

**VICTORIA MIGUEL DOS SANTOS SILVA
MARCOS ANTÔNIO BARROS SANTOS**



**A DUALIDADE ONDA–PARTÍCULA POR MEIO DAS ABORDAGENS
HISTÓRICA E EXPERIMENTAL**

**CAMPINA GRANDE – PB
2023**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S586d Silva, Victoria Miguel dos Santos.
A dualidade onda-partícula por meio das abordagens
história e experimental [manuscrito] / Victoria Miguel dos
Santos Silva. - 2023.
22 p.

Digitado.
Dissertação (Mestrado em Profissional em Ensino de
Ciências e Matemática) - Universidade Estadual da Paraíba,
Centro de Ciências e Tecnologia, 2023.
"Orientação : Prof. Dr. Marcos Antônio Barros Santos,
Coordenação do Curso de Física - CCT. "
1. Ensino de Física. 2. Metodologia ativa. 3. Ensino
remoto. 4. Educação básica. I. Título

21. ed. CDD 530.7

VICTORIA MIGUEL DOS SANTOS SILVA

**A DUALIDADE ONDA–PARTÍCULA POR MEIO DAS ABORDAGENS HISTÓRICA
E EXPERIMENTAL**

Produto Educacional apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual da Paraíba, resultante da pesquisa realizada em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Educação Matemática.

Área de concentração: Ensino de Ciências e Matemática

Linha de pesquisa: Metodologia didática e Formação do Professor no Ensino de Ciências e Educação Matemática.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Antônio Barros Santos

**CAMPINA GRANDE – PB
2023**

Olá caro colega de profissão,

Este material didático se destina a você professor (a) de Física, com o objetivo de te auxiliar com uma sugestão de atividade para o Ensino de Física. Aqui, você encontrará uma sequência didática que possui como enfoque a compreensão da dualidade onda-partícula, fazendo uso das abordagens histórica e experimental, através do uso de simuladores, os chamados laboratórios virtuais. Esta sequência didática é consequência do produto educacional resultante da Dissertação do Mestrado Profissional em Ensino de Ciência e Matemática do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática – PPGECEM ofertado pela Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, que tem por título “INSERÇÃO DA DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA NO ENSINO MÉDIO POR MEIO DE ABORDAGENS HISTÓRICA E EXPERIMENTAL”, elaborada sob orientação do Professor Dr. Marcos Antônio Barros Santos. O objetivo é o de introduzir a Física Moderna e Contemporânea, apresentando aos alunos do 3º ano do ensino médio a dualidade onda-partícula da luz.

Nesta sequência, você encontrará um material que te ajudará a obter aulas mais interativas, a partir de uma metodologia que busca envolver os alunos em seu processo de construção do conhecimento, fazendo-os pesquisar, buscar, ler, praticar e desenvolver, tornando-se o protagonista de seu aprendizado.

Esperamos que esse material contribua de maneira significativa em tua prática e em tuas aulas. Faz bom proveito, adapta à tua realidade quando e se necessário!

Atenciosamente,

Prof. Ma. Victoria Miguel dos Santos Silva

Prof. Dr. Marcos Antônio Barros Santos

SUMÁRIO

<i>Apresentação</i>	04
O ENSINO DE FÍSICA NO ENSINO MÉDIO	05
METODOLOGIA ATIVA DE APRENDIZAGEM: A SALA DE AULA INVERTIDA ...	08
PROPOSTA DE ATIVIDADE: A SEQUÊNCIA DIDÁTICA	11
REFERÊNCIAS	16
APÊNDICE I – QUESTÕES DO PRIMEIRO FORMULÁRIO COM ENFOQUE NA DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA DISPONIBILIZADO NO GOOGLE FORMS	17
APÊNDICE II - QUESTÕES DO SEGUNDO FORMULÁRIO COM ENFOQUE NA DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA DISPONIBILIZADO NO GOOGLE FORMS	18
ANEXO A – TRECHO DE ARTIGO ENVIADO AOS ALUNOS ATRAVÉS DO WHATSAPP	19
ANEXO B – ROTEIRO DO EXPERIMENTO DO INTERFERÔMENTRO DE MACH-ZEHNDER	20

Apresentação

Sabemos que o Ensino de Física na Educação Básica enfrenta algumas dificuldades que perpassam desde o modo como os estudantes enxergam a disciplina com um considerável grau de dificuldade de compreensão e relação com seu dia a dia ao método de ensino adotado.

Buscando contribuir para a melhoria desse cenário, apresentamos a proposta de fornecer uma sequência didática que trabalha conteúdos da Física Moderna e Contemporânea, os quais geralmente não são abordados no período do ano letivo. Uma das justificativas que podemos encontrar para a falta da Física Moderna e Contemporânea na sala de aula é a falta de tempo e de suporte, diante da falta de materiais que possam vir a somar na prática docente.

