

JOSÉ ALDENI ROCHA FILHO

Nº USP: 6507580

THIAGO DE OLIVEIRA

Nº USP: 7159768

FÍSICA MODERNA I

PLANO DE AULA - CRÉDITO TRABALHO

G4 – DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA

APRESENTAÇÃO

INTRODUÇÃO: O Ensino Médio tem foco praticamente exclusivo na Física Clássica, com a Física Moderna deixada de lado. Albert Einstein, que ganhou o prêmio Nobel em 1921 por seus estudos sobre o efeito fotoelétrico, é um físico amplamente conhecido por todos seja entre o público especializado ou leigo, da mesma forma que Newton o é. Ocorre que, ao contrário de Newton e suas Leis estudadas exaustivamente no Ensino Médio, poucos conhecem sequer o mínimo do trabalho de Einstein (e isso mesmo tomando como exemplo o nome mais popular entre os físicos; poderíamos pensar em outros nomes tão importantes quanto, mas com menor popularidade entre os leigos, que são totalmente desconhecidos a esse público). Nossa escolha do tema dualidade onda-partícula foi pelo motivo de, dentre todos os conceitos que envolvem a Física Moderna, ter uma linguagem relativamente simples e adequada a esse público e, portanto, pode ser uma boa porta de entrada para a Física Moderna no Ensino Médio (até mesmo porque é possível pensar na dualidade onda-partícula como uma "fronteira" entre a Física Clássica e a Moderna). Outro ponto relevante é poder conhecer um pouco do trabalho de Einstein, na segunda parte, com a apresentação do efeito fotoelétrico.

OBJETIVOS: Possibilitar ao estudante, através de uma aula expositiva, compreender as conceituações e as formulações básicas que envolvem a ideia de dualidade onda-partícula, seus pressupostos e suas implicações, e principalmente mostrar uma ciência de sucessão de tentativas, erros e acertos, incluindo também as aparentes contradições, em que entra a ideia da dualidade.

PÚBLICO ALVO E PRÉ-REQUISITOS: 3º ano do Ensino Médio. É esperado que os estudantes já possuam uma visão geral sobre ondas e partículas elementares da matéria.

CONTEÚDO FÍSICO TRABALHADO:

- Ondas;
- Difração;
- Interferência;
- Experimento da fenda simples;
- Experimento de dupla-fenda;
- Efeito fotoelétrico;
- Prisma.

MATERIAL NECESSÁRIO:

- Giz e lousa;
- Computador;
- Projetor de slides.

QUADRO SINTÉTICO DA AULA:

Parte 1: Introdução	<ul style="list-style-type: none">• Problematização inicial.
Parte 2: Partículas	<ul style="list-style-type: none">• Experimento da fenda simples: exemplo com partículas macroscópicas;• Experimento da fenda dupla: exemplo com partículas macroscópicas;• Exemplo da luz como partícula: o efeito fotoelétrico.
Parte 3: Ondas	<ul style="list-style-type: none">• Ondas em fenda simples: difração;• Ondas em dupla fenda: interferência;• Exemplo da luz como onda: difração do prisma.
Parte 4: Dualidade onda-partícula	<ul style="list-style-type: none">• A influência do observador;• Retomando a problematização.

DINÂMICA DA AULA:

- Problematização inicial (tempo estimado: ± 5 min):

Como ponto de partida, o professor propõe a seguinte questão, com o objetivo de estabelecer uma problematização inicial, que “obrigue” o estudante a se apropriar dos conceitos a serem apresentados na aula para tentar respondê-la:

“Você conhece algo que pode ser duas coisas ao mesmo tempo?”

Uma vez a pergunta sendo feita, espera-se que a mesma provoque uma discussão entre os alunos e o professor sobre a existência ou o que poderia ser tal coisa.

Após breve discussão o professor segue com apresentação dos casos em que a luz se comporta como corpúsculos.

- Experimento da fenda simples: exemplo com partículas macroscópicas (tempo estimado: ± 5 min):

Após a discussão inicial ocorrida, o professor ilustra a característica corpuscular da luz, com o objetivo de apresentar os efeitos esperados para uma partícula. Isso será feito por meio da suposição de um experimento com partículas macroscópicas do cotidiano do estudante: uma placa com uma fenda simples alvejada por bolinhas de gude, com um anteparo capaz registrar com uma marca seu impacto. É mostrado que algumas partículas passam em linha reta e outras são retidas pela placa, formando uma figura no anteparo semelhante à forma da fenda.

- Experimento da fenda dupla: exemplo com partículas macroscópicas (tempo estimado: ± 5 min):

Nesse momento é esperado que, supondo a existência de duas fendas no lugar de uma e repetindo o experimento com as bolinhas, o estudante seja

capaz de associar com o caso anterior e prever a aparição de duas figuras no formato das fendas. Isso será seguido da ilustração do experimento comprovando (ou não) a suposição do estudante.

Esta parte tem o objetivo específico de estabelecer o comportamento esperado de um feixe de partículas.

