

ASPECTOS CONCEITUAIS E HISTÓRICOS DA FÍSICA MODERNA: UM FOCO NA DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA NO ENSINO DE FÍSICA

Gabriel Silva Santos

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Uendel da Silva Oliveira Santos

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Reinaldo Moreira De Aquino Junior

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Carlos Takiya

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Resumo: O presente artigo é um Relato de Experiência elaborado no decorrer da disciplina Práticas de ensino de Física 3. Vista a alta demanda por conteúdos que se encaixe com o cotidiano dos alunos, os conteúdos do Ensino Médio, no geral, ficam presos à física construída no século XIX, porém o mundo onde eles estão inseridos cada vez mais se utiliza de física moderna em aparelhos e na mídia. Com o intuito de elaborar uma proposta didática para o ensino de Física Moderna, construímos uma linha do tempo que descreve os principais pontos históricos relevantes para a Dualidade Onda- Partícula, com o propósito de que os alunos e professores tivessem uma visão mais ampla de como ocorreram os embates teóricos entre os cientistas. Após este processo, escolhemos trabalhar com o uso de uma simulação PHET, sob o referencial de Gaspar (2005), para explorar melhor o conceito trabalhado e falar sobre o famoso experimento de Young de Fenda Dupla e como ele revolucionou a física. Além disso, indicamos algumas propostas lúdicas com analogias que podem ser trabalhadas pelos professores, se for oportuno. Por fim temos o objetivo de trazer uma visão mais crítica de como podem ser abordados aspectos da Física Moderna para discentes do Ensino Médio.

Palavras-chave: Cronologia. Dualidade Onda-Partícula. Simulação.

Introdução

A física quântica tem inquietado grandes cientistas por toda história, fenômenos como dualidade onda-partícula, efeito fotoelétrico, entrelaçamento quântico entre outros fenômenos, possuem difícil compreensão e aceitação se usarmos a lógica presente em nosso mundo macroscópico. Ao nos aprofundarmos na física quântica, temos os nossos preceitos fundamentais quebrados colocando em questão a realidade daquilo que nos cerca. Como o renomado físico estadunidense Richard Feynman declarou: “Posso dizer tranquilamente que ninguém entende mecânica quântica” (FEYNMAN, 1985, tradução nossa). Todavia, apesar de ser de difícil compreensão, a mecânica quântica se tornou umas das teorias mais bem-sucedidas da física nos séculos XX e XXI.

A sociedade atual produziu diversos dispositivos que surgiram a partir dos estudos relacionados à Física Quântica, tais como, transistores (presente em diversos dispositivos eletrônicos como televisores, computadores e aparelhos celulares), lasers, monitores de LCD (display de cristal líquido) e dispositivos automáticos. Dessa forma, podemos notar, que a Quântica está diretamente ligada à tecnologia e por sua vez, elas estão ligadas a nós, o que se aplica para áreas distintas da física, pois se pensarmos em medicina talvez haja a impressão que ela não se utiliza de conhecimentos físicos, porém ressaltamos a utilização de diversos aparelhos eletrônicos que para sua construção tiveram como base a Quântica, assim, para uma boa compreensão de como funcionam determinados aparelhos, se torna necessário o estudo da área.

Esse conhecimento perpassa o cotidiano dos alunos. Seu contato com mídias que fazem referências a história da Física, principalmente com o uso de inúmeras referências, exemplo o gato de Schrödinger, trazem para os alunos fenômenos quânticos que não são apresentados na escola, entretanto, isso pode ocorrer de maneira pouco metódica e crítica. Em consideração desse fator, concordamos com Siqueira (2006) que afirma que já é consenso que a Física Moderna pode ser aplicada no Ensino Médio. Ao pensar nesse ensino, algumas considerações devem ser feitas, como o material de referência, a forma de apresentação, o caráter histórico e as contribuições daquele tópico para a sociedade que estamos inseridos, para isso, o professor deve possuir uma visão ampla do assunto que está trabalhando, com diversas possibilidades de metodologias para se adequar melhor à turma em questão. Logo, enfatizamos o aspecto cronológico, pois na física moderna, houveram inúmeras transformações importantes para o desenvolvimento da teoria atual. Para essa abordagem descreveremos o aspecto histórico geral do início da física moderna com enfoque na dualidade onda partícula e iremos propor uma atividade com uma simulação sobre o tema.

