



A dualidade Onda-Partícula: das ideias de Newton ao postulado de De Broglie

DIEGO BRILHANTE DA SILVA

Produto Educacional apresentado em Dissertação de Mestrado do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) no curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:

Tibério Magno de Lima Alves, D.Sc.

Co-orientadora:

Andrezza M. B. do N. Tavares, D.Sc.

Natal – RN
julho de 2019

O material apresentado neste documento pode ser reproduzido livremente desde que citada a sua fonte. As imagens apresentadas são de domínio público ou produção própria e utilizadas para fins didáticos. Caso sinta que houve violação de seus direitos autorais, por favor, contate os autores para solução imediata do problema. Este documento é veiculado gratuitamente, sem nenhum tipo de retorno comercial a nenhum dos autores, e visa apenas a divulgação do conhecimento científico.

SUMÁRIO

1	APRESENTAÇÃO	4
2	CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	5
3	PROPOSTA METODOLÓGICA.....	8
4	SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	10
4.1	Aula I (45 min)	10
4.2	Aula II (45 min)	11
4.3	Aula III (45 min)	11
4.4	Aula IV (45 min).....	13
4.5	Aula V (45 min).....	14
4.6	Aula VI (45 min).....	15
4.7	Aula VII (45 min).....	17
5	Anexos	19

1 APRESENTAÇÃO

Este produto educacional, desenvolvido no âmbito do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) tem como propósito auxiliar professores de física na mediação de tópicos de mecânica quântica no ensino médio, destacadamente no campo da teoria ondulatória da matéria. O produto de ensino consiste na sistematização de um *e-book* que é composto por cinco capítulos sobre dualidade onda-partícula.

Nos dois primeiros capítulos, o livro traz uma contextualização histórica sobre o desenvolvimento das teorias corpuscular e ondulatória da luz, com ênfase nos trabalhos de Newton e Thomas Young. Nos capítulos 3, 4 e 5 exploram os conceitos e princípios físico-matemáticos que regem a compreensão da natureza dual da luz e da matéria.

O *e-book* apresenta uma sequência didática sistematizada, como salientamos, na oportunidade do mestrado em ensino de física do IFRN, que tem como dupla finalidade: 1) tornar os alunos mais ativos em suas aprendizagens frente aos conceitos de física propostos; e 2) aplicar as teorias da psicologia da aprendizagem cognitivista, realçando a metodologia da “sala de aula invertida” (*flipped classroom*) como alternativa pedagógica de aprendizagem assertiva.

A escolha da perspectiva pedagógica cognitivista e da metodologia ativa surgiu como alternativa ao desafio posto aos docentes de ensino de física quanto a mediação de aulas sintonizadas com o progresso contemporâneo. Tal empenho, é fundamental no atual contexto marcado por inovações de tecnologias, destacadamente no campo da informação e da comunicação, as chamadas TICs, que podem ser aliadas do processo pedagógico escolar por permitir aos estudantes desenvolverem maior aproximação e interação com os conteúdos.

Esperamos que esse trabalho possa contribuir com os professores de física quanto a melhoria de sua prática pedagógica. A pretensão é estimular a aprendizagem dos discentes por meio da aprendizagem significativa sobre o mundo físico, promovendo o fascínio dos estudantes pela física enquanto ciência fundamental.

2 CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

O produto educacional é constituído por um *e-book*, livro eletrônico, intitulado de **A Dualidade Onda-Partícula das Ideias de Newton ao Postulado de Broglie** e uma sequência didática que compõe a proposta metodológica desenvolvida para o ensino e aprendizagem do tema privilegiado: Dualidade Onda-Partícula no ensino médio.

O produto educacional citado integra os requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física, no âmbito do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) do programa de Pós-Graduação do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN).

A publicação digital, no formato de EPUB, pode ser baixada através do *link*: [**A Dualidade Onda-Partícula: Das Ideias de Newton ao Postulado de De Broglie**](#) (baixar e abrir com um *browser* ou visualizador de epubs) e foi programada para ser acessada em qualquer dispositivo que tenha disponível um aplicativo leitor de *e-books*. Para melhor comodidade do usuário, recomendamos a utilização do aplicativo Play Livros, pois é responsivo, adequando-se a qualquer tipo de tela.

O *e-book* é composto por cinco capítulos que estão sequenciados conforme a ordem em que se propõe trabalhar o conteúdo da sequência didática que segue anexo ao livro.