A sequência didática pretende promover discussão e construção de conceitos da Física a partir da abordagem histórica e experimental, utilizando como metodologia ativa de aprendizagem: a sala de aula invertida. A temática da Dualidade Onda-Partícula geralmente não é trabalhada na terceira série do Ensino Médio, a qual é o foco de nossa proposta, e por ser um tema consideravelmente importante para a compreensão do mundo que nos cerca diante tantos avanços tecnológicos, buscamos abordá-la.

As atividades que compõem esta sequência didática buscam alcançar os respectivos objetivos e podem ser alteradas ou adaptadas a sua realidade, caso surja a necessidade do professor que irá utilizá-la.

O ENSINO DE FÍSICA NO ENSINO MÉDIO

Ao se investigar a qualidade do Ensino de Física (EF), é possível deparar-se com pesquisas que discutem as dificuldades que lhes são inerentes, durante o período da formação básica (ROBILOTTA, 1988; PENA & RIBEIRO FILHO, 2008; MONTEIRO, NARDI & BASTOS FILHO, 2009). Dentre essas, podemos destacar a concepção dos alunos enquanto uma disciplina difícil e sem conexão com a sua realidade, estimulando-os a pensar que aprender Física em nada lhes acrescentam. Ademais, isso é reforçado, algumas vezes, pela metodologia de ensino que está sendo utilizada em sala de aula, uma vez que é comum a aplicação e utilização da prática conhecida como ensino tradicional.

Tendo em vista que as metodologias de ensino possuem autonomia e influência sobre o comportamento do estudante na aula, já que estas podem ou não influenciar o seu interesse de participação, existem estratégias de ensino que podem despertar, no estudante, a vontade por aprender, e esse, quando envolvido e interessado no contexto, aprenda de fato. Podemos citar como exemplos de estratégias de ensino atividades laboratoriais, jogos, textos, filmes, apresentação de trabalhos, etc.

Quando pensamos na “Geração Z”¹, é provável que lhe sejam intrínsecos a curiosidade e os questionamentos sobre como funcionam essas tecnologias. Para obter essas respostas, deve-se partir das leis e teorias da ciência que são utilizadas para esse desenvolvimento tecnológico. Diante dessa percepção, vale ressaltar um fato que me inquieta desde a graduação, a falta da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, à qual só obtive acesso na minha graduação em Licenciatura em Física.

Nas sociedades contemporâneas, muitos são os exemplos da presença da Ciência e da Tecnologia, e de sua influência no modo como vivemos, pensamos e agimos: do transporte aos eletrodomésticos; da telefonia celular à internet; dos sensores óticos aos equipamentos médicos; da biotecnologia aos programas de conservação ambiental; dos modelos submicroscópicos aos cosmológicos; do movimento das estrelas e galáxias às propriedades e transformações dos materiais (BRASIL, 2018, p. 546).

Diante desse contexto, se torna evidente a relevância do estudo da Física Moderna e Contemporânea (FMC) ainda no Ensino Médio (EM). A contribuição que o

¹ Geração Z: pessoas nascidas entre os anos de 1995 e 2010.

estudo dessa parte da Física apresenta é necessária para que os estudantes aprendam e compreendam, ainda estando no EM, não somente sobre o processo de construção e avanço da tecnologia, mas também sobre o modo como o mundo que os cercam acontece. Especialmente, pelo fato de muitos desses estudantes, após a conclusão de seu ensino básico, não terem mais contato com a disciplina em questão.

A importância de se introduzir a FMC no EM, evidenciando a necessidade de compreensão do mundo moderno, é destacada por diversos autores, conforme se comprova a seguir:

É inegável que os conteúdos contemporâneos da ciência exercem uma influência cada vez maior no cotidiano das pessoas exigindo que sua compreensão seja imprescindível para o entendimento do mundo moderno. Os cidadãos vivem inseridos em uma sociedade cada vez mais tecnológica, fruto de uma industrialização que tomou proporções inimagináveis a partir do século XX, alavancada por “revolucionárias” teorias científicas. A “Física Moderna” que surgia seria, então, fundamental para a leitura do mundo que o homem viria a construir (BROCKINGTON, 2005, p. 9).

De acordo com Terrazzan (1992, *apud* PENA, 2006, p. 1), os conteúdos de FMC influenciam no entendimento do mundo atual e a inserção do cidadão na sociedade define a necessidade de se debater e estabelecer maneiras para abordar tais conteúdos no EM, pois esse cidadão deve sair da escola pronto para interagir em sociedade, de modo que ele possa compreender, de fato, a realidade à qual está exposto.

Conforme observa-se, já há algum tempo, a introdução da FMC é vista não somente como interessante, mas também como importante para o ensino e, por isso, a fala de Terrazan (1992) é considerada bastante atual. Com a introdução da FMC na sala de aula, temos a possibilidade de os estudantes reconhecerem a aproximação da Física com seu cotidiano e terem contato com a ciência do século XX, de modo que percebam que a Ciência é algo que se constrói ao longo do tempo.

