.

UMA DISCRETA CONCLUSÃO

No que tange a átomos, a linguagem só pode ser usada como poesia.
Niels Bohr[78]

Por Daniel Bezerra

Lidar com as estranhas consequências da Mecânica Quântica é uma tarefa complicada, para dizer o mínimo. Analogias falham. A linguagem cotidiana é inadequada. Sem uma compreensão ao menos razoável de conceitos de Matemática – incluindo coisas assustadoras como espaços de Hilbert, funções de Bessel, polinômios de Legendre etc. –, o panorama quântico parece ainda mais impenetrável que o normal.

Mesmo com todas essas dificuldades conceituais, acredito que cumprimos bem o propósito deste livro, que era mostrar a você que Mecânica Quântica pode não ser uma coisa *simples* de entender, mas que seus resultados estão à nossa volta. A Mecânica Quântica pode ser estranha, realmente, mas o fato é que *funciona*. Podemos não ser capazes de prever o resultado exato de uma medição; podemos nem sequer saber descrever fisicamente o que *significa* fazer uma medição, mas somos capazes de prever *qual o espectro de resultados possíveis* para cada fenômeno dado, e mesmo essa informação aparentemente incompleta já nos possibilita produzir uma vasta gama de aplicações úteis para a vida cotidiana e macroscópica. Do estudo e do esforço de gerações de físicos, matemáticos e engenheiros nos últimos 112 anos, o mundo veio a conhecer uma série de maravilhas que antes mal podiam ser sonhadas.

No Capítulo 5 falamos brevemente dos exames de ressonância magnética e como é possível usar efeitos quânticos para obter imagens precisas dos tecidos moles do corpo humano, auxiliando no diagnóstico dos médicos. Outras técnicas de imagem, como a tomografia computadorizada, também se utilizam de efeitos quânticos. Microscópios de tunelamento eletrônico e diodos túneis só são possíveis graças ao efeito túnel – elétrons são capazes de “furar” barreiras de potencial muito altas, e aparecer em regiões que, pela teoria clássica, seriam proibidas a eles. Qualquer ímã, aliás, só funciona porque o magnetismo é um

fenômeno essencialmente quântico. O raio laser, que apareceu quase como uma curiosidade e hoje é usado, literalmente, para centenas de finalidades diferentes, é consequência direta da Mecânica Quântica. Eu poderia seguir listando inúmeros exemplos, mas acho que você já tem uma boa ideia.

Niels Bohr certa vez declarou que o papel da Física não era o de dizer como a natureza *é*; e sim o que *podemos dizer* sobre a natureza. Eu não iria tão longe quanto o velho mestre, mas a tese central do livro certamente se aproxima dessa interpretação: a Física admite que não sabe interpretar em termos cotidianos o "significado" da Mecânica Quântica, se é que ela tem um. Até hoje há debates animados na comunidade científica sobre como deveríamos enxergar o mundo microscópico. Mesmo cientistas de renome como Albert Einstein e John von Neumann cometeram erros ao tentar pressupor que o mundo quântico *deveria* se comportar dessa ou daquela maneira.

E em meio a tudo isso, temos os "picaretas quânticos": gente que acha que, por "incompreensível" e "insondável", cabe qualquer interpretação mística na Mecânica Quântica. Tentar comparar o enorme sucesso empírico da Teoria Quântica com as analogias místicas que andam em voga é, para ser gentil, um grande equívoco. Do relativamente inofensivo Gary Zukav ao misticismo confuso de Amit Goswami, passando por vendedores de platitudes açucaradas como Deepak Chopra, a verdade é que o Universo não liga a mínima para o que achamos que ele deveria ser. Para o bem ou para o mal, o que acontece em nossas vidas depende em grande parte do acaso, mas também em grande parte de nosso esforço pessoal.