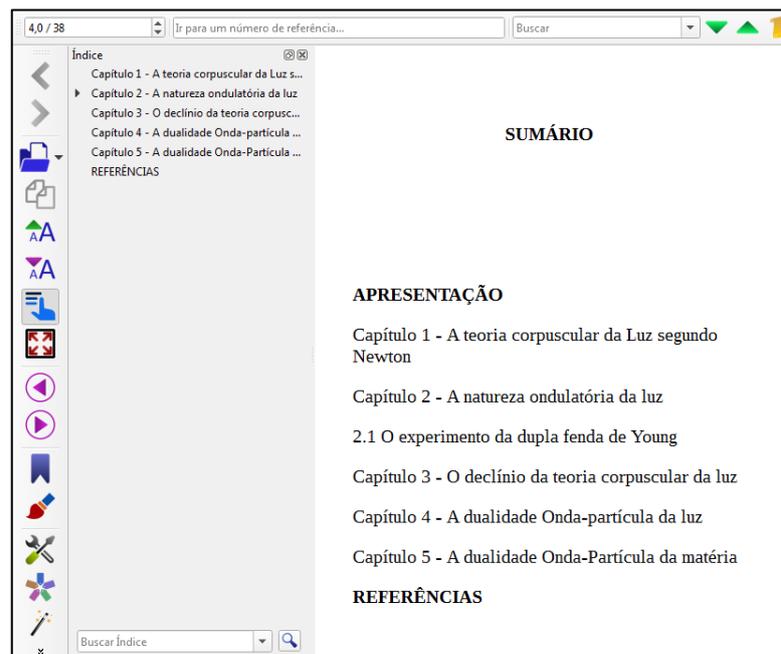
Os capítulos do livro estão apresentados respeitando a sequência de ideias necessárias para a organização do pensamento dos alunos. Porém, os capítulos também podem ser acessados diretamente do índice, considerando o acesso aleatório, com um click em cada tópico desejado.

A seguir, a figura 01 mostra a capa do livro na interface do visualizador de *e-books* e a figura 02 mostra o sumário do livro junto ao seu índice contendo os *hiperlinks* no aplicativo visualizador de *e-books* conhecido como Calibre:

Figura 1: Interface do Ebook no visualizador Calibri.



Figura 2: Sumário do e-book. À esquerda, links para os capítulos.



O texto inicia com algumas indagações geradoras de conflito cognitivo a respeito da natureza da luz e instiga o leitor a confrontá-lo com perguntas e respostas com base nos fenômenos óticos que frequentemente observam no cotidiano, como a formação da sombra de um poste, entre outros.

O conflito cognitivo, conceito da teoria de Jean Piaget, conduz o estudante a rever suas ideias e concepções a respeito de algo. No exemplo citado anteriormente, considera a ideia do estudante sobre a natureza da luz e da matéria.

Com o objetivo de problematizar e de ampliar os conflitos cognitivos, ao final de cada capítulo, o estudante encontrará um *link* que dará acesso a um questionário composto por questões objetivas de múltipla escolha em que poderá testar os seus conhecimentos sobre o capítulo estudado.

3 PROPOSTA METODOLÓGICA

A metodologia que será empregada nessa unidade é conhecida como sala de aula invertida ou *Flipped Classroom*, uma abordagem didática que vem sendo discutida e utilizada em universidades dos Estados Unidos e de outros países, incluindo o Brasil, tendo apresentado resultados mais satisfatórios que o ensino tradicional, quando comparados.

Essa metodologia faz parte do pressuposto de que a aprendizagem pode ocorrer dentro e fora do espaço físico das salas de aulas em ambientes externos que sejam mais convenientes aos alunos, sintonizada, portanto, com o pensamento da psicologia da aprendizagem cognitivista.

A sala de aula invertida consiste na combinação de diversos recursos áudio visuais (textos, imagens, vídeos, animações, simulações) que são disponibilizados em um ambiente virtual *online* ou *off-line* de modo que possam ser acessados a qualquer momento pelos estudantes.

Nessa metodologia de aula, cabe ao professor preparar a sequência de ensino-aprendizagem (conteúdo) e disponibilizá-la aos alunos em uma plataforma virtual em que os alunos irão acessar fora da sala de aula para estudar. A aula presencial, que ocorrerá tradicionalmente na sala de aula no local, no horário previamente destinado, torna-se um momento de socialização e organização dos saberes e competências adquiridas no ambiente virtual extraclasse, bem como em uma oportunidade para retirar dúvidas, realizar trabalhos e atividades relativas ao conteúdo abordado na plataforma.

Baseando-se na sala de aula invertida, buscamos seguir os seguintes protocolos de procedimentos:

- Durante a primeira aula de aplicação do produto, será disponibilizado aos discentes o *link* de acesso ao *e-book* intitulado [A Dualidade Onda-Partícula: Das Ideias de Newton ao Postulado de De Broglie](#) (baixar e abrir com um *browser* ou visualizador de *epubs*). No livro, os interlocutores também terão acesso ao conteúdo que será desenvolvido nas aulas presenciais. Tal conteúdo deve ser acessado pelo link citado, porém, em um momento extra o ambiente físico da sala de aula, preferencialmente, antes das aulas presenciais.