O conhecimento da FMC permite o conhecimento sobre a utilização e a utilidade dessa parte da ciência em seu cotidiano, como por exemplo, compreender o funcionamento das portas automáticas, da iluminação pública, da leitura dos códigos de barra, entre outras possíveis situações.

Monteiro, Nardi e Bastos Filho (2013) destacam que os pesquisadores Gil Pérez, Senet e Solbes (1987) defendem que a FMC proporciona uma visão mais coerente sobre a Física e sobre o trabalho científico e que outros pesquisadores como

Stannard (1990) e Torre (1998) trazem que a FMC, além de motivar os estudantes, pode conectá-los à história, proporcionando, assim, um maior entendimento sobre as tecnologias. Para que ocorra a introdução da FMC no EM, de modo que não aconteça uma mera reprodução do livro didático, é necessário que os professores de Física, quando em sua formação, conheçam os aspectos do conhecimento daqueles que participaram da consolidação da FMC, como também o seu processo de construção.

Buscando auxiliar neste quesito, este estudo apresenta a realização de uma sequência didática estruturada em seis encontros com duração de aproximadamente quarenta e cinco minutos, cada. De caráter qualitativo, com a aplicação de pré-teste e pós-teste, as aulas, que serão aqui chamadas de encontros, possuem abordagem histórica e abordagem experimental, com ênfase na seguinte metodologia de ensino ativa: sala de aula invertida.

METODOLOGIA ATIVA DE APRENDIZAGEM: A SALA DE AULA INVERTIDA

A metodologia tradicional das aulas expositivas e dialogadas configura a ideia de que, na sala de aula, existe uma condição ideal, visando à expectativa de que todos os estudantes aprendam do mesmo modo e ao mesmo tempo, tendo em vista que esses se encontram expostos, simultaneamente, às informações e às explicações que o professor transmite. Sabemos que o idealismo dessa prática pode até ser bonito, à medida que o professor ensina, em seguida, passa atividade e o estudante estuda para poder responder suas atividades, mas, na prática, os resultados obtidos nem sempre condizem com o resultado esperado.

Tendo em vista que os âmbitos sociais e culturais estão intimamente relacionados às tecnologias, observa-se que com a educação não poderia ser diferente. Todavia, para muitos dos profissionais da educação um dos principais desafios é saber como aliar as tecnologias ao ensino de forma que haja um processo de interação e colaboração entre os estudantes e o professor (DA SILVA *et al.*, p. 493, 2021).

Quando pensamos em uma aula que possua uma boa participação e, conseqüentemente, surta efeitos na aprendizagem, nos deparamos com a necessidade de utilizar novas metodologias, diferentes das quais já estamos habituados. E quando isso acontece, é importante que não somente a metodologia mude, mas a prática do professor também se transforme diante da realidade, na qual ele se encontra.

[...] os recursos digitais podem ser úteis, oferecendo conteúdo a ser estudado, bem como promovendo a comunicação entre professores e alunos em horário e lugar de conveniência de cada um, ou seja, permitindo simultaneamente estudo independente e comunicação assíncrona, respeitando a individualidade e a disponibilidade dos envolvidos (DA SILVA *et al.*, 2021, p. 493).

Objetivando, então, a participação ativa e efetiva do estudante e sua conseqüente aprendizagem, pensa-se na metodologia ativa de aprendizagem, sala de aula invertida (SAI). Esse é um método, em que o estudante, de fato, se envolve em seu processo de desenvolvimento da aprendizagem, resolvendo problemas e buscando soluções de modo autônomo, cabendo-lhe buscar os melhores meios para essas devidas realizações.

Aaron Sams foi o professor que teve a ideia de gravar aulas em vídeo, para que os estudantes assistissem como dever de casa e o tempo em sala de aula fosse utilizado para ajudá-los com conceitos que não compreenderam. Assim, surgiu a SAI durante o ano letivo de 2007-2008, quando dois professores de química, Aaron Sams e Jonathan Bergmann, se sentiram incomodados com o fato de os estudantes não absorverem o conteúdo trabalhado na sala de aula e, conseqüentemente, serem impedidos de fazer o dever de casa.

A ideia consistia em gravar as aulas, os alunos as assistirem como dever de casa e fazerem anotações sobre o que aprenderam, com testes aplicados, ao fim de cada unidade de ensino. “Aplicamos esse método durante um ano e ficamos muito satisfeitos com o nível de aprendizagem dos alunos e tínhamos comprovações de que o modelo funcionava melhor para as crianças” (BERGMANN e SAMS, 2018, n.p).

Na metodologia da SAI, o ensino acontece de maneira que os estudantes recebem o conteúdo a ser estudado e as instruções acerca dele, para que, durante a aula, possam apresentar e explicar o conteúdo, desenvolver discussões, resolver problemas, etc. Nesta abordagem, cabe ao estudante estudar antes da aula, para que, na duração da aula em sala de aula, crie um espaço de perguntas, debates e atividades práticas. O professor surge, ao ajudar sobre as dificuldades encontradas, conforme essas são apresentadas, além de tornar-se também o mediador do debate que acontece em sala.

