
O nascimento da mecânica da quântica

RICARDO LOPES DE ALMEIDA (UNINGÁ)¹

RESUMO

O artigo a seguir, tem como objetivo maior, apresentar uma série de conhecimentos básicos de conteúdos de química e física teóricas ministrados nas disciplinas de química geral e inorgânica, bem como despertar o interesse dos alunos para o constante aperfeiçoamento por meio de material para didático, como este que se apresenta. O trabalho visa ainda, uma abordagem da história do desenvolvimento das teorias e experimentos elaborados por diversos físicos que tiveram suas vidas dedicadas à ciência da matéria, objeto de estudo que intriga a humanidade desde sua existência. Neste trabalho vamos ainda focar os aspectos humanos e o de cientista brilhante e irreverente de um dos físicos americanos mais influentes do pós-guerra que abriu os horizontes para o mundo da nanotecnologia, Richard Feynman. Este pretende ser uma série de artigos que sejam apresentados versando os mais variados temas, desde a própria ciência como o processo da criação humana nas áreas a fins até tópicos mais específicos de química teórica e experimental. Os textos elaborados, são uma tentativa de demonstrar e fornecer aos estudantes do curso de Farmácia e áreas afins pressupostos teóricos de uma forma clara e direta para outras disciplinas ao longo de sua jornada acadêmica.

Palavras-chaves: Mecânica Quântica. Eletrodinâmica.

INTRODUÇÃO

Gênio iconoclasta

Existem dois tipos de gênios: os comuns e os mágicos. Um gênio comum é um tipo como você e eu poderíamos ser, se fôssemos

¹Professor Doutor, Faculdade Ingá – UNINGÁ

infinitamente mais inteligentes. A maneira como a mente funciona não é mais um grande mistério. Quando compreendemos o que fez, convencemo-nos de que teríamos podido ter feito o mesmo. Os mágicos por sua vez, são diferentes. Eles estão no jargão matemático, no "complemento ortogonal" do ponto em que estamos, e o funcionamento de sua mente nos é totalmente incompreensível. Mesmo quando compreendemos o que fizeram, o processo pelo qual chegaram àquilo é inacessível para nós. Só raramente, às vezes jamais, eles têm discípulos, porque não podem ser imitados e porque deve ser terrivelmente frustrante para uma jovem mente brilhante ser confrontada com os caminhos impenetráveis do espírito mágico.

Richard Feynman é um mágico, e de um nível excepcional! A Essas palavras do matemático Marc Kac, que trabalhou com Feynman por ocasião da elaboração do Teorema Comum, o físico Hans Bethe, que tinha passado vários anos ao lado de Feynman, primeiro em Los Alamos e depois na Universidade Cornell nos Estados Unidos, acrescenta: " Um mágico faz coisas que ninguém poderia fazer e que nos parecem totalmente inesperadas, e Feynman é assim" . Dick Feynman foi um dos físicos teóricos mais importantes e mais originais de um prolífico período pós-guerra, fazendo durante toda sua vida contribuições fundamentais em praticamente todos os domínios da física. Em 1965, ganhou o Prêmio Nobel, com Julian Schwinger e Sin-Itiro Tomonaga, pelos resultados obtidos em eletrodinâmica quântica. Em 1986, foi o único físico a participar da comissão de pesquisa sobre o drama na nave espacial Challenger, e se tornou uma espécie de herói nacional em seu país.

Na primavera de 1936, um ano depois de sua chegada ao MIT, Feynman e seu amigo Walton, ansiosos para acender à teoria quântica, começaram a estudar por conta própria com ajuda de alguns textos, essa ciência que está nascendo. " A Mecânica Quântica é uma descrição do comportamento da matéria em todos os seus detalhes e em particular dos acontecimentos em escala atômica". Em pequena escala, os objetos se comportam de modo diferente daquilo de que temos uma experiência direta e cotidiana; eles não se comportam como ondas, nem como partícula, nem como nuvens, ou como bolas de bilhar, ou pessoas sobre uma mola, ou o que quer que seja que já tenhamos visto, escreveria mais tarde Feynman, em suas *Aulas de física* em 1963.

