



## ESTRATÉGIA DE ENSINO PARA A FÍSICA QUÂNTICA: O EXPERIMENTO DA BORRACHA QUÂNTICA

JESSICA ANDRIELLI FIRMINO<sup>1</sup>; JURANDI LEÃO SANTOS<sup>2</sup>; TIAGO DE JESUS SANTOS<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Graduanda no curso de Licenciatura em Física, Bolsista IFSP - Caraguatatuba, jessicaandriellifirmino@gmail.com

<sup>2</sup> IFSP - Instituto Federal de São Paulo – Caraguatatuba, jurandi.leao@ifsp.edu.br

<sup>3</sup> ITA - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, nztiago@gmail.com

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 9.05.00.00-8 Outros - Ciências

**RESUMO:** A proposta deste trabalho é analisar um experimento que permite demonstrar aos alunos, tanto do ensino superior quanto do ensino médio, alguns dos fenômenos mais intrigantes da mecânica quântica. Trata-se de um experimento de baixo custo e simples de executar, que torna possível investigar o comportamento quântico dos fótons. Mas o que seria uma borracha quântica? Borracha quântica é um mecanismo que apaga e/ou restaura informações sobre o caminho que cada partícula toma quando há duas ou mais possibilidades de trajeto, revelando assim um borrão contínuo ou um padrão de interferência dado pelo acúmulo dos fótons num anteparo. O experimento consiste em utilizar um *laser* como emissor de fótons, ao qual terá uma barreira chamada de “indicador de caminhos”, que contém dois polarizadores perpendiculares com um grafite entre eles. Ao passar o feixe de luz percebe-se que as franjas somem, pois o identificador informa por qual lado o fóton passou, impedindo que ocorra interferência. Porém, quando colocado outro polarizador num ângulo de 45°, é possível ver no anteparo o reaparecimento das franjas de interferência. Observa-se, portanto, o efeito da borracha quântica: ela apaga e/ou restaura a informação de qual lado cada fóton passou, fazendo o experimento revelar seu caráter, ora clássico, ora quântico, evidenciando de forma sutil a transição entre esses dois cenários físicos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ensino de Física; Experimento de baixo custo; Dualidade onda-partícula.

### 1 INTRODUÇÃO

O ensino de Física, tanto no nível básico, quanto no superior, é quase sempre baseado unicamente em aulas expositivas e quando se trata do ensino da Mecânica Quântica, que estuda as leis mais fundamentais da natureza, torna-se difícil visualizar os fenômenos físicos envolvidos, pois estamos habituados a observar a natureza a partir de uma óptica macroscópica. Ou seja, observamos a natureza nos domínios da mecânica clássica ou newtoniana.

No nível quântico, construímos as leis físicas baseado no que observamos, ou melhor, baseado nos fenômenos que a natureza nos revela: é o que chamamos de “observáveis”. Toda mecânica quântica é fundamentada nesses “observáveis”. Nesse contexto, o experimento da borracha quântica proporciona a visualização e interação do que nos parece muitas vezes distante, abstrato e impalpável, um cenário essencialmente probabilístico da onda-partícula (FACCIPIERI JUNIOR, 2007).

A experiência da borracha quântica (ou apagador quântico) é uma experiência de dupla fenda que permite o teste de diversas características peculiares da física quântica, como a complementaridade, o princípio da superposição e o emaranhamento quântico. Neste trabalho, a partir do emaranhamento de estados polarizados da luz, ao colocar dois caminhos possíveis para a luz, verificamos que é impossível saber a trajetória escolhida pelos fótons, evidenciando, dessa forma, uma das leis mais fundamentais da mecânica quântica (HILLMER; KWIAT, 2007).