- As aulas presenciais que ocorrerão no horário predestinado, serão desenvolvidas de acordo com a sequência didática dos conteúdos disponibilizados no *e-book*. Nesses encontros, serão realizados, respectivamente: 1) a sistematização por meio de debate e de realização de exercícios sobre o conteúdo que será abordado em cada capítulo do livro; 2) a revisão por meio de discursões a respeito do conteúdo, retomando fórmulas e conceitos, tirando dúvidas e realizando atividades experimentais; 3) a construção e reconstrução de significados; 4) e o monitoramento para a superação de possíveis lacunas de aprendizagem dos alunos sobre o conteúdo estudado.
- Ao final de cada aula, será solicitado que os discentes conectem os *links* que dão acesso aos capítulos e aos seus respectivos questionários para fins de testagem das aprendizagens conceituais.
- A avaliação da aprendizagem contemplará a participação dos estudantes por meio do envolvimento nas discussões, nas atividades propostas, na resolução do questionário e, ao final da unidade, será avaliado o desempenho individual da prova escrita.

4 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

4.1 Aula I (45 min)

1º Momento (25 min)

No primeiro momento da aula, será comunicado aos alunos como ocorrerão as aulas no decorrer da unidade. Para isso, será informado que deverão acessar o conteúdo conceitual em um momento extraclasse em ambientes virtuais, por meio de smartphone, tablet ou computador junto ao *link web* [A Dualidade Onda-Partícula: Das Ideias de Newton ao Postulado de De Broglie](#) que dá acesso ao e-book **A Dualidade Onda-Partícula: Das Ideias de Newton ao Postulado de De Broglie**.

Logo, a primeira aula servirá para orientar os alunos sobre a programação presencial da sequência didática e sobre a programação *online* desenvolvida no e-book. No primeiro contato com os alunos destacaremos que o conteúdo a ser estudado, as listas de exercícios e os encontros presenciais priorizarão sempre discussões, levantamento de hipóteses, debates, articulações de ideias e realização dos experimentos didáticos planejados para o bimestre, sendo fundamental a presença nessas ocasiões.

2º Momento (10 min)

No segundo momento, será apresentado o livro virtual, as disponibilidades das aulas e sobre o período de acesso ao e-book. Apresentaremos também, até quando os questionários online poderão ser respondidos e como poderão interagir com o ambiente onde estarão os questionários.

3º Momento (10 min)

Baseando-se na proposta metodológica conhecida como sala de aula invertida, será solicitado aos alunos que façam a leitura do texto introdutório do primeiro capítulo (capítulo 01, p.05) do e-book. Nesse trecho do livro intitulado **A teoria corpuscular de Newton para a luz** contém alguns questionamentos sobre a natureza da luz e da matéria. Nesse momento, também será orientado que cada aluno traga um questionamento ou problematização para discussão em sala de aula.

4.2 Aula II (45 min)

1° Momento (10 min):

Valendo-se da sala de aula invertida, considerando que os alunos realizaram a leitura do capítulo 01, p. 05 do *e-book*, antes da aula, para levantamento do pensamento prévio dos alunos perguntaremos: Qual é a natureza da luz segundo Newton? Quais argumentos Newton pondera para levantar suas hipóteses acerca da natureza da luz?

2° Momento (15 min):

Solicitaremos que os alunos socializem os questionamentos a respeito do conteúdo estudado no capítulo 01 na p. 05 e acompanharemos o debate promovido pelos mesmos, intervindo quando necessário para tirar as dúvidas, explorar ideias e conceitos.

3° Momento (15 min):

Realizaremos o experimento da dispersão da luz com um prisma e solicitaremos que os alunos tentem explicar o fenômeno com base na hipótese de Newton acerca da natureza da luz.

4° Momento (05 min):

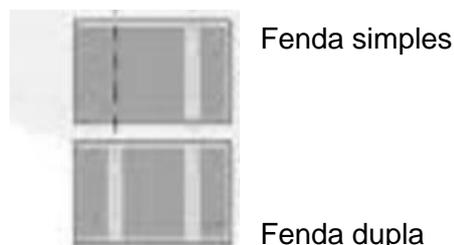
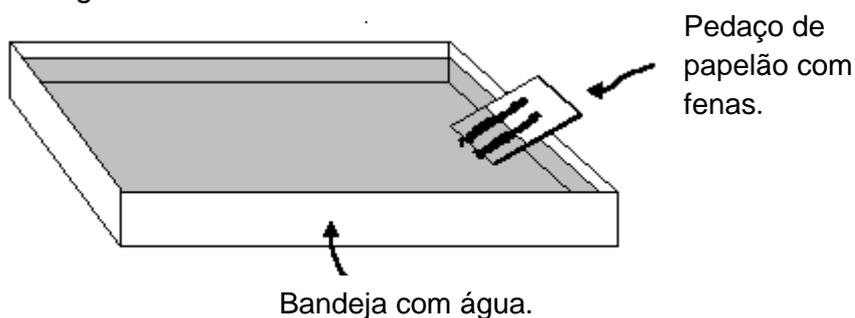
Valendo-se da proposta metodológica da sala de aula invertida, solicitar aos alunos a leitura do capítulo 02 do *e-book*. Bem como que respondam ao questionário 01 na p. 08, (<https://goo.gl/forms/JEPIpOKdjlTOutBH3>) proposto ao final do capítulo.