Na descrição histórica serão utilizadas duas referências fundamentais, Baker(2015) um livro de divulgação científica e Peduzzi (2011) um livro didático normalmente utilizado na disciplina Evolução dos Conceitos de Física, a ênfase é dada para Baker, pois a abordagem do livro ocorre de forma mais simples, o que facilita a transformação dos conteúdos para aspectos didáticos.

Aspectos Históricos da Física Quântica: Um resumo

A ideia da mecânica quântica surge quando um físico alemão chamado Max Planck, percebeu em 1901, que alguns fenômenos energéticos poderiam ser explicados através de uma equação, se a energia fosse descrita como um conjunto de pacotes quantizados e indivisíveis.

Cada “pacote” desse foi chamado de *quantum*, palavra originada no latim e significa quantidade, ele ainda não havia percebido, mas naquele momento estava nascendo a física quântica. A ideia de Max Planck foi posteriormente utilizada por Albert Einstein em um artigo de 1905, que versa sobre um fenômeno chamado efeito fotoelétrico, artigo esse que lhe rendeu um Prêmio Nobel.

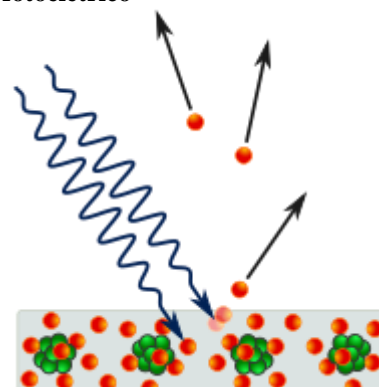
$$E = h.\nu$$

Equação de Planck

A concepção predominante por algum tempo foi a de Isaac Newton, uma das maiores referências científicas que havia publicado 1704, ou seja, 200 anos antes, o livro *Opticks*, no qual ele postula de forma mais concreta a sua teoria (que já havia sugestões desde 1672) de que a luz era composta por corpúsculos extremamente pequenos, que viajava em linhas retas e que a matéria era composta por corpúsculos maiores. Algum tempo depois, em 1818, o trabalho de Augustin-Jean Fresnel, demonstrara que a luz apresentava alguns comportamentos ondulatórios, como difração, reflexão e interferência, para isso, ele utilizou das teorias ondulatórias de Huygens elaboradas em 1678, que eram utilizadas apenas para descrever ondas mecânicas. O golpe final na teoria corpuscular da luz veio com James Clerk Maxwell, que consolidou a teoria ondulatória e com as suas equações, uniu a eletricidade e o magnetismo. Parecia que o debate havia sido encerrado, até que Einstein, que havia utilizado as equações de Maxwell na teoria da relatividade em 1905, surpreendeu o mundo científico, propondo que a luz não só era onda, mas também era formada por partículas.

O comportamento da luz se mostra um tanto intrigante em vários experimentos. No experimento do efeito fotoelétrico, como mostra a figura 1, a luz parece se comportar como uma série de corpúsculos, enquanto no experimento de dupla fenda de Young, ela apresenta comportamento ondulatório. O efeito fotoelétrico, de maneira resumida, se refere a emissão de elétrons de um material normalmente metálico, quando exposto a alguma radiação eletromagnética, como a luz. De acordo com a teoria eletromagnética clássica, esse efeito pode ser explicado devido a transferência de energia da onda luminosa para os elétrons presentes na superfície do material, entretanto, ao aumentar a intensidade da luz, era esperado que os elétrons fossem

Figura 1 - Representação do efeito fotoelétrico



Disponível em:
<https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Photoelectric_effect_in_a_solid_-_diagram.svg>