Para além de um caráter complexo do comportamento da natureza, esse experimento pode ser, antes de tudo, visto com um olhar educacional, no qual a discussão conceitual de fenômenos quânticos pode ser levada ao ensino médio e superior, por meio de materiais de baixo custo e uma montagem simples.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do experimento da borracha quântica, será necessária uma sala escura para uma melhor visualização do efeito dos fótons, um anteparo que pode ser a própria parede da sala, laser, filmes polarizadores, grafite 0,5 mm e um suporte. Os filmes polarizadores podem ser encontrados em telas LCD's. Neste experimento os filmes foram retirados de telas de mini game, relógio digital e de um celular velho.

A montagem do experimento consiste em duas partes: o identificador de caminho e a borracha quântica. Para iniciar o experimento, o laser deve ser fixado no suporte de forma que fique alinhado aos polarizadores quando instalados.

Para a montagem do identificador de caminho deve-se unir dois polarizadores perpendicularmente entre si, sem que se sobreponham e que não haja espaço entre eles, com um grafite 0,5 mm (ou um fio fino, como aqueles usados em embalagem de pão) na junção dos polarizadores. Para saber se os polarizadores estão perpendiculares, coloca-se um sobre o outro girando um deles até que não passe mais nenhuma luz por eles. Para fixar o grafite pode ser usada uma fita adesiva, tomando o cuidado para não bloquear a passagem da luz.

Tendo montado o identificador, este é posicionado de modo que o feixe do laser fique bem na junção dos polarizadores, atingindo o grafite no centro. Assim, observando o anteparo é possível perceber que na imagem formada não aparecem franjas. O laser e o indicador de caminho são mantidos fixos durante o prosseguimento da experiência.

Seguindo para a segunda parte, a montagem da borracha quântica, ajusta-se um polarizador em um ângulo de  $45^\circ$  posicionando-o logo após o identificador. Inserindo a borracha quântica, o experimento fica, enfim, completo. A Figura 1 mostra a montagem do nosso experimento.

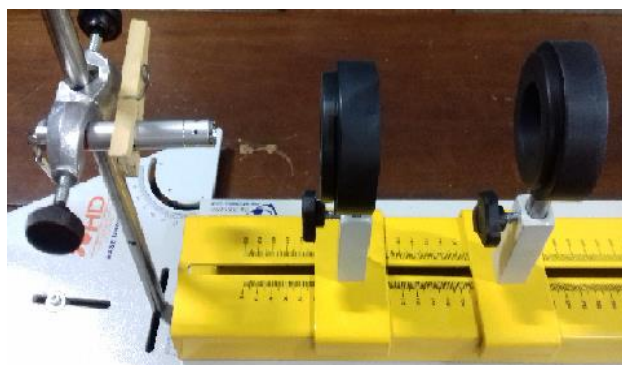


FIGURA 1. O experimento da borracha quântica. Observa-se o laser (permanentemente acionado por um pregador de roupa), o identificador de caminho (ao centro) e a borracha quântica (mais a direita).

Dispondo dessa montagem, acionando o laser, seu feixe de luz passará pelo identificador de caminho e em seguida pela borracha quântica. Assim, ao observarmos o anteparo é possível verificar o comportamento do feixe de luz.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esse experimento, de baixo custo e de simples execução, favorece o estudo de um dos fenômenos mais intrigantes da mecânica quântica, a dualidade onda-partícula da luz.

Como no clássico experimento de fendas duplas de Young, colocando um fino fio na frente do *laser* é possível observarmos num anteparo a formação de franjas, evidenciando a interferência da luz que passou pelo lado esquerdo e direito do fio. Ou seja, é impossível sabermos por qual lado do fio passou o fóton.