4.3 Aula III (45 min)

1° Momento (5 min):

Considerando que os alunos realizaram a leitura em um ambiente extra sala de aula do capítulo 02 do *e-book*, orientaremos que todos os integrantes da turma sejam divididos em dois grupos. Um grupo receberá duas travessas com água e dois pedaços de papelão contendo duas fendas cada um. O outro grupo receberá

um canhão de luz e um conjunto de fendas duplas e simples. Como esquematizam as figuras a seguir:



2º Momento (10 min):

Será solicitado que os alunos tentem produzir fenômenos ondulatórios com os materiais que tem à disposição. Será solicitado que eles anotem ou desenhem o que conseguiram produzir e identificar.

3º Momento (15 min):

Após a realização da atividade experimental, os grupos serão questionados com as seguintes questões: 1) É possível afirmar que a luz possui natureza ondulatória uma vez que ela apresenta comportamentos ondulatórios, como interferência e difração?; 2) A água e outros meios, como o ar, também são formados por minúsculas partículas, mas apresenta comportamento ondulatório? 3) Como conciliar esses fatos a fim de defender posicionamentos acerca da natureza da luz?

4º Momento (15 min):

Discutiremos entre os grupos, com a mediação do professor, sobre as hipóteses baseadas em conceitos científicos ou senso comum. Durante esse momento, os alunos deverão expor seu aprendizado e relacionar o que foi lido na aula teórica (capítulo 02, p. 09) e sua conexão com a atividade prática sempre com a mediação do professor.

5° Momento (05 min):

Solicitaremos a leitura do capítulo 3 intitulado **O declínio da teoria corpuscular da luz**. Bem como, será recomendado que os alunos respondam ao questionário disponibilizado na forma de formulário *online* disposto na p. 11 do referido *e-book*. Cada aluno deverá escolher um ou mais pontos de interesse sobre o referido tema e realizar uma pesquisa exploratória para o debate que será proposto durante a próxima aula presencial.

4.4 Aula IV (45 min)

1° Momento (10 min):

Os alunos serão instigados por meio de perguntas, apontadas nas linhas abaixo, a comentar os pontos que mais lhe chamaram atenção sobre o capítulo 3 na p. 12 que trata do trabalho de Maxwell sobre a previsão teórica das ondas eletromagnéticas e da posterior comprovação experimental da existência das ondas que foi realizada por Hertz.

Tabela 1: Perguntas relativas ao capítulo 3 do e-book.

Perguntas	
01	O trabalho de Maxwell foi importante para a determinação da natureza da luz?
02	Que fator foi determinante no trabalho de Maxwell para que ele pudesse levantar sua hipótese a respeito da natureza da luz?
03	O trabalho de Hertz foi importante para a sustentação da teoria eletromagnética da luz?
04	O que mais chama a atenção (desperta interesse) no trabalho desses cientistas?

2° Momento (30 min):

Com o objetivo de promover uma atitude crítica-reflexiva sobre o contexto no qual os trabalhos de Maxwell e Hertz foram realizados, utilizaremos a técnica conhecida como Tempestade de Ideias. Iniciaremos anotando na lousa os pontos de interesse pesquisados e mencionados pelos alunos sobre o tema da aula. Essas ideias serão utilizadas como ponto de partida para iniciar um discurso de natureza epistemológica a respeito da aceitação do modelo ondulatório da luz mediante os estudos teóricos e experimentais realizados a esse respeito.

Os pontos a serem debatidos pontuados na lousa comporão um mapa conceitual, que guiará a o potencial pedagógico do tema com o objetivo de ampliar a construção do conhecimento.

3° Momento (05 min):

Para finalizar a aula, será solicitado que os alunos respondam ao questionário 3 disponível no link <https://goo.gl/forms/zhFoBbyWOL03TpaM2> presente no capítulo 3, p. 15. Também será solicitado que os discentes realizem, em um momento extraclasse, a leitura do capítulo 4 na p. 16.

4.5 Aula V (45 min)

1° Momento (10 min):

No primeiro momento da aula os alunos serão levados até ao laboratório de informática para que acessem o *e-book* dessa vez em um computador de mesa. Na ocasião, os alunos deverão ir até o capítulo 4, na página 20, onde encontrarão o *link* do simulador *PHET* https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric. Será solicitado que os discentes acessem o simulador do efeito fotoelétrico por meio desse *link*.

2° Momento (25 min):

Com o simulador aberto, os discentes irão investigar o efeito fotoelétrico variando os parâmetros do simulador e observando o que ocorre com os elétrons ejetados. Nesse momento, será solicitado que eles utilizem o simulador e a equação de Einstein do efeito fotoelétrico (*e-book*, p. 23) para que calculem: 1) a

energia cinética máxima dos elétrons ejetados sob luz de comprimento de onda de 270 nanômetros o potencial de frenamento, 3) e a frequência de corte do efeito.

O professor mediará essa atividade ajudando os alunos com a manipulação dos parâmetros no simulador e com a interpretação dos dados numéricos obtidos com a aplicação da equação.