A sala de aula, ao se transformar em um espaço de debates, proporciona discussões acerca do que foi significativo para o estudante, obtendo um maior aprofundamento, auxiliando cada estudante na construção do seu conhecimento e promovendo uma maior autonomia, mostrando que o conhecimento é algo que pode se dar de forma dinâmica e interativa. (DA SILVA *et al.*, 2021, p. 495)

De acordo Felcher *et al.* (2021, p. 4), a metodologia da sala de aula invertida otimiza o tempo e a aprendizagem do estudante, uma vez que ele passa a ser responsável por buscar o conhecimento, antes de ir ao encontro do professor em sala de aula. Essa abordagem, além de proporcionar o debate acerca do conteúdo a ser estudado, ampliando o que se pode compreender, visto que o estudante é o protagonista de seu processo de aprendizagem, desenvolve também entre a turma o trabalho em grupo, uma vez que a interação desenvolvida na sala de aula possibilita que até o estudante que é envergonhado se sinta à vontade para expressar a sua

opinião e o que aprendeu acerca das questões, às que se encontra exposto.

Nitidamente, a aula gira em torno dos alunos, não do professor. Os estudantes têm o compromisso de assistir aos vídeos e fazer perguntas adequadas. O professor está presente unicamente para prover feedback especializado. Também compete aos alunos a realização e apresentação dos trabalhos escolares. Como também se oferece um guia de soluções, os alunos são motivados a aprender, em vez de apenas realizar os trabalhos pela memória. Além disso, os alunos devem recorrer ao professor sempre que precisarem de ajuda para a compreensão dos conceitos. O papel do professor na sala de aula é o de amparar os alunos, não o de transmitir informações (BERGMANN e SAMS 2018, n.p).

Felcher *et al.* (2021) aponta que, para a implementação da sala de aula invertida acontecer, é importante o planejamento acerca da sala, e isso se dá no sentido do que será desenvolvido online e presencialmente, como a elaboração do material que será disponibilizado para os alunos virtualmente e as atividades que serão realizadas posteriormente.

Conciliar o processo de ensino e aprendizagem com as tecnologias digitais disponíveis se faz necessário, uma vez que estimula um melhor desempenho e desenvolvimento do saber e conhecer por parte do estudante (DA SILVA *et al*, 2021, p. 493). É evidente a necessidade de refletir sobre o uso de metodologias de ensino que desenvolvam a participação ativa do público alvo em seu processo de aprendizagem, além de proporcionar interação em sala através do conteúdo abordado.

PROPOSTA DE ATIVIDADE: A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Tema: A Dualidade Onda-Partícula

Objetivo geral

Introduzir os conceitos fundamentais da Dualidade Onda-Partícula para os alunos do ensino médio a partir de uma abordagem histórica e experimental.

Objetivos específicos

- Compreender o fenômeno de reflexão e refração luz, discutindo a maneira como a luz se propaga e situações cotidianas referentes a estes fenômenos;
- Compreender o fenômeno de difração de uma onda de luz e discutir a maneira que ocorre suas variações diante do meio, no qual se propaga e sua interação com meios opacos;
- Compreender o fenômeno de interferência de ondas de luz e discutir sobre interferência construtiva e destrutiva;
- Compreender o fenômeno do Efeito Fotoelétrico diante da discussão sobre a natureza da luz e as ideias de Einstein para explicar este fenômeno;
- Abordar a concepção da dualidade onda-partícula e discutir sobre a teoria corpuscular e a teoria ondulatória;
- Discutir e analisar o padrão de interferência que ocorre diante da trajetória do feixe de elétrons e a trajetória de partículas, evidenciando a capacidade que a luz possui em se comportar como partícula e como onda.

Público alvo: Estudantes do 3º ano do ensino médio regular

Conteúdos:

- Reflexão e refração da luz
- Difração e Interferência de Ondas de Luz
- Efeito Fotoelétrico
- Dualidade Onda-Partícula

Material necessário:

- Computador
- Google Meet
- Google Forms
- Laboratório virtual
- WhatsApp

Número de aulas: Seis aulas de aproximadamente 45 minutos cada.

Desenvolvimento da atividade

Inicialmente, o professor fará um grupo no WhatsApp e adicionará os estudantes, com o intuito de manter contato, avisar sobre os dias de encontros para a realização da intervenção e também para utilizá-lo como meio de aprendizagem informal.

Através desse grupo, o professor enviará o link de acesso à primeira atividade referente a um questionário em formato de formulário através do aplicativo *Google Forms* (apêndice I). Este formulário deve ficar disponível para respostas por cerca de dois dias e possui como objetivo verificar o conhecimento prévio dos estudantes sobre a luz e seu comportamento onda-partícula. Este questionário será composto por duas seções: a primeira seção é composta pelas perguntas que se encontram disponíveis em apêndice e a segunda seção traz um vídeo intitulado: “Por que precisamos da Dualidade Onda-Partícula?”. Este vídeo se encontra disponível no link: https://www.youtube.com/watch?v=CgY_zBuK2Cw1, com duração de 11 minutos e 31 segundos.