Este livro nasceu de uma conversa informal que tive com Carlos Orsi pelo Twitter em 2010. Na época, ele era o blogueiro de ciências do jornal *O Estado de São Paulo*, e eu costumava comentar várias de suas matérias. Certa vez mostrei a ele o *link* de uma notícia informando que o japonês Masaru Emoto – notório por sua "teoria" sobre os estados emocionais da água – vinha ao Brasil para dar uma série de palestras. Lamentamos, zombamos, rimos; e eu lhe disse que deveríamos escrever um livro sobre tais picaretagens. Para minha surpresa, ele respondeu com um "deveríamos mesmo!" e assim o projeto surgiu. Da concepção inicial até aqui foram longos meses de incerteza, seguidos de expectativa e do nosso árduo trabalho. O resultado está posto. Espero que tenha sido tão proveitoso para você quanto foi para nós. Se tivermos feito nosso trabalho direito, você terá percebido que Mecânica Quântica e misticismo quântico são ainda mais incompatíveis do que momento linear e posição.

E que, no fim das contas, ainda vale aquela máxima: ajuda-te, que o Céu te

ajudará.

Por Carlos Orsi

A Mecânica Quântica, muito provavelmente, está no seu bolso. E não se trata de figura de linguagem: são as equações criadas pelos físicos na tentativa de domesticar – "domar" talvez seja uma palavra melhor – fenômenos tão contraintuitivos quanto o Princípio da Incerteza e a dualidade onda-partícula que permitiram que equipamentos como o celular, capaz de armazenar *gigabytes* de músicas e *e-mails*, fossem projetados e construídos.

É da interação entre o *spin* dos elétrons e a orientação de campos magnéticos – do que vimos um pouco em nossa discussão do Teorema de Bell, no Capítulo 5 – que emerge a chamada "magnetorresistência gigante", fenômeno que permitiu a criação das minúsculas memórias eletrônicas que carregamos por toda parte com nossas *playlists* particulares. Cientistas brasileiros, aliás, tiveram uma participação importante na descoberta desse fenômeno, muito embora o Prêmio Nobel correspondente não tenha vindo para o país.

E muito antes dos *smartphones*, tinha sido o efeito fotoelétrico desvendado por Einstein, nos primórdios da revolução quântica, que permitira o surgimento da televisão.

O fato de sermos capazes de usar tão bem a Mecânica Quântica sem, de fato, entendê-la não deveria surpreender ninguém: a humanidade usou o fogo com grande eficiência durante milênios, antes que alguém tivesse uma ideia clara do que uma combustão realmente é. E, num provável indício de que a natureza humana é um osso duro de roer, durante boa parte desses milênios as pessoas não só acreditaram em, mas também buscaram manter relações amistosas com deuses do fogo, espíritos do fogo, demônios do fogo.

Hoje, de modo análogo, temos espíritos, deuses e demônios quânticos, ainda que a maioria das pessoas se imagine sofisticada demais para usar termos tão crus. Mas a reverência, os sacrifícios e as orações ainda estão por aí, mesmo que em nova roupagem.

No fundo, o misticismo quântico denota uma arrogância que é bem típica do mundo contemporâneo. Ou das últimas cinco décadas, pelo menos.

Como já notaram alguns historiadores da Filosofia, na Grécia Antiga, o argumento dos céticos – uma escola filosófica que afirmava que é impossível

obter qualquer tipo de conhecimento seguro – era usado como advertência para que as pessoas não se fiassem demais em seus conceitos e preconcepções.

Hoje em dia, ao menos desde o início da chamada onda *New Age*, o mesmo argumento é usado como desculpa para se agarrar firmemente a qualquer tipo de conceito ou preconcepção: *é impossível saber se estou certo* vira é *impossível saber que estou errado*, uma espécie de salvo-conduto intelectual para que se abrace qualquer ideia, e uma interdição contra qualquer tipo de crítica racional.

Da mesma forma, o estado atual da Mecânica Quântica, ao sugerir que a realidade pode sofrer de uma indeterminação fundamental, não parece inspirar sentimentos de espanto ou humildade, mas o oposto: a tentação de se pôr o ego humano no papel de Grande Determinador. Para escritores de autoajuda, é um meio fácil de adular o leitor e, ao mesmo tempo, de culpá-lo quando os clichês de sempre não funcionam.

A consciência humana é o centro de nossas vidas e preocupações cotidianas, mas não há motivo algum para pô-la, também, no centro do cosmo. Fazer isso é negar o que talvez seja a principal contribuição da ciência para a compreensão filosófica do lugar do homem no Universo: um animal feito de poeira de estrelas, irmão das árvores, dos sapos e das bactérias, habitando a periferia de uma galáxia igual a bilhões de outras, tentando, como uma criança que cata conchas na praia e pondera o mar, entender a imensidão.

78 Giles, S. (ed). “Theorizing Modernism: Essays in Critical Theory”. Nova York: Routledge, 1993, p. 28. (Tradução nossa)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

"I Simpósio entre Psiquê e Matéria – Novas Conexões". Abertura, pela Profa. Dra. Denise Gimenez Ramos, Núcleo de Estudos Junguianos da PUC-SP, 2003. Disponível em: http://www.pucsp.br/jung/portugues/simposios_eventos/I_simposios.html. Acessado em 30/03/2013.

Bohr, N. "Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete?". *Physical Review*, n. 48, 1935.

Chopra, D. *Quantum Healing: Exploring the Frontiers of Mind/Body Medicine*. New York: Bantam Books, 1989.

Chopra, D. e Mlodinow, L. *War of the Worldviews: Where Science and Spirituality Meet – and Do Not*. New York: Harmony Books, 2011.

Cox, B. e Forshaw, J. *Quantum Universe: Everything that Can Happen Does Happen*. Penguin Books, edição ebook de 2011, sem numeração de página.

Einstein, A.; Podolsky, B.; Rosen, N. *Physical Review*, n. 47, 1935. Disponível em http://www.drchinese.com/David/EPR.pdf. Acessado em 30/03/2013.

Einstein, A; Stachel, J. (ed.). *Einstein's Miraculous Year: Five Papers that Changed the Face of Physics*. Princeton: Princeton University Press, 2005.

Feynman, R. The Character of Physical Law. New York: Modern Library, 1994.

Ford, K. W. *101 Quantum Questions*. Cambridge: Harvard University Press, 2011.

Giles, S. (ed.). *Theorizing Modernism: essays in critical theory*. Nova York: Routledge, 1993.

Goswami A, Reed RE. The Self-Aware Universe: How Consciousness Creates the Material World. New York: Jeremy P Tarcher/ Putnam, 1993.

Kunh, T. *The Copernican Revolution*. Cambridge: Harvard University Press,

1957.

Lovecraft, H.P. *At the Mountains of Madness and Other Novels*. Sauk City, Wisconsin: Arkham House, 1985.

Michelson, A. *Light Waves and Their Uses*. The University of Chicago Press, 1903.

Pusey, M.F., Barrett, J; Rudolph, T. “On the reality of the quantum state”. *Nature Physics* 8, 2012, p. 475-478.

Turnbull, H. W. *The Correspondence of Isaac Newton.* vol. 1. 1661-1675. New York: Cambridge University Press, 1959.

Zukav, G. *The Dancing Wu Li Masters*. New York: Harper-Collins, 2009.

Sites consultados

“The Savoy Theatre”. From *The Times*, Thursday, December 29, 1881. Disponível em: http://math.boisestate.edu/GaS/carte/savoy/electric.html. Acessado em 29/03/2013.

“Laser interference”. Disponível em: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Laser_Interference.JPG#globalusage. Acessado em 30/03/2013.

“Early writings of Charles Darwin”. Disponível em: http://darwin-online.org.uk/content/frameset?pageseq=1&itemID=F1582&viewtype=text. Acessado em 30/03/2013.

“Reflections of a physicist”. Disponível em: http://archive.org/details/reflectionsofaph031333mbp. Acessado em 30/03/2013.

“Power Balance Australia Pty Ltd”. Disponível em: http://transition.accc.gov.au/content/index.phtml/itemId/964065. Acessado em 30/03/2013.

“Power Balance admits their wristbands are a scam”. Disponível em: http://gizmodo.com/5723577/powerbalance-admits-their-wristbands-are-a-scam. Acessado em 30/03/2013.

“The quantum theory of love”. Disponível em: http://open.salon.com/blog/tom_cordle/2009/03/08/the_quantum_theory_of_love Acessado em dez./2011.

“Project Tuva: Enhanced video player home”. Disponível em: http://research.microsoft.com/apps/tools/tuva/. Acessado em 30/03/2013.

“What the Bleep Do We Know” (no Brasil, “Quem Somos Nós?”), 2004, documentário dirigido por William Arntz, disponível no YouTube: http://www.youtube.com/watch?v=ioONhpIJ-NY. Acessado em 29/03/2013.