3° Momento (10 min):

Será promovida uma discussão entre os alunos e professor sobre os resultados alcançados com a atividade e as propriedades do efeito fotoelétrico que não podem ser explicadas pela teoria ondulatória da luz, como: 1) a frequência de corte e 2) a emissão de elétrons energéticos mesmo sob a luz de baixa intensidade. Esses pontos a serem discutidos poderão ser propostos pelo professor ou poderão ser destacados pelos próprios alunos de acordo com o interesse dos mesmos.

4° Momento (05 min):

Para finalizar a aula, será solicitado que os discentes respondam ao questionário 4 acessível por meio do *link*: <https://goo.gl/forms/Gh6FMVAdIKhUNSR2> presente na p. 20 e que realizem a leitura extraclasse do capítulo 5 na p. 21 cujo título é **A dualidade Onda-partícula da matéria**.

4.6 Aula VI (45 min)

1° Momento (05 min):

No primeiro momento dessa aula será feito um exercício de metacognição explorando os conceitos espontâneos e científicos dos alunos a partir de uma pergunta problematizadora relacionada ao capítulo 5, p. 21, do *e-book A Dualidade Onda- Partícula: Das ideias de Newton ao postulado de De Broglie*.

Tabela 2: pergunta problematizadora para iniciar a aula.

Pergunta	
01	Qual é a natureza da matéria? Baseando-se em que você defende esse ponto de vista?

2° Momento (15 min):

Será proposta uma atividade lúdica na qual o professor irá transformar a sala de aula em um júri simulado. A turma será dividida em três grupos. Um grupo irá defender a natureza corpuscular da matéria, o outro a natureza ondulatória e o outro grupo defenderá que a matéria possui uma natureza diferente da corpuscular e ondulatória.

Na metodologia do Júri, os alunos terão a liberdade para escolher em qual grupo querem ficar para defenderem seus pontos de vista. Com a mediação do professor, os alunos irão expor seus argumentos em defesa do modelo da natureza escolhido. Vencerá o grupo que expor o maior número de argumentos e justificá-los com base em conceitos científicos.

3° Momento (15 min):

Será proposta uma situação problema com o uso do simulador PHET. Para isso, os alunos serão novamente levados até a sala de informática onde acessarão ao simulador de interferência quântica do PHET por meio do *link* https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/quantum-wave-interference disponível no *e-book* na p. 27. Nessa atividade, os alunos serão desafiados a descobrir o que ocorrerá se lançarmos elétrons contra um anteparo do mesmo modo que lançarmos fótons de luz.

4° Momento (10 min):

Verificaremos as hipóteses dos alunos sobre a natureza dos elétrons por meio de questionamentos sobre o comportamento dos elétrons no experimento, utilizando o simulador, para mostrar que mesmo lançando um elétron por vez um padrão de interferência ainda é formado.

Tabela 3: Questionamentos sobre o comportamento dos elétrons no simulador.

Questionamentos	
01	O que ocorre com os elétrons quando eles são lançados contra um anteparo?
02	Observando o comportamento dos elétrons no experimento é possível questionar a sua natureza?
03	A natureza dual dos elétrons pôde ser observada no experimento?

5° Momento (05 min):

Para finalizar a aula, será solicitado que os alunos respondam ao questionário 5, por meio do *link* <https://goo.gl/forms/tkJTHdI0tKDrX4F11> disponível na página 27 do *e-book A Dualidade Onda- Partícula: Das ideias de Newton ao postulado de De Broglie*.

4.7 Aula VII (45 min)

1° Momento (10 min):

No primeiro momento da aula, serão abordadas as relações de De Broglie discutidas no *e-book* nas p. 22 e 23. Nesse momento, serão escritas as equações na lousa.

2° Momento (10 min):

O professor irá explicar a maneira como as relações de De Broglie englobam a natureza dual da matéria por meio da exploração do significado de cada termo das equações.

3° Momento (10 min):

Será solicitada a formação de duplas para a análise de um problema teórico proposto à turma. Na sequência, será recomendado que utilizem as relações de De Broglie para solucioná-lo.

Tabela 4: Problema proposto aos alunos.

Problema	
01	a) Calcule o comprimento de onda de um elétron que se desloca em um campo elétrico uniforme com velocidade de $5,97 \times 10^6$ m/s e compare o resultado com o comprimento de onda associado a um elefante de massa 5.500 kg caminhando em uma velocidade de 1 m/s. Dado: (massa do elétron: $9,11 \times 10^{-31}$ kg).

4° Momento (15 min):

A aula será finalizada com a avaliação dos objetivos do problema proposto e a socialização da aprendizagem. Deverá ser perguntado aos discentes:

Tabela 5: Questionamentos para a avaliação da aprendizagem dos alunos.

01	Em que situações podemos utilizar as relações de De Broglie?
02	Por que a natureza ondulatória e a corpuscular da matéria não podem ser observadas simultaneamente?
03	No mundo macroscópico, por que não vemos a matéria se comportar como onda?

5 Anexos

Questionários avaliativos

Questionário - Aula I

01) De acordo com o texto, qual era a hipótese levantada por Newton a respeito da constituição da luz branca?