Após o professor verificar as respostas dos estudantes, através do grupo de WhatsApp, deverá ser definido o dia e o horário para a realização do primeiro encontro virtual. Este encontro acontecerá através da plataforma de reuniões Google Meet e será centrado em discutir juntamente com os estudantes as respostas ao questionário e suas concepções sobre o vídeo a que assistiram. Durante essa discussão, deverão ser feitas relações com o cotidiano do estudante e o que eles identificam como parte da Dualidade Onda-Partícula.

Após o primeiro encontro, através do grupo no WhatsApp, o professor encaminhará aos estudantes, um artigo intitulado “Concepções de Dualidade Onda-

Partícula: Uma proposta didática construída a partir de trechos de fontes primárias da Teoria Quântica”, dos autores Nathan Lima, Cláudio Cavalcanti e Fernanda Ostermann, disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0270> (ver anexo A). Esse texto servirá como material de suporte e base para os estudantes durante seus estudos sobre o estudo da História da Dualidade Onda-Partícula, em relação a como se deu e como se chegou ao conceito.

No segundo encontro online, no primeiro momento, o professor será mediador de um debate entre os estudantes sobre as suas perspectivas diante da leitura que fizeram do artigo. Ainda neste encontro, em um segundo momento, o professor apresentará previamente sobre o conteúdo estudado, de maneira que possa esclarecer eventuais dúvidas e novamente abrirá espaço para discussão, com duração aproximadamente de dez minutos. Feito isso, serão disponibilizadas novamente as questões que foram respondidas (apêndice I), para que seja observado o novo ponto de vista de cada um após o contato com o conteúdo, ou seja, a sua evolução de conhecimentos.

Diante do segundo encontro, o professor terá observado o comportamento de cada estudante, conforme os níveis apresentados de conhecimento, desenvoltura e oratória. Com isso, organizará a divisão de quatro grupos compostos por cinco estudantes cada, de modo que esses sejam compostos por diferentes níveis. A formação e composição de cada grupo serão informadas aos estudantes através do grupo no WhatsApp.

Cientes de seus grupos, será definido sobre o tema que cada grupo deve estudar. O grupo 1 ficará responsável por Reflexão e Refração da Luz diante seu comportamento Ondulatório. O grupo 2 será Difração e Interferência das Ondas de Luz. O grupo 3 será Efeito Fotoelétrico. O grupo 4 será Dualidade Onda-Partícula.

O professor apresentará aos estudantes os experimentos por simulação, os chamados laboratórios virtuais. Através do grupo no WhatsApp explicará seu funcionamento através de textos, áudios ou vídeos, fazendo uso de experimentos virtuais relacionados a conteúdos que já foram estudados em anos anteriores. O objetivo dessa interação é que os estudantes tomem conhecimento sobre a simulação virtual e que possam buscar e estudar experimentos para explicar cada conteúdo que apresentarão ao restante da turma.

No dia em que acontecer essa interação no grupo do WhatsApp, deverá ser definido o dia de cada apresentação, para que os estudantes comecem a se preparar.

Feito isso, será enviado o link de um vídeo no YouTube, intitulado “Introdução como usar o Phet” com duração de seis minutos e trinta e dois segundos. O vídeo se encontra disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=VaNKqA3lab4&t=30s> .

A partir de então, os próximos encontros são de responsabilidade dos grupos, os quais terão, cada um, um encontro para fazer a sua apresentação. O professor ficará responsável por ajudá-los com a pesquisa, orientá-los como devem se preparar e sempre estar disponível para retirar dúvidas que surgirem. Deve sugerir-se que utilizem apresentação de slides, a simulação virtual e vídeos, caso julguem necessário, e o mais importante, que contextualizem o conteúdo, de modo que busquem o contexto histórico e a relação que cada tema possui em nossos dias, apresentando, desse modo, não somente a parte conceitual.

Em cada encontro, os demais estudantes serão orientados a fazerem anotações e tirem dúvidas existentes, pois isso servirá como material de estudo e apoio para a atividade final. Ao fim de cada um desses encontros, o professor debaterá brevemente sobre o conteúdo apresentado por cada grupo, promovendo debates e retirando dúvidas e a participação de cada estudante valerá como meio de avaliação. cuja apresentação/aula será sobre o conteúdo de Reflexão e Refração da Luz diante seu comportamento ondulatório. O intuito é que, utilizando o simulador, verifiquem que a luz se comporta, conforme é projetada em diferentes cores e/ou superfícies.

O quarto encontro será do grupo 2 e o conteúdo a ser abordado é o de Difração e Interferência de Ondas. O intuito é que, utilizando o simulador, verifiquem o comportamento das ondas na luz, no som e na água, e que, através da simulação apresentada, observem os espaçamentos existentes de acordo com a fonte utilizada para a construção do padrão de interferência.

