

## Uma Forma Diferente de Ensinar Mecânica Quântica

Roberto Leal Lobo e Silva Filho

30 de junho de 2017

Embora goste muito da pesquisa, eu sempre quis ser um bom professor. Jamais me descuidei do ensino. José Benedito Sacomano, que se tornou professor da USP e meu ex-aluno da Escola de Engenharia, lembrou-me um dia que, na década de 60, durante uma prova, quis devolver-me o papel em branco. Tamanho foi o meu esforço para motivá-lo a não desistir que ele resolveu fazer a prova e, no final, obteve a melhor nota da turma. Talvez, contando isso, ele quisesse generosamente dividir comigo um mérito que foi todo seu, mas o episódio serve para ilustrar o meu interesse pelo desempenho dos alunos.

Em 1970 havia começado o bacharelado em Física em São Carlos. Fiquei encarregado de preparar o curso de Mecânica Quântica, que era um curso dado no quarto ano. Planejei tudo com bastante cuidado, porque sempre entendi que o curso de Mecânica Quântica era dado de maneira desagradável e extremamente formal.

Parecia um milagre para os alunos que de repente a Mecânica não fosse mais aquela de Newton, que alguém tivesse subitamente inventado algo diferente e que também era Mecânica.

Eles olhavam uma função de onda e não sabiam o que aquilo queria dizer: “Cadê a partícula? Isso é uma função de onda matemática de um elétron, mas onde está ele, sumiu? Qual a relação entre essa formulação matemática e o que se observa na natureza?”. Resolvi que o salto para a Mecânica Quântica não podia ser feito daquela forma. Era necessário dar ao estudante uma visão histórica da construção da nova Mecânica.

Eu gostava de dar muita história em meus cursos de Física, mas como Mecânica Quântica era uma coisa relativamente nova na história da ciência e os estudantes não tinham nenhum contato com a matéria no curso secundário, achei importante mostrar porque o paradigma da Física Clássica teve de ser substituído por um novo paradigma.

A Mecânica Quântica é da década de 20, mas não foi incorporada à visão do mundo da maioria das pessoas, principalmente no Brasil. É uma formulação feita para lidar com fenômenos microscópicos e por isso não faz parte da experiência cotidiana. Decidi partir da Física Clássica, fazendo uma recordação sobre seus fundamentos. Mostrava, então, as experiências que vieram contradizer o que ela previa e, a partir disso, como se tentara construir uma teoria explicativa desses fenômenos.

A Mecânica Clássica é absolutamente lógica, é fechada logicamente (se aceitarmos a existência das massas e da ação a distância). Só que ela não descreve bem a natureza na dimensão microscópica, somente os fenômenos macroscópicos.

A Física não é necessária do ponto de vista lógico. Não adianta sentar numa sala e querer descobrir se é de certa forma, porque tem que ser e só pode ser assim. Tem-se que fazer experiências para chegar a essa descoberta.

Einstein dizia que uma teoria física é como uma palavra cruzada. Várias palavras podem caber como resposta a um item, mas só uma vai ser compatível com as outras e completar o problema geral. Há muitas estruturas lógicas que podem ser propostas e uma só será verdadeira, aquela que descreve corretamente o conjunto de fenômenos observados. Nesse sentido é que a Física não é necessária do ponto de vista lógico. A lógica é insuficiente, porque há muitos cenários possíveis, como disse Bertrand Russell.

Eu queria mostrar aos alunos que, através da experiência, a Mecânica Clássica ruíra, no final do século XIX. Que havia um conjunto de experiências inexplicáveis pela Mecânica Clássica e pela Física Clássica em geral. Passei os dois primeiros meses do curso explicando isso: o que era a Mecânica Clássica na época, o que era a Termodinâmica, quais foram as experiências inexplicáveis por essa Física e como, a partir daí, começou a se montar um novo paradigma. Uma vez eu estava falando de Heisenberg e um aluno comentou: "Não é uma coisa tão fantástica assim. É apenas um passo a mais". Na aula seguinte continuei a desenvolver o assunto e mostrei a diferença entre o que Heisenberg tinha feito e tudo que era visto antes dele. Aí o mesmo aluno olhou para mim e falou: "Incrível, professor". Eu disse: "Pois é, agora você entendeu completamente o que eu queria dizer. Um cientista para dar esse 'pequeno' salto precisa ser incrivelmente criativo. Ele rompeu com a forma tradicional de pensar a Física". Heisenberg, era um físico alemão, Prêmio Nobel, que formulou matematicamente a Mecânica Quântica. Ele foi obrigado a sair das equações da Mecânica Tradicional e entrar numa descrição matricial de Mecânica. Aliás, ele nem sabia que era uma descrição matricial o que ele estava propondo. Ele simplesmente inventou uma matemática necessária para descrever a Física Quântica até que os matemáticos contaram para ele que isso que ele estava usando se chamava Cálculo Matricial. Foi um momento lindo da ciência. Heisenberg construiu uma matemática para poder explicar e interpretar os fenômenos físicos.