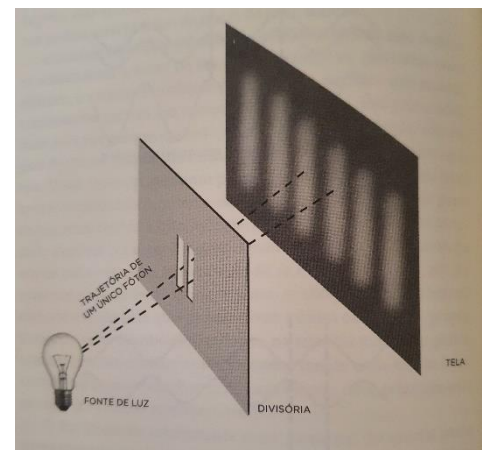
mais energizados logo, haveria um aumento da sua velocidade de emissão, ademais, também era esperado que uma luz de pequena intensidade, após um certo intervalo de tempo, fosse também, capaz de remover elétrons da chapa de metal, porém nessa situação isso não ocorre.

Quando uma luz vermelha de baixa frequência incide sobre o material metálico, uma certa quantidade de elétrons é emitida, porém, ao aumentar a intensidade da luz mais elétrons são emitidos, contrariando a física clássica, que sugeria que a mesma quantidade de elétrons deveria ser emitida, porém com uma velocidade maior. No entanto, quando a luz incidida é a luz azul (de maior frequência), os elétrons são emitidos de forma muito mais rápida. Esse comportamento só pode ser explicado se a luz se comportar não como uma onda contínua, mas como pequenos pacotes de energia chamados de fótons. Um fóton de luz azul por exemplo, tem mais energia do que um fóton de luz vermelha, assim, o fóton azul se comporta como se fosse uma bola de bilhar com mais energia, transmitindo essa energia para o elétron que ganha mais quantidade de movimento, desta forma, aumentar a intensidade da luz, não aumenta a velocidade dos elétrons, só aumenta a quantidade de elétrons emitidos.

No experimento da dupla fenda de Young, a luz já assume um outro papel. O experimento consiste em emitir um feixe luminoso que deve passar por duas fendas, atrás das fendas existe um anteparo que deve identificar as regiões onde a luz consegue chegar. Neste experimento, quando os fótons, ou seja, a luz é emitida pela fonte, o fóton parece agir como se estivesse em dois lugares diferentes, e no anteparo surge um padrão de interferência típico das ondas. Este experimento consegue provar a natureza ondulatória da luz.

Durante toda a história da física clássica os objetos poderiam se encaixar em uma de duas categorias, ou era partícula ou era onda. Com o avanço da física moderna, sobretudo da mecânica quântica, descobrimos que na realidade, os objetos poderiam ser tanto onda quanto partículas. A luz é um grande exemplo, em certas ocasiões ela se comporta como partícula, como é o caso do efeito fotoelétrico, mas em outros momentos ela pode se comportar como onda, como é o caso do experimento da dupla fenda de Young. Esta afirmação inquietou grande parte dos cientistas da época, certamente Louis de Broglie dedicou muito tempo à questão.

Figura 2 - Representação do experimento da dupla fenda de Young



Fonte: Hawking (2015) Imagem escaneada da obra Uma Breve História do Tempo.

“A dualidade onda-partícula não se aplica apenas à luz” (BAKER, 2015). Essa foi uma constatação de Louis de Broglie em sua tese de doutorado em 1924. Ele afirmou que partículas e até objetos maiores deveriam possuir um comprimento de onda associado a si. Quanto maior o objeto, menor seria o comprimento de onda associado ao corpo. Uma bola de tênis por exemplo, teria o comprimento de onda na ordem de 10^{-32} metros. Alguns anos depois, a sua tese foi comprovada quando foi observado o comportamento da difração em elétrons. Com a tecnologia atual, os cientistas já observaram o comportamento dualístico em prótons, nêutrons e até em algumas moléculas.