O quinto encontro será do grupo 3 e o conteúdo a ser apresentado é o de Efeito Fotoelétrico. O objetivo é que, com a utilização do simulador virtual, compreendam como acontece o movimento dos elétrons na superfície metálica.

O sexto e último encontro será do grupo 4, cujo conteúdo é o de Dualidade Onda-Partícula. Se objetiva que o experimento utilizado seja o de Duas Fendas.

Ao fim da apresentação do grupo 4, o professor apresentará aos estudantes o experimento do Interferômetro de Mach-Zehnder. Esse experimento pode ser encontrado na internet e o seu roteiro também se encontra disponível na internet (anexo B). O objetivo é de apresentar aos estudantes o comportamento da luz diante

a produção das interferências construtivas e destrutivas produzidas pelos detectores do interferômetro.

Por fim, será enviado link de atividade em formulário para os estudantes, a fim de coletar dados referente aos conhecimentos adquiridos durante a intervenção (apêndice II).

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília. 2018.

BROCKINGTON, Guilherme. **A Realidade escondida: a dualidade onda-partícula para estudantes do Ensino Médio**. 2005. 268 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Instituto de Física, Instituto de Química e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: <http://www.hu.usp.br/wp-content/uploads/sites/293/2016/05/mestradoqui.pdf>. Acesso em: 21 jan 2022.

MONTEIRO, Maria Amélia; NARDI, Roberto; BASTOS FILHO, Jenner Barretto. A sistemática incompreensão da teoria quântica e as dificuldades dos professores na introdução da Física Moderna e Contemporânea no ensino médio. **Ciência & Educação**, v. 15, n. 3, p. 557-580, 2009.

MONTEIRO, Maria Amélia; NARDI, Roberto; BASTOS FILHO, Jenner Barretto. Física Moderna e Contemporânea no ensino médio e a formação de professores: desencontros com a ação comunicativa e a ação dialógica emancipatórias. **Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias**, v. 8, n. 1, p. 1-13, 2013. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/135134>. Acesso em: 12 jan. 2022.

PENA, Fábio Luís Alves. Por que, nós professores de Física no Ensino Médio, devemos inserir tópicos e ideias de Física Moderna e contemporânea na sala de aula?. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n.1, p. 1-2, 2006. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/3501/1/a01v28n1.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2022.

PENA, Fábio Luis Alves; RIBEIRO FILHO, Aurino. Relação entre a pesquisa em ensino de Física e a prática docente: dificuldades assinaladas pela literatura nacional da área. **Caderno Brasileiro Ensino de Ensino de Física**, v. 25, n.3: p. 424-438, dez. 2008.

ROBILOTTA, M. R. **Cad. Cat. Ens. Fís.**, Florianópolis, 5 (Número Especial): p. 7-22, jun. 1998.

APÊNDICE I – QUESTÕES DO PRIMEIRO FORMULÁRIO COM ENFOQUE NA DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA DISPONIBILIZADO NO GOOGLE FORMS

Olá, querido aluno!

Seja bem-vindo ao início de nosso curso sobre a Dualidade Onda-Partícula. As questões a seguir devem ser respondidas de acordo com o seu conhecimento adquirido em Física e, com suas próprias palavras.

Conto com a sua participação. Até já!

1. O que é luz?
2. O que é onda?
3. O que é partícula?
4. O que é elétron?
5. Já ouviu falar em fóton?
6. O que significa dizer que algo possui caráter dual?

Aluno (a): _____

APÊNDICE II – QUESTÕES DO SEGUNDO FORMULÁRIO COM ENFOQUE NA DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA DISPONIBILIZADO NO GOOGLE FORMS

Olá, querido aluno!

Chegamos ao fim de nossos proveitosos encontros do curso de Dualidade Onda-Partícula. As questões a seguir, são referentes ao que abordamos em nossos encontros, responda conforme seu conhecimento, e com suas palavras.


Fico feliz por sua participação. Obrigada!

1. De acordo com seus conhecimentos sobre o Efeito Fotoelétrico, descreva o fenômeno.
2. De acordo com seus conhecimentos sobre os fenômenos de refração e reflexão de ondas, responda: o que acontece na refração de ondas na água?
3. O que é uma difração e uma interferência de ondas?
4. Qual é a diferença existente entre uma onda e uma partícula?
5. Explique com suas palavras o que é a Dualidade Onda-Partícula.

Aluno (a): _____

ANEXO A – TRECHO DE ARTIGO ENVIADO AOS ALUNOS ATRAVÉS DO WHATSAPP

Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 43, e20200270 (2021)
www.scielo.br/rbef
 DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0270>

Produtos e Materiais Didáticos

 Licença Creative Commons

Concepções de Dualidade Onda-Partícula: Uma proposta didática construída a partir de trechos de fontes primárias da Teoria Quântica

Different Conceptions of Wave-Particle Duality: A didactic proposal built from excerpts from primary sources of Quantum Theory

Nathan Lima^{*✉}, Cláudio Cavalcanti[✉], Fernanda Ostermann[✉]

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul Instituto de Física, 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil.

Recebido em 01 de julho de 2020. Revisado em 30 de outubro de 2020. Aceito em 31 de outubro de 2020.

Muitos pesquisadores defendem que não é possível ensinar física quântica sem ensinar pelo menos um pouco de história da física quântica. A literatura, entretanto, aponta que as narrativas dos livros didáticos destoam em diferentes sentidos das fontes primárias, reduzindo a complexidade da natureza da ciência a uma visão mitológica da prática científica. Por outro lado, a leitura dos textos originais sem nenhum direcionamento, ou mesmo a leitura dos livros historiográficos, pode ser muito arenosa. Defendemos que uma possibilidade para enriquecer o ensino de física quântica é proporcionar ao aluno contato com os trabalhos originais, desde que não se perca de vista a finalidade didática de tal encontro. Buscando contribuir para essa proposta, apresentamos um texto didático, direcionado a alunos de graduação, sobre a dualidade onda-partícula, composto por uma seleção de trechos de fontes primárias de física quântica e por um conjunto de perguntas para guiar a leitura. Ao longo do artigo, apresentamos os marcos teóricos que guiaram a construção do material didático e, no corpo do texto, comentamos as perguntas propostas.

Palavras-chave: Ensino de Física Quântica, Mecânica Quântica, História e Epistemologia, Física Moderna e Contemporânea, Fontes Primárias.

Many researchers argue that it is not possible to teach Quantum Physics without teaching at least a little of history of Quantum Physics. The literature, however, points out that the textbook narratives differ in different directions from the primary sources, and they reduce the complexity of the nature of science to a mythological view of scientific practice. On the other hand, reading the original texts without any direction, or even reading the historiographical books, can be very difficult. We argue that a possibility to enrich the teaching of Quantum Physics is to provide the student with contact with the original works, as long as we do not lose sight of the didactic purpose of such a meeting. Seeking to contribute to this proposal, we present a didactic text, aimed to be presented to undergraduate students, on the wave-particle duality, composed of a selection of excerpts from primary sources of Quantum Physics and a set of questions to guide the reading. Throughout the article, we present the theoretical frameworks that guided the construction of the didactic material and, in the body of the text, we comment on the proposed questions.

Keywords: Quantum Physics Teaching, Quantum Mechanics, History and Epistemology, Modern and Contemporary Physics, Primary Sources.

1. Introdução

De uma forma geral, pode-se encontrar, na área de ensino de física, a classificação das diferentes abordagens para o ensino da teoria quântica em três grandes grupos: histórica, postulacional e fenomenológica [1]. As três diferentes abordagens, e todas as possíveis combinações e variações delas, têm aspectos positivos e desafios a serem superados. A abordagem fenomenológica, por exemplo, pode levar os estudantes rapidamente àquilo que Feynman denominou o “único mistério da física quântica”, isto é, a dualidade onda-partícula. Tal abordagem, entretanto, pode parecer assistemática e fragmentada,

não permitindo que os alunos ganhem, em um primeiro momento, a visão do arcabouço teórico completo da teoria. A abordagem postulacional, por outro lado, imediatamente, fornece aos estudantes o aparato matemático necessário para resolver os diferentes problemas exemplares da mecânica quântica e apresenta “um quadro completo” do formalismo da teoria. Tal abordagem, entretanto, pode ser demasiado abstrata, muito próxima ao famoso “*shut up and calculate*” [2] que por muito tempo dominou o *mainstream* da física teórica, criando nos estudantes uma sensação de “falta de sentido”, ou de falta de justificação “do porquê a Teoria é do jeito que é”.

A abordagem histórica, por sua vez, permite justamente oferecer esse “sentido” ao desenvolvimento da teoria, mostrando quais problemas motivaram as

* Endereço de correspondência: lima.nathan@gmail.com.