- a) A luz branca é uma mistura homogênea de raios de luz de uma só cor.
- b) A luz branca altera a sua constituição ao passar pelo prisma e se dissolve em luz de diversas cores.
- c) A luz branca é uma mistura heterogênea de raios de luz de todas as cores.
- d) Newton não foi capaz de levantar nenhuma hipótese a respeito da constituição da luz branca.

02) Para Newton, os raios de luz sofriam desvio ao passar pelo prisma por quê?

- a) possuíam natureza corpuscular e agiam conforme uma bola de tênis ao se chocar com um obstáculo, desviando em outra direção.
- b) possuíam natureza ondulatória e podiam contornar obstáculos.
- c) possuíam natureza corpuscular e eram desviados porque perdiam velocidade ao se chocarem com as partículas que constituem o prisma.
- d) não sofriam mais a ação do éter ao entrar no prisma.

03) De acordo com a hipótese levantada por Newton para a formação das diversas cores que surgiam quando a luz branca passa através de um prisma, qual era o fenômeno responsável pela formação dessas cores?

- a) Os corpúsculos que formam o prisma misturam-se com os corpúsculos da luz dando origem às mais diversas cores.
- b) As cores eram explicadas como o resultado da diferença de velocidade entre os corpúsculos.
- c) O éter atrasa os corpúsculos e, por essa razão eles mantêm velocidades diferentes e formam as cores.
- d) Os corpúsculos de luz são divididos em diversos tamanhos e, cada tamanho corresponde a uma cor.

04) Qual era a concepção do cientista Christiaan Huygens a respeito da natureza da luz?

- a) Para Huygens a luz possuía natureza granular.
- b) A luz era formada por cristais minúsculos, sendo de natureza corpuscular.
- c) A luz possuía uma natureza desconhecida sendo formada pelo éter.
- d) Para Huygens, a luz possuía natureza ondulatória.

05) A respeito das ideias de Newton e de Christiaan Huygens a respeito da natureza da luz, pode-se afirmar que:

- a) Ambos concordavam que a luz possuía natureza corpuscular.
- b) Ambos concordavam que a luz possuía natureza ondulatória.
- c) As ideias de Newton eram baseadas em fatos experimentais enquanto que as ideias de Huygens não foram baseadas em provas experimentais.
- d) As ideias de ambos os cientistas não se apoiavam em fatos experimentais.

Questionário – Aula II

- 01 – Qual caráter da luz é evidenciado no experimento da dupla fenda de Young?
- corpuscular.
 - ondulatório.
 - granular.
 - O experimento de Young não foi decisivo na determinação da natureza da luz, pois os resultados não satisfaziam a nenhuma previsão teórica.
- 02) considerando o experimento da dupla fenda de Young, indique qual dos fenômenos observados nesse experimento que são considerados exclusivamente ondulatórios.
- Reflexão e difração.
 - Absorção e reflexão.
 - Interferência e difração.
 - Reflexão e polarização.
- 03) A respeito da formação das franjas claras e escuras no anteparo onde a luz é projetada no experimento da dupla fenda de Young, indique a opção que explica a formação dessas franjas de acordo com a teoria ondulatória da luz.
- As franjas luminosas se formam quando a crista de uma onda luminosa que veio de uma das fendas se encontra com a crista de outra onda luminosa proveniente da segunda fenda. Essas faixas luminosas são os pontos de interferência construtiva.
 - As franjas luminosas formam-se quando a crista de uma onda luminosa se encontra com o vale de outra onda luminosa.
 - As franjas escuras se formam quando a crista de uma onda luminosa que veio de uma das fendas se encontra com a crista de outra onda luminosa proveniente da segunda fenda. Essas faixas luminosas são os pontos de interferência destrutiva.
 - As franjas luminosas se formam quando a crista de uma onda luminosa encontra que veio de uma das fendas se encontra com o vale de outra onda luminosa proveniente da segunda fenda. Essas faixas luminosas são os pontos de interferência destrutiva.
- 04) A respeito do experimento da dupla fenda, assinale a alternativa que indica a explicação para a formação da franja central, de acordo com a teoria ondulatória da luz.
- A franja central corresponde a pontos onde as ondas de luz interagem formando pontos de mínimo luminoso.
 - Na franja central, as ondas de luz emergem das duas fendas e percorrem caminhos de mesmo comprimento até a tela.
 - Na franja central, as ondas de luz interagem de forma destrutiva.
 - Na franja central, o caminho percorrido pela onda luminosa proveniente de uma das fendas é meio comprimento de onda maior que o caminho percorrida pela onda proveniente da outra fenda.
- 05) De que forma a análise feita por Tomas Young a respeito do experimento da dupla fenda contribuiu para o desenvolvimento de uma teoria acerca da natureza da luz?

