

Objetos clássicos e quânticos: conceitos de onda e partícula e dualidade onda-partícula

Alberto Ricardo Präss

Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Porto Alegre, RS

Brazil

Resumo

Qual o gosto de uma fruta que nunca comemos? Quais são as cores da bandeira do Brasil para um cego que nasceu assim?

Responder a estas perguntas envolve conceitos anteriores e analogias, pois temos dificuldades de conceituar coisas que não fazem parte das nossas experiências.

O presente trabalho fará uma análise dos conceitos e analogias perigosas que são feitas no estudo da Mecânica Quântica.

Podemos concluir que os fótons se propagam como ondas, mas na sua interação com os elétrons, átomos e íons, comportam-se como partículas, transferindo momento e energia.

Dois lições emergem quando se considera esta dualidade onda-partícula. Uma é a que a Física Clássica, que tão bem explica o movimento dos objetos macroscópicos, gerou em nós, significados bem distintos para a palavra “partícula” e para a palavra “onda”.

Partícula: objeto com massa e forma bem definida, do tipo bola de bilhar.

Onda: perturbação num meio material contínuo, de que são bons exemplos as ondas na superfície da água.

Quando se descobriu que a radiação eletromagnética se propagava sob a forma de ondas, surgiu a primeira grande dificuldade – qual o meio material que oscilava, transportando a onda? Começou por se admitir a existência de um meio material elástico e incompressível, o éter, mas cedo se constatou que tal meio não tinha existência real – as ondas eletromagnéticas propagam-se no vácuo.

A exploração do mundo dos átomos tem como pano de fundo esta dicotomia. Os átomos e os elétrons pertenciam claramente a classe das partículas e a luz emitida pelos átomos excitados ou pelos elétrons acelerados tinha nitidamente carácter ondulatório. Mas a descoberta do carácter corpuscular dos fótons e das propriedades ondulatórias dos elétrons pôs em causa essa dicotomia. Com relutância, mas inevitavelmente, foi preciso aceitar que a distinção entre onda e partícula não se aplica ao nível atômico.

A outra lição foi a de que é preciso aceitar os resultados das experiências tais como se apresentam, não pretendendo tirar ilações para além daquilo que os fatos justificam, sendo pertinente definir claramente as condições experimentais. Quando, por exemplo, se faz uma experiência com elétrons, é preciso dizer em que circunstâncias têm comportamento de partículas clássicas, e em que circunstâncias têm comportamento ondulatório.

Um artigo extraordinário

Na edição de setembro de 1924 da revista “Philosophical Magazine” apareceu um artigo de um físico pouco conhecido: Louis de Broglie. Nele se expunham algumas teses de sua dissertação, dedicada a fundamentar a possibilidade da existência de ondas de matéria.

O que seriam estas ondas? Não seriam como as ondas que a Física já conhecia, posto que eram percebidas pelos nossos sentidos ou equipamentos?

A resposta é não. O artigo se refere a outro tipo de ondas totalmente diferente. As idéias expostas por de Broglie eram tão insólitas e paradoxais, que podiam competir perfeitamente com as idéias de Planck sobre os quanta de energia. E não só por sua importância para a Física, mas também pela enorme desconfiança que foram recebidas no início por grande parte dos físicos.

O que são estas ondas de matéria?

De Broglie afirma em seu artigo que estas ondas são produzidas quando qualquer objeto estiver em movimento, seja nosso planeta, uma pedra, uma partícula de poeira ou um elétron.

Da mesma forma que as ondas eletromagnéticas, estas ondas se propagam no vácuo, ou seja, não são ondas mecânicas. Estas ondas podem ser produzidas quando qualquer corpo se move, inclusive corpos não carregados eletricamente. Logo não são ondas eletromagnéticas!

Naquela época a Física não conhecia outros tipos de ondas. Resultava que as ondas de matéria eram um novo tipo de onda, desconhecidas até então.

Os físicos estavam inteiramente convencidos de que todas as ondas que pudessem existir já eram conhecidas. De Broglie falava de um tipo de onda nunca detectado.

Por que as ondas de Broglie nunca tinham sido notadas?

Antes de darmos uma resposta a esta pergunta, é conveniente pensar em outra:

Como notamos as ondas em geral? Nos referimos, naturalmente, não só a nossos sentidos.

Nossos ouvidos percebem os sons cujas frequências vão de aproximadamente 20 a 16.000 Hz. Estas frequências correspondem as frequências das ondas sonoras que no ar se estendem aproximadamente de 17m a 2cm. Nosso olho é sensível a ondas luminosas

de 4000 a 8000 nm de comprimento aproximadamente. Essas são as “janelas” que nos deu a Natureza para que pudéssemos conhecer as ondas (sem ter em conta, é claro, as ondas superficiais como, por exemplo, as do mar).

Valendo-se de equipamentos especiais, os físicos aprenderam a transformar as ondas que não são diretamente perceptíveis em outras, cujas frequências se encontram dentro das janelas de percepção. Isso amplia muito a região dos fenômenos ondulatórios acessíveis a nosso conhecimento. Utilizando receptores de rádio podemos captar e estudar ondas eletromagnéticas de muitos metros de comprimento. Os contadores de centelha dão a possibilidade de detectar a radiação gama, constituída por ondas eletromagnéticas com bilionésimos de centímetro de comprimento.

Podemos concluir que o intervalo de comprimentos de onda que podemos captar é enorme. Por que, então, nunca se tinha captado as ondas de De Broglie?

A primeira questão é: com que captá-las? As ondas mecânicas, como por exemplo, as sonoras de vários metros de comprimento, podem ser percebidas pelo ouvido. Porém estas ondas não podem ser captadas por um receptor de rádio, mesmo que sintonizado na mesma frequência. Este receptor só capta ondas de rádio. E vice-versa, as ondas de rádio, não podem ser captadas pelo ouvido ou por qualquer equipamento mecânico.

Cada tipo de receptor só responde a seu tipo de onda: o ouvido, as ondas sonoras; o olho, as ondas eletromagnéticas. Com qual equipamento poderemos captar as ondas de De Broglie, que não são sonoras nem eletromagnéticas?

Vamos determinar o comprimento de onda das ondas de matéria. De Broglie descobriu a relação que une o comprimento de onda das ondas novas com a massa e a velocidade dos corpos em movimento:

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

onde:

h: constante de Planck

m: massa

v: velocidade

O produto “mv” é chamado de MOMENTO ou QUANTIDADE DE MOVIMENTO:

$$p = mv$$