ANEXO B – ROTEIRO DO EXPERIMENTO DO INTERFERÔMENTRO DE MACH-ZEHNDER

ROTEIRO EXPLORATÓRIO INTERFERÔMETRO DE MACH-ZEHNDER

1. Com o software aberto, localize o menu LANGUAGE e selecione o idioma.
2. Selecione a opção VER FEIXES e observe o caminho que é seguido da luz no interferômetro. Em seguida selecione novamente esta opção para desativar este comando.
3. Vamos agora identificar as estruturas que compõem o interferômetro. Para isso basta você passar o mouse sobre cada uma delas. Localize a fonte, os espelhos, espelhos semi-refletores e anteparos.
4. Selecione a opção LASER e em seguida LIGADO. Observe o que aparece na tela do interferômetro. Descreva o que você observa nos anteparos.
5. Procure explicar a formação dos padrões de interferência observados. (**Dica:** uma reflexão em um espelho semi-refletor introduz um deslocamento de fase na luz correspondente a um quarto de comprimento de onda da mesma. Faça a soma dos deslocamentos de fase dos feixes que chegam a cada anteparo.)
6. Retire do interferômetro o espelho semi-refletor 2 (opção ESPELHO SEMI-REFL. 2). Qual a relação entre as intensidades da luz nos anteparos e a intensidade da luz emitida pela fonte?
7. Recoloque o espelho semi-refletor 2 no interferômetro.
8. A partir de meados da década de 1980, os avanços tecnológicos possibilitaram a utilização de fontes luminosas operam em regime monofotônico, ou seja, a intensidade luminosa é tão baixa que apenas um fóton é emitido pela fonte de cada vez. Selecione a opção FÓTONS ÚNICOS e observe os anteparos. (**Dica:** no *menu* FÓTONS/SEGUNDO, a simulação poderá ser acelerada se for colocado o valor 10, para que a emissão de fótons a cada segundo seja maior.)
9. Compare os padrões que vão se formando nos anteparos com os que foram observados quando o interferômetro foi utilizado com a opção LASER. Como é feita a detecção dos fótons nos anteparos? Após a detecção de um grande número de fótons, como podemos descrever a distribuição dessas detecções nos anteparos? (**Dica:** para responder a esta última pergunta, observe no canto superior direito da tela a contagem de fótons.)
10. Coloque um detector num dos braços do interferômetro (opção DETECTOR 1). Observe novamente a contagem de fótons, nos anteparos e no detector. O que você observa? (**Dica:** clique no botão ACELERAR.)

11. Observe agora os anteparos. O padrão de impactos revela interferência? Explique.
12. Coloque mais um detector no interferômetro (opção DETECTOR 2). O que se observa na contagem de fótons nos detectores e nas luzinhas dos detectores e da fonte? E na tela? Clique uma vez no botão ACELERAR. O que se observa nas contagens dos detectores?
13. Considerando apenas um fóton sendo emitido na fonte, descreva como se comporta um espelho semi-refletor. Obs.: um espelho semi-refletor (separador de feixe) divide um feixe luminoso em dois feixes de igual intensidade.
14. Se um fóton atravessa o aparelho de cada vez, como você descreve a formação do padrão de interferência observado na tela? (**Dica:** o padrão não foi formado pela interferência entre diferentes fótons, pois, a cada instante apenas um fóton atravessa o interferômetro e chega aos anteparos).
15. Vamos agora testar a atuação dos filtros polaróides. Clique na janela FILTRO POLARÓIDE 1 e selecione a opção FÓTONS ÚNICOS. Que padrão é observado nos anteparos?
16. Coloque, agora, o filtro polaróide 2 no interferômetro. Houve alguma alteração em relação ao que você observou antes?
17. Mude a inclinação de um dos filtros polaróides, digitando um valor para o ângulo ou girando-o diretamente. Descreva os padrões de interferência observados. Houve alguma alteração em relação ao que foi observado nas questões 2 e 3? Tente explicar o que você observou.
18. A detecção de cada fóton nos anteparos ocorre de forma localizada, numa posição definida. É natural, então, perguntar: no interferômetro, o fóton também possui a propriedade posição bem definida? Proponha uma maneira de descobrir isto usando uma combinação de filtros polaróides.
19. Vamos tentar descobrir por qual caminho passa o fóton usando dois filtros polaróides, um em cada braço do interferômetro, com uma inclinação relativa de 90° entre eles. Assim, se o fóton passar por apenas um dos braços, terá que sair do interferômetro, necessariamente, com sua polarização dada pelo eixo de polarização do filtro polaróide que se encontra naquele braço. Como você poderá descobrir qual o estado de polarização do fóton emergente?
20. Selecione a orientação do filtro polaróide 1 para 00° ou 360° e posicione o filtro polaróide 3 de modo que fique com orientação paralela ao primeiro. O que se observa nos anteparos?
21. O fóton tem ou não o atributo posição definido?

22. E então, por onde passou o fóton? (**Dica:** cruze os eixos dos polaróides.)
23. **a)** O que o resultado obtido no experimento até agora significa para o nosso modelo mental do fóton como um objeto que possui o atributo posição dentro do interferômetro?
- b)** Quando observamos um padrão de interferência na tela, os fótons possuíam este atributo dentro do interferômetro?
- c)** E quando não se observa um padrão de interferência? Por quê? (Dica: se os fótons possuísem o atributo posição quando dentro do aparelho, então cada fóton só poderia interagir com um dos polaróides nos braços do aparelho, certo?).
24. Coloque os detectores 1 e 2 no interferômetro. Verifique se os dois detectores registram simultaneamente a entrada de cada fóton individual no interferômetro. O que você observa?
25. Com os dois detectores de fótons colocados no interferômetro, qual a probabilidade de detecção do fóton no detector 1? E no detector 2?
26. Considerando o item acima tente dar uma explicação em torno da dualidade onda-partícula para o que ocorre com o estado do fóton quando tentamos descobrir por qual dos braços ele passa.