Os meus colegas muitas vezes diziam: "Puxa, mas você perde muito tempo com isso, o aluno vai passar dois meses ouvindo falar de história. Você deve entrar rapidamente nos conceitos para poder usar a Mecânica Quântica...". Eu respondia: "Mas, depois que termino a história, eu dou um livro inteiro que é usado na pós-graduação nos Estados Unidos. No momento que os alunos juntam os fatos, entendem o que se está dizendo e calculando na Física, eles percebem do que se está falando e passam a interpretar corretamente a Mecânica Quântica – e avançam rapidamente".

Não era inútil, portanto, aquele tempo que eu usava para explicar a interpretação da Mecânica Quântica. Em São Carlos havia uma disciplina de pós-graduação chamada "Mecânica Quântica A", equivalente ao livro que usávamos na graduação. Essa disciplina foi dispensada aos alunos que vinham da nossa graduação por causa da minha matéria.

Por volta de 1975, estive em São Carlos o físico dinamarquês Erik Rudinger, que tinha sido aluno de Niels Bohr, um dos criadores da Mecânica Quântica na década de 20, para dar um seminário. Anunciou: "Vou abordar uma questão muito especial nesse seminário". Acrescentou que iria fazer uma provocação aos professores, demonstrando como Niels Bohr, um Prêmio Nobel, que teve contribuições fundamentais para o desenvolvimento da Mecânica Quântica, achava que essa matéria deveria ser ensinada.

Assisti a palestra e, enquanto ele falava, fui percebendo que o homem praticamente expunha meu método de ensino. Procurei-o depois para dizer isso. Ele ficou meio desconfiado. Eu até poderia chamar um dos meus alunos mais brilhantes, José Roberto Drugowich, hoje professor da USP, para mostrar seus cadernos. Mas preferi levar o dinamarquês para minha sala e apresentar todas as minhas notas de aula.

O visitante ficou absolutamente convencido. Pouco tempo depois mandou-me uma cópia de um artigo<sup>[1]</sup> que publicara no "American Journal of Physics", em que defendia essa forma de ensinar Mecânica Quântica. Contava a história de Bohr e dizia que precisara viajar cinco mil milhas para descobrir, no interior do Brasil, um professor aplicando por conta própria esse método. Fiquei

radiante com o registro e orgulhoso de ter encontrado uma forma de apresentar o tema que coincidia com a visão de Bohr.

Essa forma que eu ensinava mereceu essa importante referência internacional[2]. Até hoje, discute-se se a apresentação histórica é ou não a melhor forma de ministrar um curso introdutório à Mecânica Quântica. Minha opinião é clara!

Um pouco antes desse tempo, estava procurando escrever um livro didático de Mecânica Quântica, apresentada da forma que eu ensinava, com a colaboração do Laércio Gondim de Freitas, querido amigo e colega, quando nos chegou às mãos um livro do prêmio Nobel japonês Sin-Itiro Tomonaga, que parecia cópia (claro que não era!), do curso na forma como havia pensado. Nem terminamos de escrever aquele livro.

Este artigo será parte do livro que estou finalizando sobre minha trajetória profissional, baseado nas anotações que meu amigo e jornalista Aluizio Falcão fez enquanto eu estava na Reitoria da USP. Assim posso registrar tantas experiências importantes que tive na vida e quantos professores dedicados e diferenciados eu tive o prazer de ter como amigos.

[1] “On the Teaching of Introductory Quantum Mechanics” Rudinger, Erik, *American Journal of Physics*, 44, 2, 144-148, Feb 76

[2] Referência 14 traduzida do artigo: ***“Nas minhas discussões com colegas de diversos países eu só encontrei um que concordava totalmente com o método sugerido e que tinha, de fato, chegado de forma independente às mesmas conclusões. É o Dr. Roberto Lobo (que, curiosamente, ensina em São Carlos, somente a cerca de 200 km de São Paulo), que tinha realmente organizado um curso nas mesmas linhas antes mesmo de descobrir o livro de Tomonaga. A experiência do Dr. Lobo parece justificar a esperança de que os estudantes podem progredir rapidamente em seus estudos posteriores em Mecânica Quântica depois de um curso introdutório deste tipo, provavelmente porque eles sentem que tiveram uma base firme para entender os cálculos que eles estão fazendo.”***