- Exemplo da luz como partícula: o efeito fotoelétrico (tempo estimado: ± 5 min):

Neste momento, o professor apresenta o efeito fotoelétrico, mostrando o modelo de Einstein que adota a luz como partículas (fótons) com energia cinética quantizada, que colidem com os elétrons do metal, arrancando-os. São apresentados os motivos pelos quais a luz como onda não explica o efeito. Após, seriam mostradas algumas aplicações do efeito fotoelétrico, tais como portas automáticas de shopping, iluminação pública (LDR) e painéis solares.

- Ondas em fenda simples: difração (tempo estimado: ± 5 min):

Esse momento da aula consiste em utilizar da mesma fenda do primeiro caso, mas agora as ondas é que a atingem provocando o fenômeno da difração. O professor recorda o fato das ondas não transmitirem matéria, apenas energia, as diferenciando dos casos anteriores. A ideia, nesse momento, é deixar clara as diferenças entre ondas e partículas, bem como os efeitos na interação com as fendas.

- Ondas em fenda dupla: interferência (tempo estimado: ± 5 min):

O professor agora comenta sobre o fenômeno da interferência, que ocorre no caso de uma onda incidir em uma fenda dupla, novamente com o objetivo de diferenciá-las das partículas. O estudante deve concluir que a figura formada no anteparo não é condizente com o caso das bolinhas, pois estas viajavam em linha reta, enquanto a onda tem uma frente crescente.

- Exemplo da luz como onda: difração do prisma (tempo estimado: ± 5 min):

Com este exemplo clássico, espera-se que o estudante se convença que a luz branca se comporta como uma onda ao incidir em um prisma, com suas cores refratando em ângulos diferentes devido às diferentes frequências. Sendo a luz partículas, porque elas seriam desviadas? Serão mostrados exemplos do cotidiano que mostrem essas características, tais como os arco-íris.

- A influência do observador (tempo estimado: ± 10 min):

O momento final da aula consiste em mostrar o que ocorre quando a luz incide em uma dupla fenda e a observamos de longe: ela difrata e sofre interferência como uma onda. Quando, por outro lado, observamos isoladamente uma fenda, é percebida uma contagem de partículas chegando à esta fenda e reproduzindo o formato dela no anteparo. Porque isso ocorre? Porque só o ato de medir, observando de forma diferente gera um comportamento diferente?

O professor conclui e organiza o conhecimento com a ideia de dualidade, ou seja, a luz se comporta de um jeito ou de outro, dependendo do observador. Provavelmente isso gerará uma dúvida generalizada. Com o objetivo de tornar acessível aos estudantes (ainda que correndo o risco de ser demasiadamente simplista), o professor pode utilizar o argumento da própria visão humana: a luz é responsável pela visão, portanto, observar um fenômeno de formas diferentes influencia o próprio resultado de maneiras diferentes.

É um bom momento para o professor ressaltar a dificuldade do conteúdo lembrando que essa discussão é histórica, datando dos tempos de Newton e Huygens e que até hoje não se chegou a um consenso sobre um ou outro. Espera-se que o aluno compreenda o caráter “inexato” e incompleto da ciência que, no âmbito do ensino básico, é visto como uma verdade absoluta, algo quase dogmático, além da importância do caráter experimental da física.

- Retomando a problematização (tempo estimado: ± 5 min):

O encerramento se dará pela retomada da questão problematizadora, cuja resposta foi construída ao longo do tempo da aula:

“Você conhece algo que pode ser duas coisas ao mesmo tempo?”

É esperado que agora haja uma resposta a essa pergunta. O professor pode pedir uma atividade de pesquisa relativa ao assunto para entrega posterior, de modo que o estudante conheça outros elementos que apresentem essa característica, por exemplo, o elétron.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

HEWITT, P. J. – Física Conceitual, 9ª Edição, 2002, partes 4-6;

FERRARO, N. G., RAMALHO JR, F., TOLEDO, P. – Os Fundamentos da Física, Vol. 3, 9ª Edição, 2007, Capítulo 19;

BROCKINGTON, G. A Realidade escondida: a dualidade onda-partícula para estudantes do Ensino Médio, defendida em 2005. 268 fls. Dissertação de mestrado – IF-IQ-FE/USP;

Dualidade Onda-Partícula, vídeo do portal Youtube, disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=2NuLa29WKnI>. Acesso em 07/05/2016;

Dualidade Onda-Partícula, vídeo (6 partes) do portal Youtube, disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=rqwKPJ3wlul> (parte 01/06)

<https://www.youtube.com/watch?v=MnpWyXa5I6Y> (parte 02/06)

<https://www.youtube.com/watch?v=GIhqp5c3cBE> (parte 03/06)

<https://www.youtube.com/watch?v=-ceQ42fF9o8> (parte 04/06)

<https://www.youtube.com/watch?v=gMbBk6tvEEs> (parte 05/06)

<https://www.youtube.com/watch?v=DDI8oOMjgM> (parte 06/06)

Acesso em 08/05/2016.