Diante da quase totalidade dos professores realizarem suas atividades pautadas em resoluções de exercícios conceituais e matemáticos, as escolas tendem a estudar uma física mais voltada para a matemática, o que pode ser um possível fator para a dificuldade no aprendizado dos alunos. Uma ferramenta que ainda vem sendo pouco utilizada quando falamos em ensino de física é a história da física. A utilização da história em cursos como física pode ser uma boa estratégia para imergir o aluno no contexto que vem sendo trabalhado, já que a Física por sua vez está mais relacionada com a natureza e a história do que com a matemática. Quando analisamos o comportamento de grande parte dos professores em frente ao ensino de Física, podemos facilmente ver a falta de ligação das práticas ensinadas com todo o arcabouço histórico que envolve determinados conteúdos. Em vista desses fatos podemos dizer que a prática do ensino da física nas escolas brasileiras está desvinculada de sua realidade histórica.

Ainda sobre os problemas encontrados no ensino de ciências/física, é evidente a tentativa vã de se ensinar física como se esta fosse construída de forma linear, pois seguindo o raciocínio de como vem atuando o ensino, podemos ver grandes falhas, onde primeiramente, tenta-se ensinar a Física Clássica para se possível alcançar o estudo da Física Moderna, o que não se alcança, outra falha está em tentar ensinar os conceitos para se possível fazer experimentações, e aqui, pensando mais na economia e suporte que as escolas disponibilizam para os alunos, sabemos que não existem laboratórios que permitem tais experimentos, ou seja, os alunos acabam que não realizam nenhum tipo de experimento assim ficando apenas com o conteúdo ministrado pelo professor.

Simulações no Ensino de Física

Em meio a esses problemas, uma possível solução para tentar facilitar o ensino de práticas em escolas cujos laboratórios não estão presentes é o uso de simulações. Segundo Ribas (2015), o uso de simulações computacionais no ambiente de ensino serve como um

facilitador no processo de aprendizagem, pois os estudantes podem visualizar o fenômeno. Diferente das práticas convencionais onde o manuseio de equipamentos acaba dificultando o processo de ensino e aprendizagem, as simulações trazem grandes benefícios frente a isso, já que os projetos já se encontram prontos para o uso.

A universidade do Colorado realizou um projeto PhET, que permite de forma gratuita o acesso a diversas simulações na perspectiva de contribuir com o ensino, podendo servir como facilitador na aprendizagem, ajudando os alunos a terem uma melhor compreensão dos fenômenos que os cercam. O PhET disponibiliza simulações em Java, Flash ou HTML5 para física, biologia, química, ciências da terra e matemática, onde suas simulações podem ser executadas em qualquer dispositivo com conexão à internet. Além de disponibilizar as simulações por nível de ensino.

Fazer uso de simuladores no ambiente de ensino propõe uma maneira diferenciada de ensinar, criando vias alternativas de trabalhar determinados conteúdos, sendo que o uso do simulador na sala de aula bem como no laboratório de informática pode funcionar como um meio de ligação entre os saberes teóricos e práticos. (RIBAS, 2015)

Neste sentido, fazer uso das simulações virtuais no ensino, pode auxiliar professores e alunos nos conteúdos científicos, se tornando uma ferramenta poderosa no alcance de objetivos educacionais. Pensando no ensino de Física, através das simulações é possível obter processos inacessíveis de serem reproduzidos e até mesmo visualizar o que muitas vezes fica apenas no conteúdo teórico.

Costa (2017) questiona a ideia de utilizar teorias de aprendizagem para fundamentar a elaboração e aplicação de abordagens com simulações computacionais, com isso surge a pergunta: “Como utilizar essas tecnologias para promover o aprendizado?” (Ibid., p. 7533)

Através do PhET, o professor ao planejar sua aula, pode introduzir as simulações em diferentes situações. A primeira situação a ser aplicada é quando o professor leva situações presentes no cotidiano dos alunos como forma de simulação, tentando assim buscar a motivação dos estudantes para o conteúdo proposto, já que grande parte dos alunos vivenciam as situações, mas não conseguem interpretar completamente ou corretamente.

A segunda situação está quando o professor utiliza a simulação em conjunto ao conteúdo. Aqui o professor leva para o aluno uma forma de visualizar o que está sendo ensinado, já que no ensino de Física, muitos conteúdos não permitem uma fácil visualização, principalmente quando falamos de Física Quântica, que para podermos obter alguma imagem é necessário fazer uso de determinado aparelho.