Para descobrirmos isso, colocamos um identificador de caminho, que são os dois polarizadores fixados perpendicularmente (o da esquerda foi fixado horizontalmente e o da direita foi fixado verticalmente), com o fio (ou grafite) no meio. Isso acontece porque agora podemos identificar exatamente o lado pelo qual o fóton passou. Podemos fazer isso, pois o fóton que passou pela esquerda teve seu estado alterado, ou seja, ficou polarizado horizontalmente e o que passou pela direita ficou polarizado verticalmente. Porém, com a presença do identificador de caminho, percebemos que as franjas de interferência, que visualizamos anteriormente apenas com o fio, são destruídas, dando origem a uma nova imagem, sem a presença de qualquer franja, como mostra a imagem da esquerda Figura 2. Ou seja, o fato de “olhamos” para o trajeto do fóton, o faz passar apenas por um lado do fio, deixando de evidenciar o seu comportamento quântico.

Ao introduzirmos a borracha quântica no experimento, que é um novo polarizador fixado a  $45^\circ$ , o padrão de interferência reaparece no anteparo (Figura 2). Isso acontece porque estamos apagando a informação sobre qual lado cada fóton passou, ou seja, estamos apagando o estado de polarização anterior dos fótons, daí o nome “borracha quântica”. Agora temos que cada fóton com polarização vertical tem 50% de chance de chegar ao anteparo pelo lado esquerdo, e o mesmo acontece com os do lado direito. Nos dois casos os fótons adquirem uma mesma polarização,  $45^\circ$ , assim não temos como saber se um determinado fóton veio do lado esquerdo ou se veio do direito.

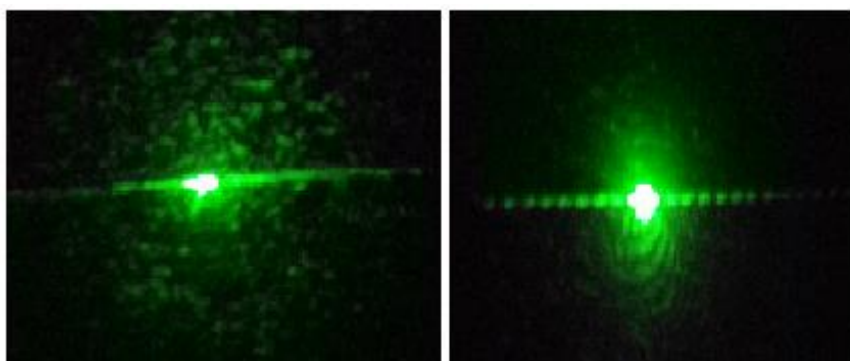


FIGURA 2. À esquerda pode-se notar as franjas destruídas pelo identificador de caminho e à direita, as franjas de interferência restauradas pela borracha quântica.

### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho aqui apresentado tratou de um experimento de simples execução e financeiramente viável, podendo, portanto, ser reproduzido em qualquer sala de aula, tanto do ensino superior como do ensino médio. Esse experimento poderá proporcionar aos alunos um contato direto com uma das questões mais fundamentais da mecânica quântica, o comportamento dual da natureza. Trata-se, portanto, de uma forte ferramenta que poderá auxiliar no processo de ensino e aprendizagem da física quântica, vencendo as dificuldades conceituais e epistemológicas próprias dessa disciplina.

#### **REFERÊNCIAS**

FACCIPIERI JUNIOR, Jorge H. **Construção de uma Borracha Quântica**. Universidade Estadual de Campinas. Disponível em: <[http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530\\_F590\\_F690\\_F809\\_F895/F809/F809\\_sem2\\_2007/JorgeH-MonicaRF.pdf](http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem2_2007/JorgeH-MonicaRF.pdf)>. Acesso em 04 julho 2017.

HILLMER, R.; KWIAT, P. **Faça você mesmo uma Borracha Quântica**. Scientific American Brasil. Nº 61, P. 76-81, junho 2007. Disponível em: <[http://www2.uol.com.br/sciam/reportagens/faca\\_voce\\_mesmo\\_uma\\_borracha\\_quantica.html](http://www2.uol.com.br/sciam/reportagens/faca_voce_mesmo_uma_borracha_quantica.html)> Acesso em 04 julho 2017.