- a) O experimento da dupla fenda de Young respondeu questões que não puderam ser respondidas pela teoria de Newton e fortaleceu essa teoria que afirma que a luz é formada por pequenas partículas.
- b) O experimento da dupla fenda não foi capaz de fornecer nenhuma pista a respeito da natureza da luz.
- c) A partir da análise do experimento da dupla fenda, ficou comprovado que a luz é formada por partículas.
- d) A análise do experimento de Young forneceu uma base convincente para a sustentação da teoria ondulatória da luz.

Questionário- Aula III

01) O modelo ondulatório da luz, baseado na propagação de ondas longitudinais, não era capaz de explicar o fenômeno da polarização das ondas de luz. Nesse sentido, qual foi a explicação proposta por Young para esse fenômeno:

- a) Young propôs que a luz era um tipo de onda mista.
- b) A solução apresentada por Young foi considerar que a direção de oscilação das ondas de luz fosse transversal à direção de propagação.
- c) A explicação dada foi que a luz deveria ser formada por partículas que oscilavam na mesma direção em que se propagavam.
- d) Para Young, a polarização da luz não poderia ser explicada pelo modelo ondulatório.

02) Que fato relacionado às ondas eletromagnéticas previstas nas equações de Maxwell permitiu a ele levantar a hipótese de que a luz era uma onda eletromagnética?

- a) Maxwell previu que as ondas eletromagnéticas deveriam propagar-se com a mesma velocidade da luz cerca de 300000 km/s.
- b) A previsão de que essas ondas poderiam propagar-se no vácuo.
- c) A inexistência de uma teoria para a luz que pudesse explicar todos os fenômenos óticos.
- d) Maxwell relacionou a luz com as ondas eletromagnéticas porque na sua época ainda não havia sido elaborada nenhuma teoria a respeito da natureza da luz.

03) Maxwell previu em suas equações que os campos elétricos e magnéticos variam perpendicularmente entre si e que a direção dessa vibração era transversal a direção de propagação. Essa descoberta forneceu uma explicação para qual fenômeno ótico?

- a) reflexão
- b) difração
- c) refração
- d) polarização

04) Henrique Rudolf Hertz produziu e detectou as ondas eletromagnéticas que foram previstas nas equações de Maxwell. Qual foi a importância desse fato para a compreensão da natureza da luz?

- a) os experimentos de Hertz comprovaram que a luz é formada por partículas.
- b) os experimentos de Hertz comprovaram que a luz é uma onda eletromagnética.

- c) constatou-se, por meio dos experimentos de Hertz, que não é possível explicar todos os fenômenos óticos ao se considerar a luz como uma onda.
- d) os experimentos de Hertz foram importantes porque por meio deles descobriu-se que a velocidade das ondas eletromagnéticas é diferente da velocidade da luz.

05) A partir dos trabalhos de Maxwell e de Hertz, a comunidade científica conseguiu solucionar o mistério acerca da natureza da luz, uma vez que as equações de Maxwell permitiam prever praticamente todos os fenômenos óticos até então conhecidos. Que natureza da luz é comprovada pelos experimentos de Hertz?

- a) corpuscular.
- b) elétrica.
- c) ondulatória.
- d) eletromecânica.

Questionário – Aula IV

01) Qual hipótese foi levantada por Max Planck para explicar a forma da distribuição de energia no espectro da radiação emitida por um corpo negro?

- a) Planck propôs que energia radiante de um corpo negro só podia ser emitida de forma contínua.
- b) Planck propôs que a energia de um corpo negro é emitida na forma de pequenos pacotes, os quais ele chamou de “quanta”, cuja energia é proporcional frequência da radiação.
- c) Planck supôs que um corpo negro não poderia ser um emissor ideal, dessa forma, o gráfico de sua distribuição de energia não poderia corresponder a nenhuma previsão teórica.
- d) De acordo com Planck, a energia de um corpo negro é irradiada na forma de pequenos pacotes, cuja intensidade é proporcional à intensidade do campo elétrico.

02) Em 1905, o físico alemão Albert Einstein publicou um artigo no qual sugere uma explicação para o fenômeno conhecido como efeito fotoelétrico. Em que consiste esse fenômeno?

- a) O efeito fotoelétrico consiste na absorção de um elétron por um núcleo atômico.
- b) O efeito fotoelétrico é um fenômeno no qual prótons e elétrons são emitidos por uma superfície metálica devido a incidência de luz.
- c) No efeito fotoelétrico, elétrons são absorvidos por uma superfície metálica devido à ausência de luz.
- d) O efeito fotoelétrico consiste na emissão de elétrons por uma superfície metálica devido a incidência de luz sobre essa superfície.

03) Quando se incide luz de determinadas frequências sobre uma superfície metálica, elétrons ganham energia suficiente e escapam dessa superfície em um fenômeno conhecido como efeito fotoelétrico. Qual foi a explicação dada por Einstein para esse fenômeno?

- a) De acordo com Einstein, a luz é constituída por partículas energéticas, as quais ele chamou de fótons. Cada fóton possui uma energia que é proporcional a frequência da luz ($E = h \cdot f$). Quando um elétron absorve um fóton suficientemente energético ele ganha energia suficiente para escapar do material.