A terceira situação é quando o professor usa as simulações como práticas de ensino, onde o aluno a partir dos conteúdos ministrados em aula aplica seus conhecimentos. Segundo Ribas (2015), nessa etapa da abordagem, sugere-se o uso do simulador para revisar, de forma sistematizada, os assuntos tratados teoricamente ou então, usá-lo como ferramenta alternativa na avaliação do processo ensino-aprendizagem. Sendo que este recurso poderá ser utilizado como um dos critérios de avaliação.

Proposta Didática

Como o referido artigo foi elaborado durante o processo de uma disciplina, as propostas apresentadas aqui terão caráter mais amplo de aplicação ficando a cargo do leitor a adaptação ao contexto que serão utilizadas.

Para ter o aspecto histórico, sugerimos uma linha do tempo com finalidade de consulta para os alunos e professores. Essa linha do tempo pode ser abordada de vários modos, como atividade para os alunos, pode ser elaborada pelo próprio professor e os alunos irão analisá-la durante a aula, com inúmeras possibilidades de focos históricos, especialmente no que se trata da física moderna.

Daremos como exemplo uma linha resumo elaborada pelos autores com o que pensamos ser os principais pontos históricos para a concepção da dualidade onda-partícula. As informações nela foram retiradas do livro base da parte histórica do artigo.

1678	1704	1801	1818
Huygens elabora um princípio para a descrição da propagação de ondas mecânicas	Newton lança o livro <i>Opticks</i> , postulando o comportamento corpuscular da luz	Young revelou aspectos contraditórios da luz com o experimento da dupla fenda	Fresnel demonstra com a teoria de Huygens que a luz apresenta comportamentos de onda

Resumo das linhas do tempo de Baker (2015)

1873

Maxwell unificou a eletricidade e o magnetismo com suas 4 equações

1901

Publicação da Lei de radiação de Corpo Negro por **Planck**

1905

Einstein publica o artigo sobre o Efeito Foto-Elétrico

1924

De Broglie inicia na sua tese de doutorado o conceito de Dualidade Onda-partícula

Resumo das linhas do tempo de Baker (2015)

Com essas imagens esperamos que os alunos percebam, com o auxílio do professor, como o conhecimento foi produzido de forma não espontânea por somente um gênio que teve uma ideia revolucionária, mas enfatizamos aqui, assim como Peduzzi (2011) que a ciência se dá por processos e não de forma contínua, como um acúmulo de conhecimentos. Enfatizando a visão de Kuhn (2020) reforçamos a ideia de mudança de paradigmas na ciência, no caso analisado, a mudança do de Newton para o de De Broglie. Para Kuhn, o progresso da ciência acontece nas adaptações dos paradigmas existentes, até que estes não sejam suficientes para explicar a realidade.

Podemos enfatizar também que, essa mudança de paradigmas não se deu de forma totalmente neutra, mas sim com embates entre as teses de cientistas em busca de uma descrição mais precisa da natureza. Cada um dos cientistas possuía concepções próprias que os guiavam em suas escolhas de abordagens científicas, isso explica a vasta gama de ideias presentes na ciência sobre um determinado tema e até sobre a própria natureza da ciência em grupos especializados (BAGDONAS, 2014).

Para o trabalho do conceito em si de dualidade, iremos focar no uso das simulações com o objetivo de fazer o aluno se questionar acerca da natureza e chegar a conclusão com o sentido histórico ainda presente.

