

Uma abordagem didática alternativa para o ensino do princípio da complementaridade

PIMENTEL, Rafael F.¹, CARVALHO, Alexandre T. G.²

¹ Universidade Federal de Viçosa, rafael.pimentel@ufv.br

² Universidade Federal de Viçosa, atadeu@ufv.br

Palavras-chave: Interferômetro de Mach-Zehnder; Objetos quânticos; Wavicle.

Resumo expandido

Segundo o princípio da complementaridade, enunciado por Bohr, objetos quânticos, como elétrons e fótons, exibem aspectos de ondas clássicas e de partículas clássicas, sem exibí-los simultaneamente; assim, de forma estrita, não são nem ondas nem partículas clássicas. Esta característica dual está no cerne da mecânica quântica e, muitas vezes, é abordada nos textos de física básica como “dualidade onda-partícula”.^[1] A apresentação da Física Quântica usando-se tal abordagem suscita uma contradição lógica capaz de dificultar a construção conceitual do objeto quântico pois, envolve a ideia de unir em um único objeto dois objetos clássicos distintos e dispares, onda e partícula. Uma partícula clássica se comporta como uma bala de revólver; pode ser localizada e desviada, transfere energia bruscamente, através de colisões, e não exhibe as propriedades de difração e interferência. Uma onda clássica se comporta como uma onda do mar; não tem localização precisa, transfere energia de forma gradual e exhibe os fenômenos de difração e interferência.

Em razão dos objetos quânticos possuírem propriedades específicas, que fogem ao escopo da física clássica, há autores como Levich e Ohanian que os nomeiam de “micropartículas” ou “wavicles”. Esta última denominação foi cunhada por Arthur Stanley Eddington, em seu livro publicado em 1927, “The Nature of the Physical World”^[2] e resulta do cruzamento dos vocábulos da língua inglesa, “wave”, e “particle”, correspondentes a onda e partícula, em português. Interpreta-se, então, um objeto quântico nem como onda nem partícula clássicas, mas sim um outro objeto, que pode ser nomeado como se queira, que carrega consigo aspectos de ondas clássicas e de partículas clássicas. As ondas e as partículas são então manifestações de aspectos deste objeto. Outros autores propuseram outros nomes, como quanticle, quanton ou quon, mas nenhum desses nomes alcançou muita popularidade, incluído micropartículas e wavicles.^[3]

Até onde sabemos estas denominações não objetivaram criar explicitamente uma nova rota didática para a construção dos conhecimentos da Física Quântica, entretanto, assim pode ser encarada. Uma denominação específica para o objeto quântico elimina a contradição lógica associada aos termos “dualidade onda-partícula”, na medida em que não mais remete aos objetos clássicos.

Está última perspectiva está em acordo com a teoria de Vygotsky ^[4] que considera a linguagem o agente capaz de exercer influência no fluxo do pensamento, por meio da interiorização do diálogo que o indivíduo estabelece com o meio. É a interiorização do diálogo, mediado pela linguagem, que capacita o indivíduo a abstrair, imaginar e aprender. A escolha da linguagem e seu uso preciso é fator central na construção dos conceitos de Física pelos alunos

A análise deste panorama associado ao ensino da Física Quântica conduziu-nos a elaborar uma metodologia de ensino dos fundamentos da Física Moderna, na abordagem do ensino por investigação, mediada pela linguagem multimídia e desenvolvida em torno de vídeos de experimentos e de simulações computacionais. Esta linguagem, presente na vida dos estudantes através do seu convívio com celulares e computadores, quando empregada criteriosamente pelos professores se transforma numa ferramenta de valor inestimável ao aprendizado e numa fonte de estímulo à criatividade. Mintzes (2004) ^[5] considera a linguagem multimídia um auxiliar precioso para que os estudantes construam melhores modelos científicos da natureza e pode ser especialmente útil na construção de conceitos que fogem à nossa percepção direta, como a do conceito de objeto quântico.

A sequência didática foi elaborada em duas aulas, desenvolvidas na linguagem multimídia, em torno de experimentos exibidos em vídeos de curta duração, imagens, animações e simulações computacionais. A primeira aula teve como ponto de partida uma abordagem histórica, remetendo às teorias para a luz do século XVII, sustentadas por Isaac Newton (1642-1727-Inglaterra), teoria corpuscular, e por Christiaan Huygens (1629-1695-Holanda), teoria ondulatória, sendo ambas exitosas na descrição dos fenômenos de reflexão e da refração para a luz. Ainda dentro do contexto histórico, revisou-se os fenômenos de interferência e difração da luz, assinalando que o último fez prevalecer a teoria ondulatória. Em seguida apresentou-se, em uma abordagem fenomenológica, os efeitos fotoelétrico e Compton, e o fenômeno da difração de elétrons.

Na aula seguinte, foram expostos os resultados de experimentos de interferência de feixes de elétrons e fótons, de baixa intensidade. Estes resultados dão conta da natureza dual dos objetos quânticos e, em associação com os anteriores, fazem emergir a contradição lógica. A partir deste ponto a argumentação foi conduzida no sentido de estimular a discussão em torno dos objetos clássicos, onda e partícula, e do objeto quântico, evidenciando que este último apresenta características dos primeiros, mas não é nenhum nem outro destes. Foi então desenvolvida a ideia de que o objeto quântico seria um objeto diferente da onda e diferente da partícula, e que alguns autores o nomearam como *wavicle*, *quântom* ou *micropartícula*, apontando que nenhum destes nomes se tornou consagrado na literatura. Utilizamos uma simulação computacional ^[6,7,8], representando um Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder, capaz de exibir a interferência da luz, desde a condição de feixes com muitos fótons, clássico, até o nível de um único fóton, quântico, que permitiu desenvolver a discussão, exibindo as duas facetas do fóton.

A sequência didática foi aplicada em cinco turmas (uma de graduação e quatro do Ensino Médio) e resultados, coletados por meio de um curto questionário e da observação dos professores, sugerem forte sedimentação dos conceitos apresentados e desativando a contradição lógica associada a natureza dual do objeto quântico.

Referências

- [1] Young, H. D.; Freedman, R.A. **Sears and Zemansky's University Physics with Modern Physics**. 14th ed. USA: Pearson Education, Inc., 2016.
- [2] EDDINGTON, A. **The nature of the physical world**. THE GIFFORD LECTURES 1927. [S.l.]: BoD–Books on Demand, 2019. v. 23.
- [3] Ohanian, H.C. **Modern Physics**. 2th ed. USA: Prentice Hall, 1995.
- [4] VYGOTSKY, L. S. **Pensamento e linguagem**. São Paulo: Martins Fontes Editora, 1987.
- [5] MINTZES, J. J., WANDERSEE, J. H., NOVAK, J. D. (Editors) **Assessing Science Understanding: A Human Constructivist View**. London: Elsevier Academic Press, 2004.
- [6] NETTO, J. d. S. **Complementaridade onda-partícula e emaranhamento quântico na formação de professores de Física segundo a perspectiva sociocultural**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.
- [7] NETTO, J. D. S.; OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. de H. **Fenômenos intermediários de interferência e emaranhamento quânticos: o interferômetro virtual de mach-zehnder integrado a atividades didáticas**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), v. 35, n. 1, p. 185–234, abril 2018.
- [8] CAVALCANTI, C. J. H. et al. **Teaching wave-particle complementarity using the virtual mach-zehnder interferometer**. Revista Brasileira de Ensino de Física, FapUNIFESP (SciELO), v. 42, 2020.