- b) Para Einstein, a luz é constituída por pequenas ondas que ao incidirem sobre uma superfície metálica faz com os elétrons entrem em ressonância com sua frequência até que adquiram energia suficiente para escapar da superfície.
- c) Segundo Einstein, cada elétron necessita absorver um ou mais fóton de luz para ter energia suficiente para escapar da superfície metálica.
- d) Segundo Einstein, o efeito fotoelétrico ocorre porque os elétrons são carregados pelas ondas de luz ao colidirem com a superfície metálica.

04) Por que o efeito fotoelétrico não pode ser explicado pelo modelo ondulatório da luz?

- a) O modelo ondulatório da luz não explica o efeito fotoelétrico porque prevê que a energia é proporcional a frequência da radiação.
- b) O modelo ondulatório da luz não é capaz de explicar satisfatoriamente o efeito fotoelétrico porque propõe que a energia das ondas eletromagnéticas está concentrada em um único ponto da frente de onda.
- c) A teoria ondulatória da luz prevê que ao aumentarmos a intensidade do campo elétrico, os elétrons seriam ejetados com maior energia, o que não é observado experimentalmente.
- d) De acordo com o modelo ondulatório da luz, os elétrons deveriam ser ejetados instantaneamente do metal, o que é observado na prática.

05) A explicação dada por Einstein para o efeito fotoelétrico reafirmou a necessidade de adoção de um modelo corpuscular para a luz, tendo em vista que a teoria ondulatória não é capaz de explicar todos os fenômenos observados. Contudo, alguns experimentos comprovaram de forma irrefutável o caráter ondulatório da luz, observado em diversos fenômenos. Nesse sentido, qual caráter da luz é adotado atualmente pela comunidade científica?

- a) Ondulatório
- b) corpuscular
- c) eletromecânico
- d) dual (onda-partícula)

Questionário- Aula V

01) A respeito do princípio da complementaridade de Bohr, marque a alternativa correta.

- a) O princípio da complementaridade de Bohr afirma que o modelo corpuscular da luz é suficiente para descrever a natureza da radiação.
- b) De acordo com o princípio da complementaridade, é impossível observar em um mesmo fenômeno, a natureza corpuscular e ondulatória da luz, embora esses modelos sejam complementares e necessários para a perfeita descrição da natureza da radiação.
- c) Segundo afirma o princípio da complementaridade de Bohr, o modelo ondulatório é suficiente para uma perfeita descrição da natureza da radiação.
- d) De acordo com o princípio da complementaridade de Bohr, a natureza corpuscular e ondulatória da luz só se revelam ao mesmo tempo em um experimento.

02) Marque a alternativa que corresponde à hipótese foi levantada por Louis De Broglie a respeito do comportamento das partículas:

- a) De Broglie propôs que partículas também poderiam se comportar como ondas e exibir propriedades ondulatórias, como interferência e difração.
- b) De Broglie propôs que, na presença de luz, partículas poderiam se transformar em ondas.
- c) Segundo De Broglie, a luz, assim como as partículas de matéria, tem massa de repouso não nula, por isso possui momentum linear.
- d) De Broglie propôs que o princípio da complementaridade não é válido para as partículas.

03) Qual das seguintes expressões matemáticas obtida por De Broglie evidencia a natureza dual (onda- partícula) da matéria?

a) $E = \frac{h}{\lambda}$

b) $E = h \cdot f$

c) $\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$

d) $C = \lambda \cdot f$

04) Com a comprovação experimental da hipótese levantada por De Broglie de que o comportamento ondulatório dual da luz também poderia ser estendido para partículas, como prótons, elétrons, nêutrons, e etc., qual foi o novo modelo adotado pela comunidade científica para a natureza da matéria?

- a) Dual (onda – partícula)
- b) Continua adotando apenas o modelo corpuscular.
- c) Foi adotado o modelo ondulatório como único e capaz de descrever todos os fenômenos físicos.
- d) Os modelos ondulatório e corpuscular foram ambos adotados e sempre são observados ao mesmo tempo em um único fenômeno, como prevê o princípio da complementaridade de Bohr.

05) Por que não podemos ver ondas associadas a objetos que se movem em nosso cotidiano, como carros, aviões, bolas de futebol, e etc., conforme preveem as relações matemáticas de De Broglie?

- a) Não observamos porque as relações de De Broglie só são válidas para velocidades próximas a da luz.
- b) Propriedades ondulatórias em objetos do cotidiano não são observadas devido ao fato de que a massa desses objetos é pequena, o que faz com que seus comprimentos de onda sejam irrelevantes.
- c) Porque o comprimento de onda é diretamente proporcional à quantidade de movimento da partícula ($p=m \cdot v$), dessa forma, quanto maior é a massa da partícula, menor é o comprimento de onda associado a ela.
- d) Não observamos propriedades ondulatórias porque o comprimento de onda das partículas é inversamente proporcional à sua quantidade de movimento, dessa forma, quanto mais massiva for a partícula, menor é o comprimento de onda da onda que ela está associada.