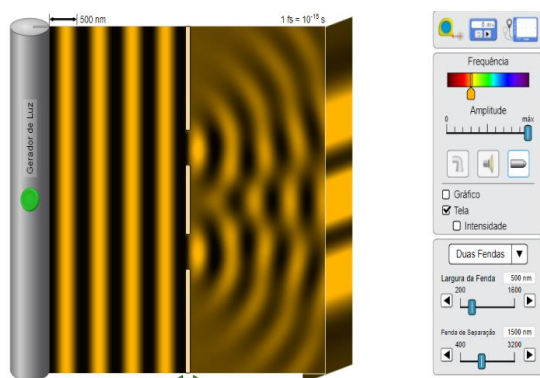
Roteiro da simulação

Para o trabalho da presente simulação sugerimos a abordagem de Gaspar(2005) de ‘atividades de demonstração’, isto é, atividades que incentivam o discente e trazem aos alunos uma visão de fazer testes com o que está sendo trabalhado, para desenvolver o conhecimento numa perspectiva socio-histórica. Então o professor irá sempre questionar os alunos do que eles pensam que irá ocorrer em cada etapa da experimentação e comparando as hipóteses dos alunos com as respostas se constroem aos poucos os ‘conhecimentos científicos’. A simulação auxilia de várias maneiras essa proposta, visto que os recursos para o seu uso (retroprojeto e

computador), são mais comuns em escolas do que experimentos em laboratórios. Na situação específica da Física moderna isso poderia se agravar, pois os experimentos clássicos não se encontram numa categoria de fácil disponibilidade em sala.

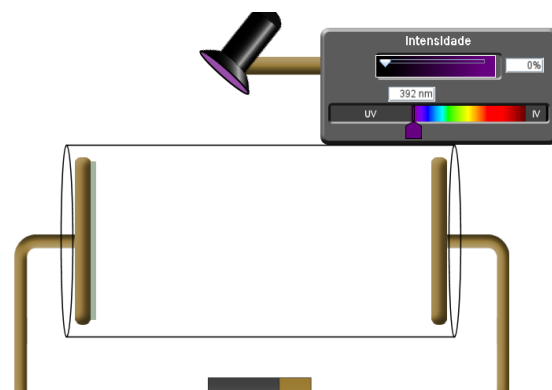
Uma das simulações que propomos trabalhar, irá abordar o experimento da Fenda Dupla de Young, a outra abordará o experimento do efeito fotoelétrico, dessa forma, podemos contextualizar os alunos para ajudar a comparar como a luz se comporta em diferentes contextos.

Simulação da dupla fenda de Young



Disponível em:
https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/wave-interference

Simulação do efeito fotoelétrico



Disponível em:
https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/photoelectric/latest/photoelectric.html?simulation=photoelectric&locale=pt_BR

Sugestão de Roteiro das Simulações

Instruções iniciais:

- ✳ Abra o link e escolha a opção de simulação Fendas
- ✳ Selecione o Gerador de luz
- ✳ Mude a simulação para Duas Fendas
- ✳ Selecione a opção Tela para visualizar o efeito do experimento num anteparo

Perguntas e Hipóteses

- ✳ Quando ligamos o gerador de luz o que nós vemos na tela?
- ✳ Qual a relação desse padrão com o que acontece entre as fendas e a tela?
- ✳ Esse é um comportamento que nós esperaríamos para a luz?
- ✳ Se estivéssemos jogando areia por essas fendas o resultado na tela seria o mesmo?
- ✳ Juntando as conclusões que tiramos dessas perguntas, podemos comparar a concepção de Newton com a de Dualidade Onda-Partícula? Uma invalida a outra? Uma está contida na outra?

Elaborado pelos autores

Instruções iniciais:

- ✿ Abra o link da simulação
- ✿ Varie a intensidade da luz
- ✿ Varie o comprimento de onda da luz
- ✿ Observe e anote o comportamento da corrente elétrica

Perguntas e Hipóteses

- ✿ O que acontece com a corrente elétrica quando variamos a intensidade da luz? Porquê?
- ✿ O que acontece quando variamos o comprimento de onda da luz? Porquê?
- ✿ Qual deveria ser o comportamento esperado segundo a física clássica?
- ✿ Se ao invés de luz visível, nós iluminássemos a chapa metálica com Raio X, o que aconteceria com a corrente elétrica?
- ✿ Juntando as conclusões que tiramos dessas perguntas, podemos comparar a concepção de Newton com a de Dualidade Onda-Partícula? Uma invalida a outra? Uma está contida na outra?

