

## Nota da edição brasileira

Richard P. Feynman (1918-1988) foi um cientista genial que se notabilizou por sua personalidade espontânea e espirituosa. Deu importantes contribuições à física em diversas áreas. Foi um dos visionários da nanociência e da computação quântica. Seus trabalhos mais importantes tratam das partículas elementares, com destaque para a teoria da eletrodinâmica quântica, que unificou o eletromagnetismo, a mecânica quântica e a teoria da relatividade restrita e lhe valeu o Prêmio Nobel de 1965. Sua invenção dos “diagramas de Feynman” ajudou enormemente a execução de sofisticados cálculos matemáticos nas teorias das partículas elementares.

Feynman passou vários meses no Brasil na década de 1950, quando interagiu com cientistas brasileiros e desfilou no carnaval carioca, tocando frigideira na bateria da Mangueira. Logo que recebeu o convite para visitar o Brasil começou a estudar espanhol, mas depois aprendeu português. Aqui, deu várias palestras, em especial uma sobre o ensino de física no Brasil, que teve grande repercussão. Sempre arranhou tempo para se divertir, fora da academia, realizando conquistas amorosas, descobrindo segredos de cofres, desenhando nus, decifrando a escrita maia e tocando bongô, entre outras excentricidades. Gênio iconoclasta, até hoje tem merecido inúmeras biografias. Suas memórias foram traduzidas e divulgadas no mundo inteiro.

*Sobre as leis da física* é um conjunto de palestras em que ele fala das leis da natureza: como devem ser descobertas, estabelecidas, reavaliadas, modificadas e generalizadas. Elas mantêm grande interesse, pois oferecem uma discussão simples, elegante e até filosófica das leis científicas usadas na descrição da natureza, na visão de um dos maiores cientistas do século XX.

*Nelson Studart e Marcel Novaes*

## Introdução

*Paul Davies*

Os historiadores da ciência acham chique dedicar atenção ao significado das revoluções científicas. Cada revolução é acompanhada de um conjunto dos chamados gênios — homens e mulheres cujas habilidades e imaginação forçam a comunidade científica a abandonar velhos hábitos de pensamento e abraçar conceitos novos e desconhecidos. O gênio é um fenômeno muito estudado. Menos atenção se dá ao que se poderia chamar de estilo. Contudo, no progresso científico, mudanças no estilo de trabalho podem ter um impacto tão grande quanto o gênio convencional.

Richard Feynman tinha gênio e estilo pouco convencionais. Nascido em 1918, chegou tarde para participar da época de ouro da física, que nas três primeiras décadas do século XX transformou nossa visão do mundo com as revoluções gêmeas da teoria da relatividade e da mecânica quântica. Esses desenvolvimentos arrebatadores lançaram os alicerces do edifício que hoje chamamos nova física. Feynman partiu desses alicerces e ajudou a construir o andar térreo da nova física. Suas contribuições, que alcançaram quase todos os temas, tiveram uma influência profunda e duradoura na maneira como os físicos pensam.

Feynman ficou conhecido por seu trabalho em física de partículas, mais especificamente no tópico denominado eletrodinâmica quântica, ou QED.\* Esse problema deu origem à teoria quântica. Em 1900, Max Planck propôs que a luz e outras radiações eletromagnéticas, até então vistas como ondas, deveriam ser consideradas como pequenos pacotes de energia, ou *quanta*, quando interagissem com a matéria;\*\* esses *quanta* ficaram co-

---

\* Da sigla em inglês para Quantum Electrodynamics. [N.T.]

\*\* Uma imprecisão histórica do autor. Planck propôs a quantização da energia dos átomos, que chamou de ressonadores. Quem quantizou a

nhecidos como fótons. No início da década de 1930, os arquitetos da nova mecânica quântica já tinham desenvolvido um formalismo matemático para descrever a emissão e a absorção de fótons por partículas eletricamente carregadas, como os elétrons. Essa formulação inicial da QED teve algum sucesso, mas a teoria era precária. No final da década de 1940, o jovem Feynman dedicou-se a elaborar uma teoria consistente da QED.

Encontrar uma base sólida para a QED exigia tornar a teoria consistente não apenas com os princípios da mecânica quântica, mas também com os da teoria da relatividade restrita. As duas teorias têm aparatos matemáticos característicos, sistemas complicados de equações que podem ser combinados e reconciliados para produzir uma descrição satisfatória da QED. Essa foi a abordagem seguida pelos contemporâneos de Feynman. Mas ele próprio pensou o problema de modo radicalmente diferente — a tal ponto que foi capaz de escrever as respostas diretamente, sem usar matemática!

Para realizar esse feito intuitivo extraordinário, Feynman inventou um sistema simples de diagramas que até hoje levam seu nome. Os diagramas de Feynman são uma forma simbólica mas poderosa de representar o que acontece quando elétrons, fótons e outras partículas interagem. Hoje, são um auxílio rotineiro nos cálculos, porém, no começo da década de 1950 marcaram uma notável inovação na maneira de fazer ciência.

O problema técnico específico da QED foi um marco no desenvolvimento da física, mas aqui serve apenas como ilustração do que se tornaria o estilo particular de Feynman, um estilo que repercutiu na física do após-guerra e produziu dúzias de desenvolvimentos importantes.

---

radiação eletromagnética, confrontando a bem estabelecida teoria de Maxwell-Hertz, foi Einstein, em 1905, no trabalho revolucionário em que introduziu o conceito de *quantum* de radiação. [N.T.]

O estilo de Feynman pode ser mais bem descrito como uma mistura de reverência e descaso pelo saber adquirido. A física é uma ciência exata. O corpo de conhecimentos existente, embora incompleto, não pode ser ignorado. Ainda bem jovem, Feynman compreendeu de modo formidável os princípios aceitos pela física e escolheu trabalhar quase exclusivamente em problemas convencionais. Ele não era o tipo de gênio que trabalha isolado, no remanso da disciplina, e descobre algo novo. Seu talento especial era abordar de maneira idiossincrática tópicos essencialmente tradicionais. Isso significava descartar os formalismos existentes e desenvolver sua própria abordagem, altamente intuitiva. A maioria dos físicos teóricos baseia-se no cálculo matemático cuidadoso como guia e muleta quando entra em território desconhecido. A atitude de Feynman era quase arrogante.

Seu jeito implicava não apenas um saudável desdém em relação a formalismos rigorosos, mas também uma informalidade genuína na maneira de pensar e comunicar o pensamento. É difícil descrever a profundidade do gênio capaz de trabalhar com esse estilo. A física teórica é uma das atividades humanas mais difíceis. Combina conceitos sutis e abstratos, que normalmente desafiam visualizações, com uma complexidade técnica que não se consegue dominar completamente. A maioria dos físicos só realiza progressos quando adota os mais altos padrões de disciplina matemática e conceitual. Feynman parecia passar por cima desse código estrito e colher novos resultados como frutas maduras da árvore do conhecimento.

O estilo de Feynman deveu muito à personalidade do homem. Ele parecia ver o mundo como uma enorme brincadeira, tanto na vida profissional quanto na particular. O universo físico o presenteava com uma série de quebra-cabeças e desafios fascinantes, do mesmo modo que o seu ambiente social. Eterno brincalhão, Feynman tratava a autoridade e a academia com irreverência semelhante à que mostrava diante do formalismo

matemático empolado. Sem paciência para tolices, quebrava as regras sempre que as achava arbitrárias ou absurdas. Seus escritos autobiográficos contêm histórias divertidas: Feynman sendo mais esperto que os serviços de segurança da bomba atômica durante a guerra, Feynman abrindo cofres, Feynman desarmando mulheres com um comportamento ultrajante. Ele tratava seu Prêmio Nobel, concedido pelo trabalho com a QED, da mesma maneira displicente, do tipo pegar ou largar.

Ao lado do desdém pela formalidade, Feynman tinha fascinação pelo estranho e o obscuro. Muitos se lembram de sua obsessão por Tuva, um país perdido na Ásia Central, deliciosamente capturada em um documentário feito perto de sua morte, em 1988. Suas outras paixões incluíam tocar bongô, pintar, frequentar clubes de *striptease* e decifrar textos maias.

A abordagem despreocupada de Feynman em relação à vida e à física fez dele um soberbo comunicador. Tinha pouco tempo para preparar conferências formais ou até mesmo para supervisionar estudantes de doutorado no Instituto de Tecnologia da Califórnia, onde trabalhava. No entanto, dava palestras brilhantes quando lhe convinha, usando toda a espiritualidade, os *insights* penetrantes e a irreverência que empregava no trabalho de pesquisa.

No meio da década de 1960, Feynman foi convidado a dar uma série de palestras na Universidade de Cornell, no estado de Nova York, sobre as especificidades das leis da física. As palestras foram gravadas pela BBC e publicadas em livro. Eu adquiri minha cópia quando era um jovem estudante no fim da década e achei as palestras cativantes. O que mais me impressionou foi a maneira como Feynman desenvolvia profundas noções de física partindo de recursos modestos em termos de conceitos, com quase nenhuma matemática e pouco jargão. Ele sabia achar a analogia certa ou um exemplo do cotidiano para destacar a essência de um princípio profundo sem obscurecê-lo com detalhes contingentes e irrelevantes. Nunca esqueci sua brilha-

te analogia entre a lei de conservação da energia e o problema de tentar se secar com toalhas molhadas.

As palestras não pretendem ser uma revisão abrangente da física moderna. São uma visão, à moda de Feynman, dos problemas e mistérios que constituem o cerne da teoria física. Toda a física se baseia na noção de lei, na crença de que vivemos em um Universo ordenado que pode ser compreendido com o pensamento racional. Mas as leis da física não são uma evidência quando observamos a natureza; estão escondidas, sutilmente codificadas nos fenômenos que estudamos.

A lei física mais conhecida é a da gravitação, de Newton, analisada na primeira palestra de Feynman; outras leis referem-se às poucas forças da natureza que descrevem como as partículas de matéria interagem umas com as outras. Feynman tem o mérito de ter sido um dos raros cientistas na história a descobrir uma nova lei da física, que descreve como a força nuclear fraca afeta o comportamento de certas partículas subatômicas.

A física de partículas de altas energias dominou a geração de Feynman, com seus enormes e glamorosos aceleradores e suas listagens, aparentemente infinitas, de partículas subatômicas. Feynman pesquisou principalmente esse tópico. Um grande tema unificador de interesses entre os físicos de partículas foi o papel da simetria e das leis de conservação na organização do “zoológico” subatômico. Muito do conteúdo das palestras de Cornell tem a ver com o *status* dessa simetria e das leis de conservação abstratas no mundo subatômico. Apesar de a física de partículas ter avançado muito desde a década de 1960, as palestras permanecem bastante relevantes.

Um contraste notável com o interesse de Feynman pela simetria é sua palestra sobre assimetria, o chamado problema da flecha do tempo. Sua fascinação por esse tópico data de seu doutorado, orientado por John Wheeler em pleno turbilhão da Segunda Guerra Mundial. O problema original dizia respeito à tentativa de construir uma teoria eletrodinâmica que pudesse

conter simetricamente o passado e o futuro. Esse foi o primeiro encontro de Feynman com a eletrodinâmica, que depois floresceria em seu premiado trabalho em QED. A flecha do tempo permanece essencialmente não resolvida e continua exercitando as mentes dos físicos teóricos. A magistral exposição de Feynman sobre a natureza do problema, reproduzida aqui, é um ensaio clássico sobre esse tópico fascinante.

As ideias discutidas neste volume devem ser consideradas, por quaisquer critérios, como profundamente filosóficas. Não obstante, Feynman alimentava uma suspeita permanente em relação aos filósofos. Conversei com ele sobre a natureza da matemática e das leis da física, ponderando se é possível considerar que as leis matemáticas abstratas possuem uma existência independente, como queria Platão. Ele deu uma explicação hábil e irreverente para o fato de isso parecer verdadeiro, mas logo recuou quando pedi que assumisse uma posição filosófica específica. Foi igualmente cauteloso quando tentei induzi-lo ao tema do reducionismo. Recapitulando, acho que Feynman não desprezava os problemas filosóficos. Assim como era capaz de criar uma bela física matemática sem matemática sistemática, também tinha belos *insights* filosóficos sem filosofia sistemática. Abominava o formalismo, não o conteúdo.

É improvável que o mundo conheça outro Richard Feynman, um homem de seu tempo. Seu estilo funcionou muito bem no interregno de revoluções que precisavam ser consolidadas, com a exploração de suas consequências. A física do pós-guerra tinha bases seguras e estruturas teóricas maduras, mas estava aberta à exploração. O estilo de Feynman inspirou uma geração de cientistas. Este livro permanece o melhor testemunho de sua estimulante visão.