A chamada experiência de fendas de Yong ilustra claramente este problema, a dualidade da matéria. No início do século XIX, o médico e físico britânico, Thomas Young (1773-1829) pôs em evidência a natureza ondulatória da luz, ao realizar a seguinte experiência: colocou uma fonte luminosa S diante de uma placa perfurada com duas fendas, F_1 e F_2 e

examinou a intensidade da luz I captada sobre uma chapa fotográfica disposta atrás das fendas. Ela descrevia uma figura de interferência similar àquela que ele teria obtido olhando, num mesmo dispositivo, ondas que se propagam na superfície da água. Ora, podemos obter o mesmo tipo de figura de interferência quando S é uma fonte de partículas (a experiência das fendas de Young, com elétrons foi feita pela primeira vez, em 1961, pelo físico alemão Claus Jönsson). Como as partículas podem criar essas interferências que se acreditava serem próprias das ondas?

A resposta tinha sido dada cerca de trinta anos antes pela mecânica quântica. Em 1905, o físico alemão Max Planck (1858-1947) havia proposto uma solução pouco banal para resolver o problema que intrigava os físicos fazia uns 40 anos, a descrição física da irradiação térmica de um metal aquecido: ele postulava que essa irradiação, para uma frequência ν dada, era emitida por pequenos "osciladores harmônicos" de frequência ν , os osciladores cuja energia não podia ser senão um múltiplo inteiro de $h\nu$, onde h era uma constante que se tornou a constante de Planck. Em 1905, Albert Einstein (1879-1955), então com 26 anos de idade e empregado no escritório de patentes de Berna, tinha retomado a idéia de explicar um outro fenômeno, o efeito fotoelétrico que lhe rendeu o Prêmio Nobel; quando um metal é exposto a uma radiação de frequência suficientemente elevada, ele emite elétrons. Einstein havia interpretado esse efeito com o auxílio de *quanta* de luz: um quantum de luz transmite, quando atinge o metal, uma parte ou a totalidade de energia $h\nu$, a um elétron. Se a energia absorvida por um elétron é superior ao trabalho T necessário para extraí-la do metal, o elétron com uma energia no máximo igual a $h\nu - T$.

A idéia suscitou pouco interesse na época. Einstein anunciou, em 1909, após ter por sua vez, se debruçado sobre o tema da irradiação térmica, que, com exceção de casos extremos, a irradiação não podia ser descrita exclusivamente nem pelo modelo ondulatório, nem pelo corpuscular: a irradiação é de natureza dual. Seus pares não demonstram mais interesse (seria precioso esperar o artigo seminal da eletrodinâmica quântica, publicado pelo físico britânico Paul Dirac (1902-1984), em 1930, para que a dualidade onda-corpúsculo da irradiação eletromagnética fosse explicitamente formulada e aceita).

Quatorze anos mais tarde, todavia, um jovem físico francês chamado Louis de Broglie (1892-1987) havia proposto, em sua tese de doutorado (1924), após ter lido os trabalhos de Einstein, que os elétrons e outras partículas materiais subatômicas apresentavam tal dualidade.

No mesmo ano, o americano Arthur Compton (1892-1962) e o holandês Petrus Debye (1884-1966) demonstraram separadamente o comportamento corpuscular da irradiação ao estudar a difusão da irradiação pelos elétrons; e em 1927, os físicos americanos Clinton Davisson (1881-1958) e Lester Germer (1896-1971) de um lado, e o físico britânico George Thomson (1892-1975) de outro, provaram o comportamento ondulatório da matéria ao observar a difração de um feixe de elétrons através de um cristal de Nickel (Davisson e Germer), ou através de finas folhas de celulósido.

As entidades físicas são, dessa forma, assimiladas tanto como partículas como a ondas. A cada partícula está associada uma onda de frequência ν e de comprimento de onda λ , o que significa duas coisas. Em primeiro lugar a energia E , e a quantidade de movimento ou momento linear ou simplesmente o momento p de uma partícula se expressam através da frequência de onda e do comprimento de onda; $E = h\nu$ e $p = h\nu/c = h/\lambda$ para um fóton (relações de Planck-Einstein-de Broglie). Em segundo lugar, se existe uma onda, ela se propaga.

Em 1926, o físico austríaco Erwin Schrodinger (1887-1961) aprofunda essa idéia e publica sua própria versão da mecânica quântica, a mecânica ondulatória: ele associou a cada partícula em movimento um pacote de ondas, que quer dizer, uma superposição de ondas concentradas no espaço e se propagando nele, e estabeleceu a equação de propagação desse pacote de ondas (que se assemelha estranhamente à equação clássica de propagação de ondas). Assim, na teoria de Schrodinger, uma partícula é representada por uma função de onda $\Psi(r,t)$ solução da equação: $i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi(r,t) = \hbar^2 \frac{\Delta}{2m} \psi(r,t) + V(r) \psi(r,t)$, onde i é o número imaginário $\sqrt{-1}$, r a posição da partícula t , o tempo, Δ , o laplaciano ($\Delta = \frac{\partial}{\partial x^2} + \frac{\partial}{\partial y^2} + \frac{\partial}{\partial z^2}$ em coordenadas cartesianas), onde $V(r) \psi(r,t)$ representam a energia potencial da partícula e o termo $\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \psi(r,t)$, representa a energia cinética da partícula. Todavia, o problema continuava existindo: qual era o significado físico de ψ ? Dito de outra forma, qual era a natureza dessas novas ondas?

Alguns meses mais tarde, o físico alemão Max Born (1882-1970) forneceu a chave da interpretação das funções de onda: o quadrado da função de onda em um ponto dado representa a probabilidade de encontrar a partícula nesse ponto considerado. Assim, as ondas não são outra coisa senão a expressão probabilística da posição das partículas: as ondas associadas às partículas são ondas de probabilidade. A função de onda $\psi(r,t)$ é também chamada de amplitude de probabilidade de presença. Em 1927, o físico alemão Werner Heisenberger (1901-1976)

acrescentou um tijolo ao edifício da teoria quântica, "tijolo" que chamou de Princípio da Incerteza, é impossível determinar precisamente, ao mesmo tempo a posição e a quantidade de movimento de uma partícula. Dito de outra forma, o conceito de trajetória de uma partícula perde sentido, pois depende ao mesmo tempo da posição e da velocidade da partícula. Uma consequência desse princípio é que é impossível construir um aparelho que determine a posição de uma partícula sem perturbá-la. No caso da experiência das fendas de Young, feita por exemplo com elétrons, medir por qual orifício passou um elétron perturba os elétrons a ponto de destruir os fenômenos de interferência: o que observamos não é mais do que a soma das probabilidades de passagem dos elétrons pelas ambas fendas.

Durante o inverno glacial em Cornell, trabalhando obstinadamente na formulação da eletrodinâmica quântica, Feynman acalentava um sonho: viajar para a América do Sul. Fizera cursos de espanhol e, quando o físico brasileiro Jaime Tiomno o convidou para dar em 1949, um curso no Rio de Janeiro, onde acabara de ser fundado o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, ele aceitou estufado, lamentando apenas por não ter aprendido o português. Após seis semanas no clima quente e descontraído do Rio, ensinando de manhã e passando o resto do dia na praia de Copacabana, Richard retornou a Cornell, pensando seriamente em desligar-se dessa universidade. A cidade de Ítaca, era pequena, o clima ingrato e Cornell, uma universidade essencialmente de ciências humanas, não era estimulante (Cornell tinha todos os tipos de departamentos que não me interessavam).

Uma oportunidade surgiu depois de alguns meses mais tarde. Seu colega, Robert Bacher que deixara Cornell e fora para o Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltech) situado na alegre Pasadena (hoje um bairro de Los Angeles), convidou-o a dar uma série de aulas ao longo de fevereiro de 1952. A partir do ano acadêmico de 1950-1951 ele se tornou, para o resto de sua vida, professor de física teórica no Caltech. O ano que esteve no Brasil, hospedou se no hotel Miramar Palace, em Copacabana. Ele freqüentou ainda uma escola de samba, aprendeu a tocar frigideira e foi aceito em um dos grupos musicais que se apresentavam no célebre carnaval da cidade. Ele construiu assim, seu próprio mito, que iria acompanhá-lo por resto de sua vida, o de cientista "playboy" cuja vida era recheada de aventuras em lugares raramente freqüentados por professores de física, clubes suspeitos de Las Vegas, um de seus lugares preferidos no verão. As suas várias aventuras românticas lhe valeram a reputação de Don Juan sem escrúpulos e a desconfiança de seus colegas casados. Ele não deixou de freqüentar um bar onde mantinha amizade com garçonetes

com seios nus e como dono do lugar, um certo Gionnoni. Este último foi investigado pela polícia, e solicitou a Feynman um testemunho favorável, que foi atendido prontamente.

No início dos anos 70, os acontecimentos dispersos da física das partículas elementares foram integrados no campo teórico do Modelo Padrão. Nesse modelo, as teorias das interações eletromagnéticas, fraca e forte, são teorias de gauge locais: teorias quânticas e relativísticas de campos, construídos com base em uma simetria local, isto é teorias invariantes em relação a transformações locais.

Em meados de 1977, entretanto quando estava bastante envolvido no trabalho de Field (no mês de junho deu um seminário sobre jatos de em uma conferência na França), Feynman sentiu pela primeira vez de forma violenta, os sintomas de uma doença que o acompanharia pelo resto da vida. Um ano mais tarde, Feynman ele foi submetido a exames médicos, os quais indicaram um lipossarcoma de tamanho considerável no estômago. Feynman foi operado imediatamente. Começou assim, em meados de 1978, o longo calvário que marcou seus dez últimos anos de vida. Feynman enfrentou as limitações impostas pela doença com grande austeridade e obstinação, a mesma que marcou sua carreira de físico teórico e de professor dedicado ao aprendizado de seus alunos. Dedicou se intensivamente aos chamados seminários, aulas destinadas a estudantes formados e a pós-doutorandos. Passava horas entre amigos em longas caminhadas discutindo os alicerces da física e da natureza que as rege. Interagiu com matemáticos, discutindo as bases das integrais de caminho que tanto utilizara no processo de propagação de partículas, buscando detalhar a trajetória das mesmas ao passarem pelas fendas de Young. Foi membro da equipe nuclear de Princeton, participando no projeto nuclear, em Los Alamos, ao lado de grandes nomes da física, devido à sua grande habilidade com cálculos de hidrodinâmica da implosão, até mesmo com problemas de abertura de cofres que continham material ultra secreto. Criou os diagramas que levam seu nome, para o cálculo da amplitude de probabilidade de um processo físico de eletrodinâmica quântica, isto é um elemento de matriz de difusão, quando os físicos utilizavam a teoria das perturbações, desenvolvendo a amplitude em potências crescentes de um pequeno parâmetro físico, sendo este um de seus maiores êxitos pessoal. Dedicou se à pintura, "*Gostaria de aprender a pintar por uma razão que mantive em segredo: comunicar a emoção que sinto perante a beleza do mundo. Gostaria de perceber e transmitir uma certa generalidade inerente às coisas, que parecem diferentes e se comportam de modos distintos, mas que são todas coisas governadas pela mesma organização, pelas mesmas leis físicas. Essa generalidade é uma homenagem à beleza*

matemática da Natureza." Queria pintar alguma coisa bela que nenhum artista teve idéia de pintar, como as linhas complicadas do campo magnético, que se agrupam de um lado e se estendem de outro".

Feynman foi precursor. Somente hoje, mais de 40 anos depois, os computadores quânticos começam a se tornar algo mais do que uma simples possibilidade teórica. Se, em 1959, ele não fez mais do que exprimir a idéia, no início dos anos 1980 faria importantes contribuições no domínio da física do cálculo. Em particular, seu artigo fundamental " Computadores Quânticos" (publicado pela primeira vez , em fevereiro de 1985, na Revista OPTics News, contribuiu junto com os trabalhos de tantos outros físicos, para estabelecer as bases da teoria física do cálculo quântico.

REFERÊNCIAS

FEYNMAN, R. Uma tarde com Feynman. Gradiva, 1991.

FEYNMAN, R. Deve ser brincadeira, sr. Feynman! UNB, 2000.

FEYNMAN, R. Física em seis lições. Ediouro, 1999.

FEYNMAN, R. What do you care what other people think? . Norton 1988.

FEYNMAN, R. The meaning of it all. Penguin. 1998.

FEYNMAN, R., Leighton R. e Sands M. Le cours de physique de Feynman. Dunod, 1999.

FEYNMAN, R. The character of physical law. MIT Press, Cambridge, 1965.

MEHRA, J. The beat of a different drum. The life and science of Richard Feynman. Clarendon Press, 1994.

MLODINOW, L. O arco-íris de Feynman. Sextante, 2005.

SCHWEBER, S. QED and the men who made it. Princeton University Press, 1994