Elaborado pelos autores

Resumo conceitual

Com o objetivo de facilitar aos alunos o processo de consulta, deixamos também um resumo com alguns conceitos adaptados de Ramalho (2007). Os conceitos aqui podem ser abordados como ponto de chegada ou ponto de partida numa aula, isso irá depender do que o professor pretende com a simulação. Quando falamos dos conceitos como ponto de partida, a simulação terá características de demonstração, porém quando a simulação inicia a aula, os conceitos são o ponto de chegada com a manipulação da simulação.

→ Ondas:

Conceito: Onda pode ser definida com uma perturbação que se propaga em um meio.

Ondas mecânicas: São aquelas que surgem devido a uma perturbação em um meio elástico. Dessa forma uma onda mecânica necessita de um meio para se propagar.

Onda eletromagnética: Uma onda eletromagnética surge devido a oscilação de um campo elétrico que induz um campo magnético oscilante. Dessa forma uma onda eletromagnética não necessita de um meio para se propagar.

→ Fenômenos ondulatórios

- ◆ Refração: A refração é o fenômeno que ocorre quando o meio de propagação da onda é alterado.
- ◆ Difração: Difração é a capacidade que uma onda tem de contornar obstáculos.
- ◆ Interferência: A interferência é um fenômeno que acontece quando uma região do espaço recebe duas ou mais ondas originadas por outras fontes ou reflexões.

→ Física moderna:

- ◆ Efeito fotoelétrico: Ao iluminar uma chapa metálica com determinadas frequências luminosas, a luz consegue arrancar elétrons da chapa. Esse efeito só pode ser explicado se a luz se comportar como pequenos pacotes de energia quantizados, ou seja, partículas.
- ◆ Dupla fenda de Young: Neste experimento a luz apresenta um caráter ondulatório. Ao passar pela fenda dupla a luz apresenta fenômenos ondulatórios como Difração e Interferência.
- ◆ Dualidade onda-partícula: A dualidade onda-partícula não se aplica somente à luz. Elétrons, prótons, nêutrons, moléculas, e até corpos maiores como eu e você, apresentamos características tanto corpusculares como ondulatórias.

Aspecto Lúdico no Ensino de Física

O aspecto lúdico na física é o último tópico a ser abordado nesse conjunto de possibilidades apresentadas. Ferreira (2020), faz uma revisão acerca dos trabalhos publicados em eventos da área e verifica que as formas mais frequentes de uso lúdico no ensino de ciências se encontram no uso de jogos didáticos. Porém, como o foco de referências do trabalho esteve num livro de divulgação, propomos outro livro, ‘O enigma quântico: O encontro da física com a consciência’ (ROSENBLUM, 2017), que apresenta um texto fazendo uma metáfora com pessoas numa choupana.

O autor propõe que um observador vá para uma montanha, onde o guia o leva para um local onde existe um casal em frente a duas choupanas. Duas experiências são propostas. Na primeira delas, o casal entra em uma das choupanas, e o observador tenta adivinhar em qual choupana o casal está. Na segunda experiência, a mulher entra em uma das choupanas e o homem entra na outra, e novamente o observador deve tentar adivinhar onde cada um está.

Essas experiências são repetidas algumas vezes para que a pessoa entenda como funciona. O objetivo é perceber que a resposta é correta de acordo com as perguntas, ou seja, quando a pergunta é sobre qual casa o casal está, a resposta é adequada, o casal está numa choupana, e quando o segundo experimento é feito a resposta continua adequada.

O último experimento que inquieta o visitante é quando ele fica responsável por escolher o experimento, como nas outras vezes ele fica vendado enquanto o casal se posiciona, entretanto, nessa rodada, como o casal sempre se posiciona antes dele escolher, quando faz a pergunta parece que o casal sabia o que ele iria perguntar, ao repetir o experimento, mesmo mudando a pergunta, a resposta sempre é adequada.

O autor utilizou isso como uma metáfora para como nós percebemos que a dualidade onda partícula depende da leitura que estamos fazendo dela, ou do tipo de experimento. Ademais, o fato do observador estar vendado se dá ao fato da dificuldade encontrada de observar a partícula num experimento, pois esta observação influenciará diretamente no resultado.

Esse aspecto lúdico para a física, tem o potencial de trazer para os alunos de um modo diferenciado aspectos que podem soar contraditórios, mas que são respaldados por uma teoria científica que, como foi dito, é amplamente utilizada na atualidade.

Considerações finais

Ao observar os aspectos mencionados ao longo do presente texto, é possível perceber que o ensino de física moderna, perpassa o cotidiano dos alunos e por conta disso, é interessante que ela esteja incluída no EM, para tornar os discentes mais conscientes sobre como as tecnologias atuais funcionam e os aspectos mais conceituais da física moderna.

Ademais, percebemos que o uso de diferentes metodologias é benéfico para a compreensão dos conceitos pelos alunos. Em cada uma dessas possibilidades, existem nuances a serem dialogadas com maior profundidade, logo, é recomendado ao professor que veja qual se encaixa melhor no contexto na qual a aula será ministrada. O aspecto lúdico em especial, possui, como foi mencionado, várias peculiaridades do que será feito e se será interessante para todos, por isso a observação de uma turma como um conjunto passa a alterar a ordem do que está sendo feito.

Referências

BAGDONAS, Alexandre; ZANETIC, João; GURGEL, Ivã. Controvérsias sobre a natureza da ciência como enfoque curricular para o ensino da física: o ensino de história da cosmologia por meio de um jogo didático. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 7, n. 2, p. 242-260, 2014.

BAKER, Joanne. **50 ideias de física quântica que você precisa conhecer**. 1. ed. São Paulo: Planeta, 2015

COSTA, M. DA. Simulações computacionais no ensino de física: Revisão sistemática de publicações da área de ensino. **XIII Congresso Nacional de Educação**, p. 7531–7544, 2017.

FERREIRA, Mariane Grando Ferreira Mariane Grando; BENASSI, Cassiane Beatrís Pasuck; STRIEDER, Dulce Maria. O LÚDICO NO ENSINO DE FÍSICA. **Arquivos do Mudi**, v. 24, n. 3, p. 157-171, 2020.

FEYNMAN, Richard. **The character of physical law**. MIT press, 1985.

HAWKING, Stephen. **Uma breve história do tempo**. Editora Intrínseca, 2015.

KUHN, Thomas S. **A estrutura das revoluções científicas**. Editora Perspectiva SA, 2020.

PEDUZZI, Luiz OQ. Evolução dos conceitos da Física. **Florianópolis: Ed. da UFSC**, 2011.

RAMALHO, Francisco, et al. **Fundamentos da Física 2**. 9ª ed., vol. 2, São Paulo, Moderna, 2007. 3 vols.

RIBAS, Cláudio Pereira. **Elaboração de sugestões para aula com alguns simuladores Phet a serem utilizados no ensino de física-nível médio**. 2015.

ROSENBLUM, Bruce; KUTTNER, Fred. **O enigma quântico: O encontro da física com a consciência**. Editora Schwarcz-Companhia das Letras, 2017.

SIQUEIRA, Maxwell; PIETROCOLA, Maurício. A Transposição Didática aplicada a teoria contemporânea: A Física de Partículas elementares no Ensino Médio. **X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Londrina**, v. 13, p. 14, 2006.

SOBRE OS AUTORES

Gabriel Silva Santos

Acadêmico do Curso de Licenciatura Física da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB); Membro do Grupo de Pesquisa Núcleo de Pesquisa, Estudo e Formação de Professores (NEFOP); Bolsista IC Fapesb. E-mail: ferreiragabi576@gmail.com

Uendel da Silva Oliveira Santos

Acadêmico do Curso de Física da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB); Bolsista do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID) pela CAPES. E-mail: uos@outlook.com.br

Reinaldo Moreira de Aquino Júnior

Acadêmico do Curso de Licenciatura em Física da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB); Professor Monitor do programa estadual Universidade Para Todos (UPT). E-mail: reinaldojunior881@gmail.com

Carlos Takiya

Possui graduação em Bacharelado em Física pelo Instituto de Física da USP (1992), mestrado em Ciências pelo Instituto de Física da USP (1996) e doutorado em Ciências pelo Instituto de Física da USP (2003). Atualmente é professor Titular da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB)