



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física

Um Primeiro Encontro com o Fóton

Adriano Gomes da Silva Júnior
Carlos Eduardo Aguiar
Hugo Milward Riani de Luna

Material instrucional apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Rio de Janeiro
Maio de 2024

Sumário

Apresentação	3
Um Primeiro Encontro com o Fóton	6
1 Luz é onda?	6
1.1 Luz e sombras	6
1.2 A interferência	7
1.3 O aspecto ondulatório da luz	9
2 Luz é partícula?	9
2.1 Luz e cores	9
2.2 A fotoluminescência (fluorescência)	10
2.3 O aspecto corpuscular da luz	12
3 O que é a luz?	13
3.1 O que caracteriza uma onda?	13
3.2 O que caracteriza uma partícula?	14
3.3 Luz é onda ou partícula?	15
Complementos	17
Material pré-aula	18
Questionário pós-aula	29

Apresentação

Caro professor, cara professora:

A sequência didática apresentada neste trabalho visa introduzir o conceito de fóton e a dualidade onda-partícula em um nível compatível com o Ensino Médio. Esses tópicos da física quântica são pouco explorados nesta etapa, e quando isso acontece os métodos usuais frequentemente resultam em dificuldades para os alunos. O efeito fotoelétrico tem sido a maneira principal de apresentar o conceito de fóton, sendo discutido nos principais livros de Física. No entanto, a complexidade e o alto custo do equipamento envolvido tornam sua demonstração em sala inviável, restringindo os professores a descrições teóricas ou simulações experimentais. Mesmo essas alternativas podem ser desafiadoras, pois envolvem a apresentação de um circuito elétrico que pode ser complicado para os estudantes e mesmo alguns professores.

Para tentar minimizar as dificuldades, desenvolvemos uma sequência didática baseada na leitura do artigo de Einstein sobre os fótons, intitulado *Um ponto de vista heurístico sobre a emissão e a transformação da luz*. No artigo, Einstein demonstrou que a radiação eletromagnética de frequência ν tem propriedades semelhantes às de um gás ideal cujas partículas possuem, cada uma, energia $h\nu$. Ao supor que a luz é composta por essas partículas, denominadas quanta de luz ou simplesmente fótons, ele explicou diversos fenômenos relacionados à emissão e transformação da radiação eletromagnética.

O primeiro fenômeno analisado por Einstein com a hipótese dos quanta de luz foi a fotoluminescência, explicada de forma simples utilizando o conceito de fóton. Essa explicação serviu como base para o desenvolvimento da nossa sequência didática, pois envolve um fenômeno presente no cotidiano, como no uso de marca-textos, *post-its* e tintas fluorescentes, e pode ser demonstrada experimentalmente em qualquer sala de aula com materiais simples e acessíveis.

Na sequência didática *Um primeiro encontro com o fóton*, propomos um conjunto de experimentos que exploram a natureza da luz e apresentam a dualidade onda-partícula.

O primeiro experimento, denominado *Luz e sombras*, tem o objetivo de demonstrar o comportamento ondulatório da luz. O experimento apresenta o fenômeno da difração da luz ao passar por um fio de cabelo. O objetivo é levantar a questão: “Por que não vemos apenas a sombra do fio de cabelo, e sim um padrão intercalado de luz e sombra?”. Após o experimento, apre-

sentamos aos alunos a imagem de um padrão de interferência em uma cuba de ondas, comparando-o com o padrão de luz e sombras formado pelo fio de cabelo, sugerindo que a luz se comporta como uma onda.

O segundo experimento, denominado *Luz e cores*, explora a relação entre a reflexão e absorção da luz e a determinação das cores dos objetos. O experimento consiste em iluminar peças de LEGO e perceber que em uma delas (a verde) a cor refletida não corresponde à cor da luz incidente. Essa "troca de cor" é um fenômeno, conhecido como fotoluminescência ou fluorescência, que não pode ser explicado pelo modelo ondulatório da luz. Outros exemplos de fotoluminescência, como líquidos fluorescentes, também são mostrados. Finalmente, introduzimos a hipótese dos fótons de Einstein, que revela a natureza corpuscular da luz e leva os alunos à questão: "afinal, a luz é onda ou partícula?".

Na terceira etapa, discutimos as características das ondas e partículas que encontramos no nosso dia a dia, evidenciando que esses conceitos são mutuamente excludentes. Concluímos que a luz não se encaixa em nenhuma das classificações usuais, pois dependendo do experimento ela pode se *comportar* como onda ou como partícula. Diante da falta de uma descrição intuitiva, resta apenas dar um nome a esta condição peculiar da luz: *dualidade onda-partícula*.

A duração estimada para a aplicação da sequência didática proposta é de duas aulas de 45 a 50 minutos cada. A primeira aula é dedicada à realização e discussão dos experimentos, enquanto a segunda é destinada à discussão sobre a dualidade onda-partícula, incluindo a avaliação da compreensão dos alunos sobre o tema exposto. A sequência é direcionada a alunos que já tiveram contato com física ondulatória, o espectro eletromagnético e as cores dos objetos.

A sequência didática é acompanhada por dois materiais complementares. O primeiro é um material pré-aula, que sintetiza os pré-requisitos citados. Ele começa por um texto que descreve as propriedades básicas das ondas, como comprimento de onda e frequência. Em seguida, aborda o espectro eletromagnético e a absorção e reflexão da luz, enfatizando sua influência na determinação das cores dos objetos. Vale ressaltar que o material é uma revisão opcional, ou seja, pressupõe que esses conteúdos já foram vistos pelos alunos em etapas anteriores. Se esse material for adicionado à sequência didática, ela pode se aplicar até mesmo aos alunos que não tiveram contato com física ondulatória.

O segundo material é um questionário pós-instrução, cujo objetivo é avaliar o aprendizado sobre o comportamento da luz. Nele, os alunos devem (1) descrever os conceitos clássicos de ondas e partículas, destacando diferenças e semelhanças, se houver, (2) indicar qual acreditam ser a natureza

da luz (ondulatória, corpuscular, ambas ou nenhuma das duas) e (3) dissertar sobre a possibilidade da aplicação dos conceitos de onda e partícula no mundo microscópico. Como o complemento anterior, sua aplicação também é opcional.

Mais detalhes sobre a fotoluminescência e o artigo de Einstein sobre os fótons podem ser encontrados na dissertação de mestrado de um dos autores deste trabalho intitulada *Fotoluminescência: Um Primeiro Encontro com o Conceito de Fóton* e que pode ser encontrada em pef.if.ufrj.br/producao_academica/dissertacoes/2024_Adriano_Silva/dissertacao_Adriano_Silva.pdf.

Um Primeiro Encontro com o Fóton

1 Luz é onda?

1.1 Luz e sombras

Um objeto opaco iluminado projeta uma sombra sobre uma superfície (ver figura 1).

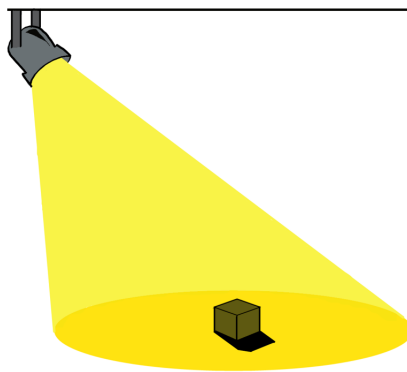


Figura 1: Formação da sombra de um objeto opaco iluminado.

E se iluminarmos um objeto pequeno, como um fio de cabelo, com um ponteiro *laser*, conforme a figura 2? É natural que também esperemos a formação de uma sombra.

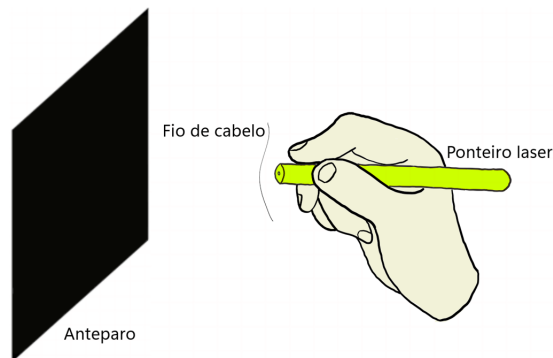


Figura 2: Esquema do experimento para a produção da sombra de um fio de cabelo.

A figura 3 mostra que a luz emitida pelo *laser*, sem a presença do fio de cabelo, atinge um único local no anteparo. Já com o fio de cabelo, ao

contrário do que esperávamos, vemos múltiplas “sombras” intercaladas com luz, como está mostrado na figura 4.

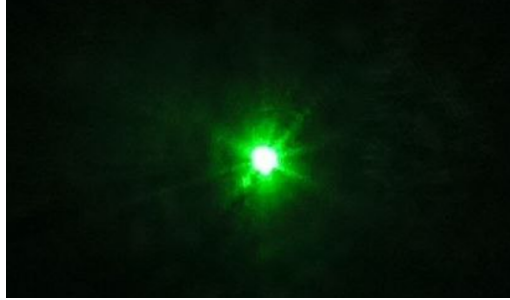


Figura 3: A luz emitida pelo laser, sem o fio de cabelo, atinge apenas um local no anteparo.

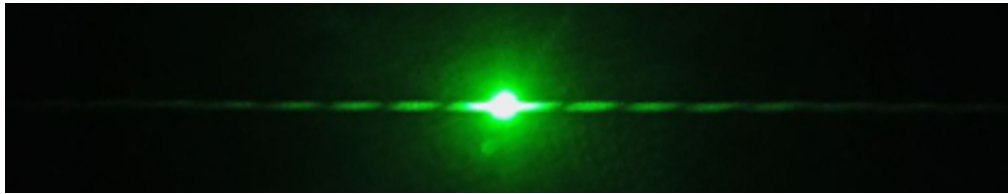


Figura 4: Padrão de claro e escuro formado ao colocarmos o fio de cabelo na frente do feixe de luz.

1.2 A interferência

Quando duas ondas se encontram, elas podem sofrer o que chamamos de *superposição*, em que seus efeitos são somados. O resultado disso é o *reforço* ou o *cancelamento* da onda, que podem ser vistos nas figuras 5 e 6.

Ambas as situações descritas anteriormente são chamadas de *interferência*, sendo *construtiva* no reforço e *destrutiva* no cancelamento da onda. Na figura 7, duas fontes geram perturbações que se propagam na superfície da água, as quais se cancelam em determinadas regiões. Vemos, assim, a formação de um padrão que intercala regiões com e sem ondulações, ou seja, um padrão de interferência.

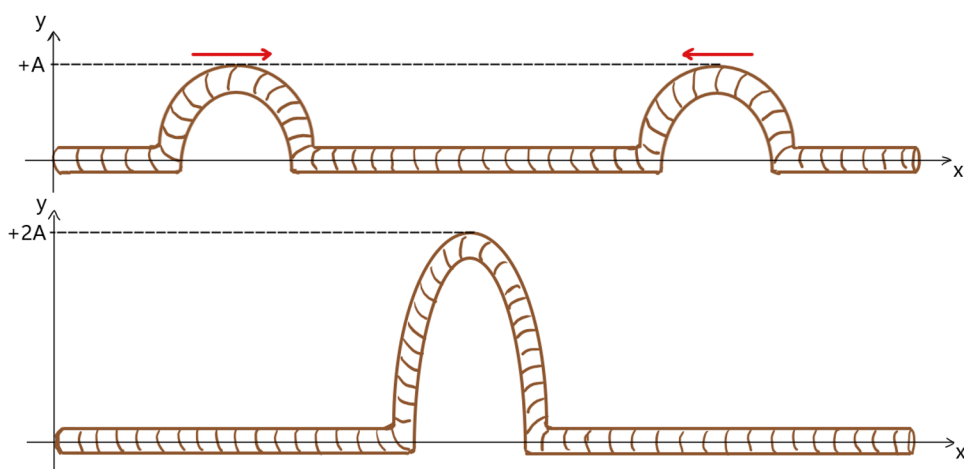


Figura 5: Perturbações numa corda se reforçando.

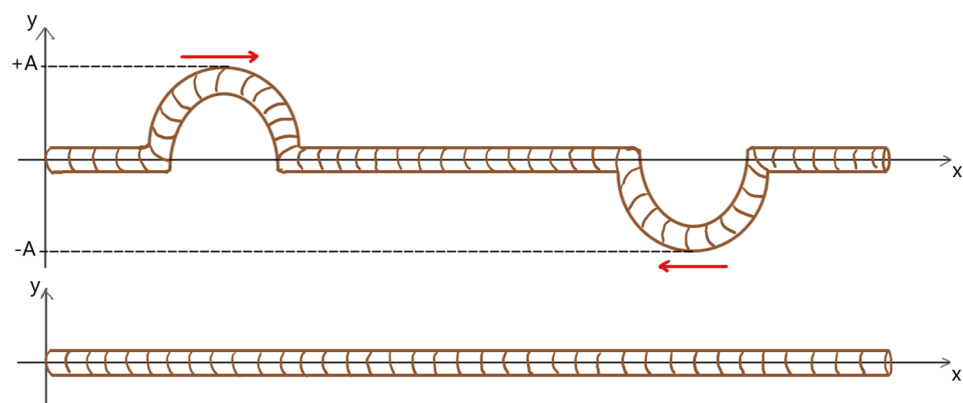


Figura 6: Perturbações numa corda se cancelando.

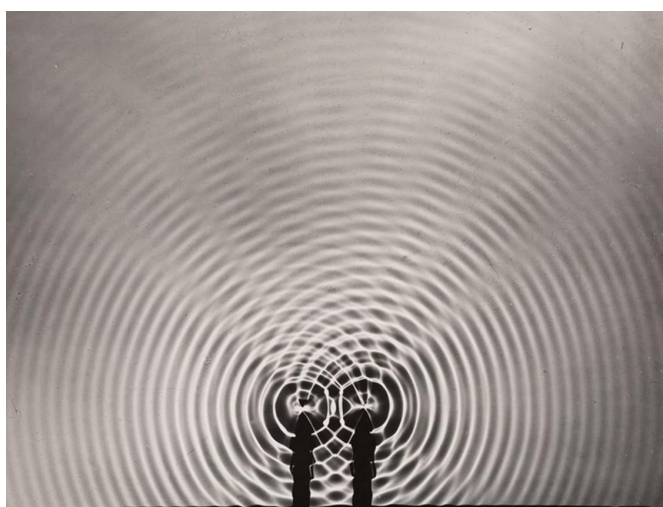


Figura 7: Perturbação e zero perturbação intercaladas na cuba de ondas.

1.3 O aspecto ondulatório da luz

Os padrões obtidos no experimento com o fio de cabelo e na cuba de ondas são similares. As regiões claras no anteparo são análogas às regiões com perturbação na água, enquanto as regiões escuras se equiparam às regiões sem perturbação. Constatamos, assim, que a luz sofreu interferência, fenômeno que só pode ser explicado se a considerarmos como onda.

2 Luz é partícula?

2.1 Luz e cores

Quando a luz atinge uma superfície opaca, duas coisas podem ocorrer: ela pode sofrer reflexão, retornando ao meio de origem ou pode sofrer absorção, sendo convertida em energia térmica. A intensidade da reflexão ou absorção geralmente depende da frequência da luz. A cor de uma superfície é dada pela luz que ela reflete.

A figura 8 mostra peças de LEGO nas cores vermelha e azul sendo iluminadas por luz branca. Os blocos vermelhos apresentam essa cor porque frequências maiores, como verde e azul, são preferencialmente absorvidas, enquanto as menores, na faixa do vermelho, são refletidas. Da mesma forma, os blocos da esquerda são azuis porque absorvem as frequências mais baixas, como verde e vermelho, e refletem preferencialmente as mais altas, na região do azul.

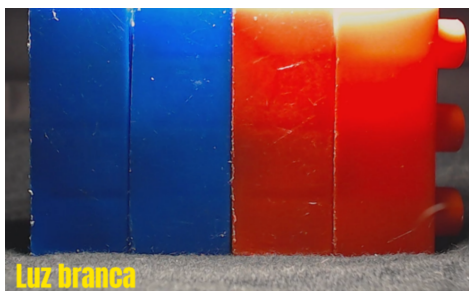


Figura 8: Luz branca iluminando peças de LEGO vermelhas e azuis.

Utilizando uma lâmpada vermelha, na figura 9, podemos observar que as peças de LEGO vermelhas, conforme explicação prévia, refletiram a luz. Já as peças azuis a absorveram, ficando pretas. Com a luz azul, na figura 10, vemos que as peças vermelhas ficaram pretas.

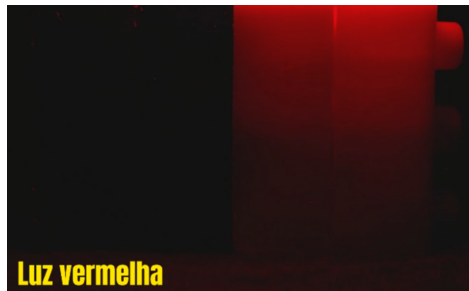


Figura 9: Luz vermelha iluminando peças de LEGO vermelhas e azuis.

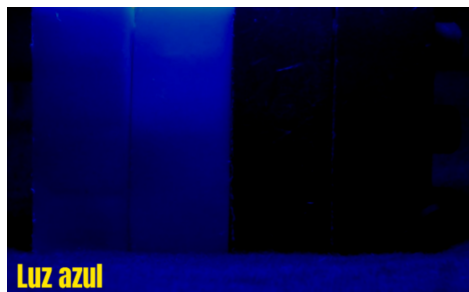


Figura 10: Luz azul iluminando peças de LEGO vermelhas e azuis.

Iluminando agora peças de LEGO verdes com luz azul, esperamos que elas se apresentem pretas. No entanto, surpreendentemente, vemos que as peças continuam verdes, como mostrado na figura 11.

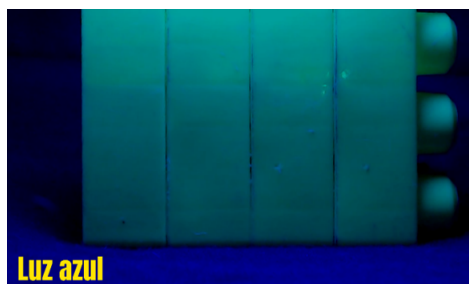


Figura 11: Luz azul iluminando as peças de LEGO verdes.

2.2 A fotoluminescência (fluorescência)

O comportamento apresentado pelas peças verdes é chamado fotoluminescência e ocorre com alguns materiais que, ao serem iluminados, emitem luz de cor diferente da incidente. Em meados do século XIX, George Stokes (1819-1903) descobriu que, como regra, a frequência da luz emitida é sempre

menor ou igual à da luz incidente. Entretanto, até o início do século XX, não havia nenhuma teoria que explicasse a fotoluminescência e a regra de Stokes.

As peças de LEGO da figura 11 fornecem um exemplo da regra de Stokes. Iluminadas por luz azul elas brilham na cor verde, que tem frequência menor que a azul. Outros materiais podem ser fotoluminescentes. As figuras 12 e 13 mostram a fotoluminescência no óleo de soja e na água tônica. Na primeira foto vemos como luz verde é espalhada pela água (que não é fotoluminescente) sem mudança de cor e torna-se amarela ao ser espalhada pelo óleo. Na segunda foto, a luz incidente é violeta e torna-se azul ao ser espalhada pela água tônica. Em ambos os casos a luz espalhada tem frequência menor que a incidente.

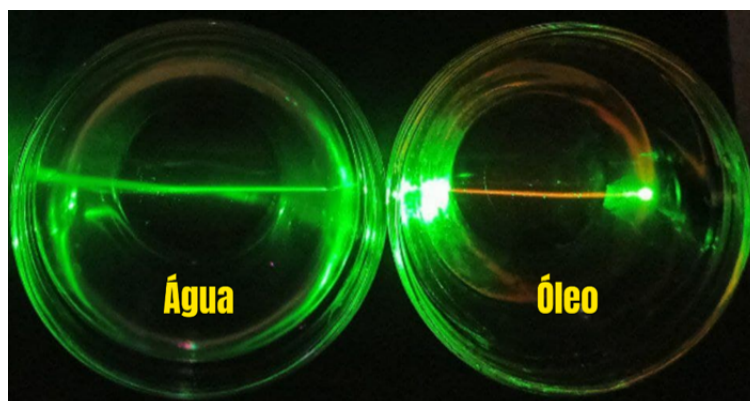


Figura 12: Fotoluminescência no óleo de soja.

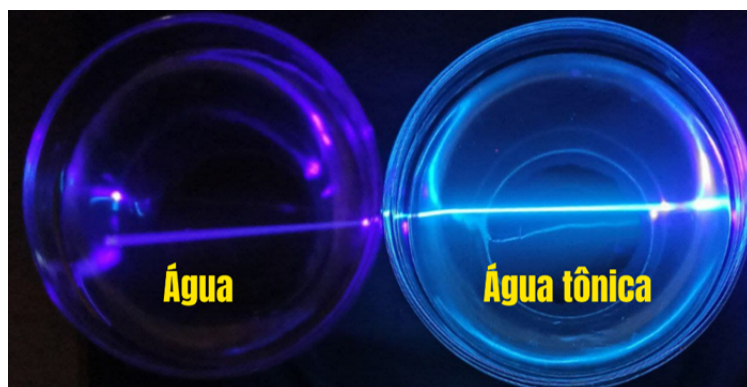


Figura 13: Fotoluminescência na água tônica.

A fotoluminescência pode aparecer em duas formas: fluorescência e fosforescência. A fluorescência cessa no momento em que a radiação deixa de

incidir sobre o material, como nos exemplos anteriores. Já a fosforescência tem maior duração e pode ser observada em tomadas e interruptores antigos, como ilustrado na figura 14.



Figura 14: Fosforescência em tomadas antigas.

2.3 O aspecto corpuscular da luz

O modelo ondulatório da luz não explica a regra de Stokes, mas Einstein a elucidou de forma simples, utilizando o conceito de fóton. Ele propôs que um feixe luminoso é composto por partículas, que ele chamou de quanta de luz e que mais tarde vieram a ser conhecidas como fótons. Cada fóton teria energia E igual ao produto entre uma constante universal h e a frequência f da radiação.

$$E = hf. \quad (1)$$

A constante em questão é chamada de constante de Planck e seu valor é aproximadamente $h = 6,63 \cdot 10^{-34} J \cdot s$. Aplicando o conceito de fóton à regra de Stokes, Einstein supôs que a interação entre a radiação e o material fluorescente se dá por absorção e emissão de fótons.

Segundo Einstein, cada fóton pode ser absorvido por uma molécula, que ganha dele energia hf_1 , onde f_1 é a frequência da luz incidente. Parte dessa energia, Q , é perdida por colisões dessa molécula com suas vizinhas. O restante da energia será emitido pela molécula, em algum momento, na forma de um novo fóton, correspondente à luz de frequência f_2 e, conseqüentemente, de energia hf_2 . Esse processo está ilustrado na figura 15.

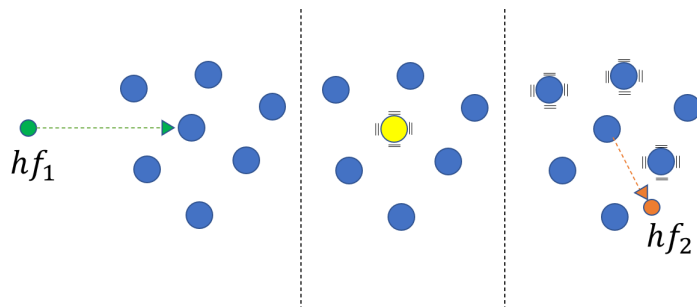


Figura 15: A explicação de Einstein para a fotoluminescência. Um fóton de energia hf_1 é absorvido por uma molécula do corpo fotoluminescente. A molécula perde parte da energia através de interações com moléculas vizinhas e emite o restante na forma de um novo fóton, com energia hf_2 . As pequenas linhas junto às moléculas indicam que estas estão excitadas.

Portanto, pela conservação da energia,

$$hf_2 = hf_1 - Q. \quad (2)$$

Como $Q > 0$, já que a molécula excitada só perde energia, chegamos à regra de Stokes, ou seja, $f_2 > f_1$.

Anteriormente, vimos que a luz pode sofrer interferência, fenômeno exclusivo das ondas. Agora, observamos um fenômeno que só pode ser explicado se considerarmos a luz como sendo composta por partículas, os fótons. Isso significa que a luz pode ser considerada tanto onda quanto partícula?

3 O que é a luz?

3.1 O que caracteriza uma onda?

Ondas são caracterizadas pelo transporte de energia a múltiplos pontos do espaço ao mesmo tempo, como ilustrado na figura 16. Por isso, dizemos que elas são *extensas*.



Figura 16: Ondas podem chegar a mais de um ponto no mesmo instante.

Ao se deparar com dois possíveis caminhos diferentes, *as ondas podem passar por ambos ao mesmo tempo*, conforme ilustra a figura 17. Suponha que você esteja em uma sala com duas portas, falando com alguém que esteja ao lado de fora. Como o som é uma onda, ele se divide ao passar pelas duas portas, *podendo chegar ao mesmo lugar após seguir caminhos diferentes*. Após se encontrarem, conforme já vimos na seção 1.2, *as ondas podem se cancelar*.

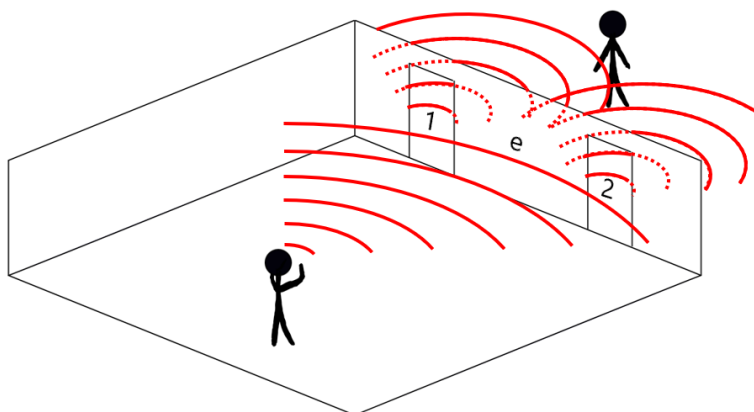


Figura 17: Ondas podem atingir um mesmo local tendo seguido simultaneamente caminhos diferentes. No encontro, elas podem se cancelar.

3.2 O que caracteriza uma partícula?

Partículas são caracterizadas pelo transporte de energia a um único ponto do espaço em um instante, como ilustrado na figura 18. Por isso, dizemos que elas são *localizadas*.

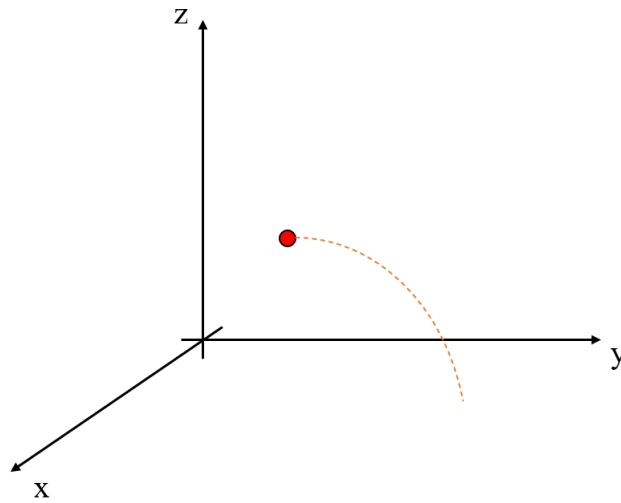


Figura 18: Partículas atingem apenas um ponto em um instante.

Ao se deparar com dois caminhos diferentes, *as partículas podem passar por um ou por outro em um intervalo de tempo*, como mostra a figura 19. Suponha que você esteja novamente em uma sala com duas portas, lançando partículas para alguém que esteja ao lado de fora. As diferentes partículas podem chegar ao mesmo local, mas *cada uma delas segue um único caminho*. Após se encontrarem, *as partículas nunca se cancelam*.

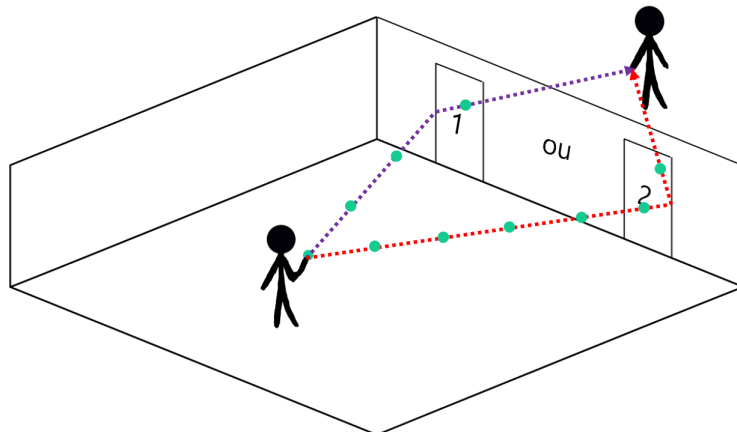


Figura 19: Partículas podem chegar a um local tendo seguido um único caminho. No encontro, elas nunca se cancelam.

3.3 Luz é onda ou partícula?

A tabela a seguir sintetiza as características de ondas e partículas.

Onda	Partícula
É extensa.	É localizada.
Pode chegar a um local seguindo mais de um caminho.	Para chegar a um local, segue um único caminho.
No encontro com outra, pode ser cancelada.	No encontro com outra, nunca é cancelada.

Tabela 1: Resumo das características de ondas e de partículas.

A tabela 1 deixa clara a incoerência entre as características de partículas e de ondas, o que nos leva a crer que o que é uma não pode ser a outra. Sendo assim, a luz não pode ser onda e partícula. Por outro lado, vimos que o experimento com o fio de cabelo só é compreendido supondo que a luz é uma onda, e o experimento com os blocos fluorescentes só é entendido supondo que ela é um conjunto de partículas. A única conclusão que parece possível é a de que a luz não é nem onda nem partícula. Ela é diferente de tudo o que encontramos no nosso dia-a-dia. Conceitos derivados da vivência cotidiana, como onda e partícula, não são capazes de descrever completamente o que é a luz. Tudo que podemos dizer é que em determinadas situações a luz comporta-se como onda e em outras como partícula. Na falta de uma definição intuitiva dentro da física clássica para essa estranha característica, podemos apenas dar um nome a ela, que é *dualidade onda-partícula*.

Complementos

A seguir, apresentamos os materiais complementares opcionais que podem ser utilizados pelo educador durante a aplicação da sequência didática.

O primeiro complemento é um material pré-aula com o objetivo de recapitular tópicos considerados pré-requisitos para a sequência didática, como física ondulatória, o espectro eletromagnético e as cores dos objetos. Esse recurso é particularmente útil para estudantes que não tiveram contato prévio com esses conteúdos, com a devida adaptação por parte do professor.

O segundo complemento é um questionário pós-aula elaborado para avaliar o aprendizado dos alunos sobre o comportamento da luz e identificar possíveis dificuldades de compreensão. Nele, os estudantes são incentivados a refletir sobre a natureza da luz e a dualidade onda-partícula, bem como levados a utilizar os conhecimentos adquiridos para discutir a aplicação dos conceitos de onda e partícula no mundo microscópico.

Material Pré-aula

Os textos em *Ondas e a cor dos objetos* têm por objetivo recapitular (muito resumidamente) conteúdos essenciais à discussão sobre fotoluminescência e a natureza da luz, apresentada na sequência didática *Um primeiro encontro com o fóton*. Em princípio, supomos que esses conteúdos já foram apresentados mais detalhadamente aos alunos em etapas anteriores de seus estudos de Física. Entretanto, se não for o caso, uma adaptação deve ser feita pelo professor. Em seguida aos textos vêm questões que visam avaliar como os alunos compreendem atualmente esses temas, permitindo ao professor preparar adequadamente a aplicação da sequência didática.

Ondas e a cor dos objetos

Leia os textos abaixo e responda ao que se pede.

Nome: _____

Turma: _____

As propriedades das ondas

Ao tocar a superfície da água, observamos a formação de ondulações que se propagam de forma circular ao longo de sua superfície (ver figura 1). Chamamos de onda a propagação dessas ondulações, que transportam a energia transferida pelo toque na água.



Figura 1: Perturbação na superfície da água.

Ao aumentar a intensidade da perturbação, elevamos a energia transferida à água, o que pode ser notado através da elevação das cristas da onda propagada, como ilustrado na figura 1. Portanto, a quantidade de energia carregada pela onda está associada à altura das cristas em relação ao nível original da água. Essa altura ganha o nome de amplitude, sendo uma das propriedades que caracterizam as ondas.

Chamamos de comprimento de onda a distância entre duas cristas consecutivas (ver figura 2). O intervalo de tempo entre a passagem de uma crista e a próxima é o período. A razão entre a quantidade de cristas que passa

por um ponto e o tempo dessa passagem é a frequência da onda. É fácil ver que há uma relação entre a frequência f e o período T da onda, dada por $f = 1/T$.

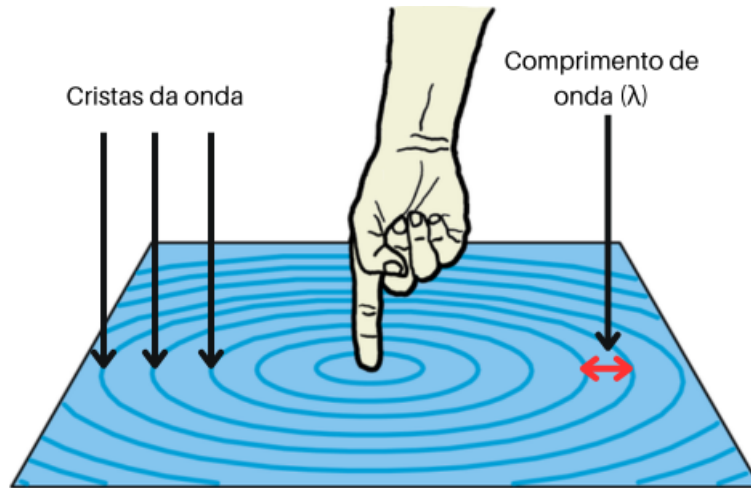


Figura 2: Cristas e comprimento de onda.

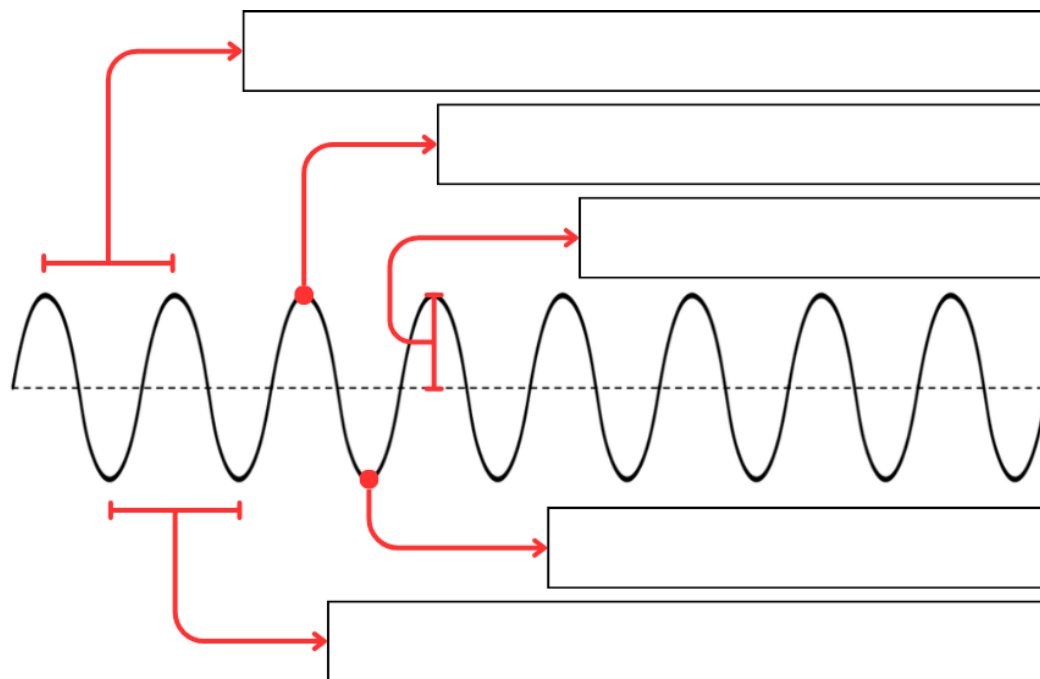
A velocidade v de propagação de uma onda é dada por $v = \lambda/T$, onde λ é o comprimento de onda e T o período. Como $T = 1/f$, a velocidade também é dada por $v = \lambda f$. Daí, obtemos uma importante relação entre o comprimento de onda e a frequência:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

Essa equação mostra a relação de proporção inversa entre o comprimento de onda e a frequência de uma onda que se propaga em um mesmo meio, considerando fixa sua velocidade de propagação. Em outras palavras, quanto maior for a frequência, menor será o comprimento de onda e vice-versa.

Utilizando o texto anterior e qualquer informação que você tenha sobre ondas, responda às questões 1 a 3.

1. A seguir, temos uma onda que se propaga em uma corda. Preencha as caixas abaixo com os nomes dos elementos indicados.



2. As figuras a seguir representam ondas se propagando em cordas. Considere que todas possuem a mesma velocidade de propagação e que estejam na mesma escala.

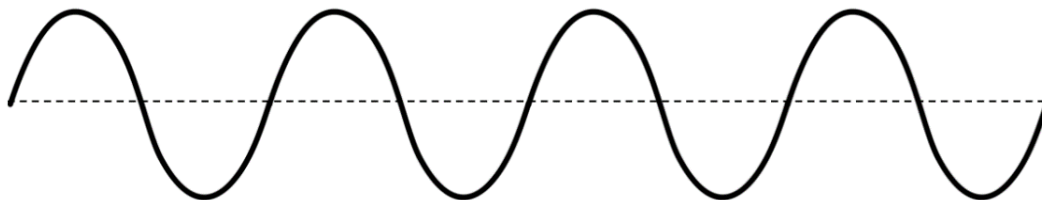


Figura 3

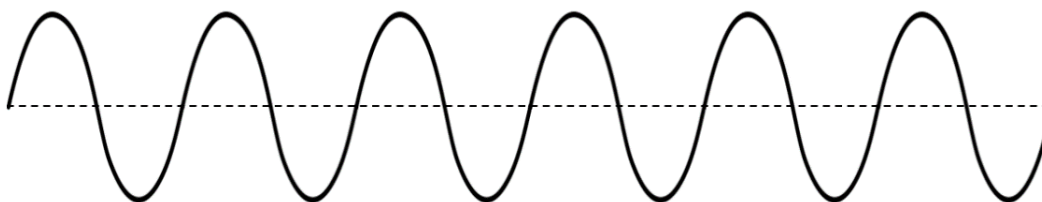


Figura 4

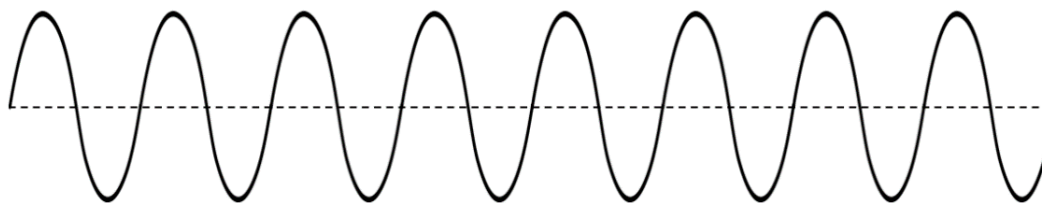


Figura 5

- a) Qual delas possui a maior frequência?

- (A) Figura 3
- (B) Figura 4
- (C) Figura 5

- b) Qual delas possui o maior comprimento de onda?

- (A) Figura 3
- (B) Figura 4
- (C) Figura 5

3. As figuras a seguir representam ondas se propagando em cordas. Considere que todas possuem a mesma velocidade de propagação e que estejam na mesma escala.

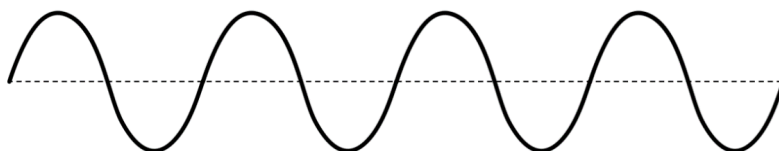


Figura 6

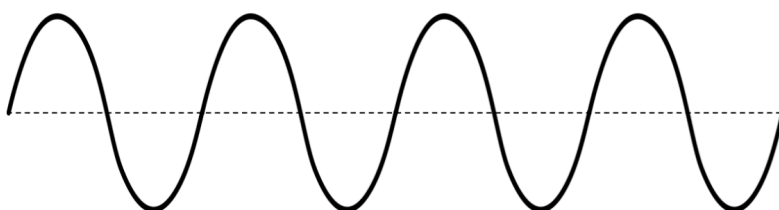


Figura 7

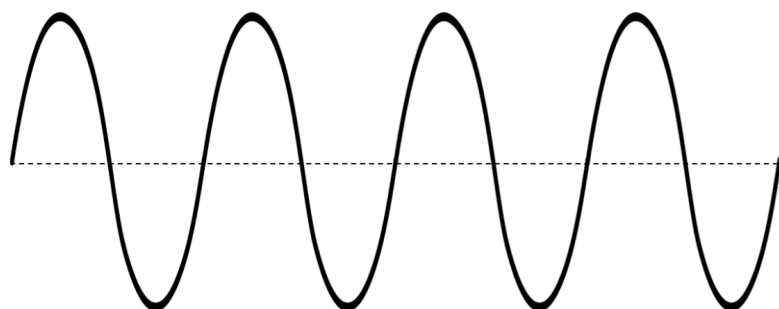
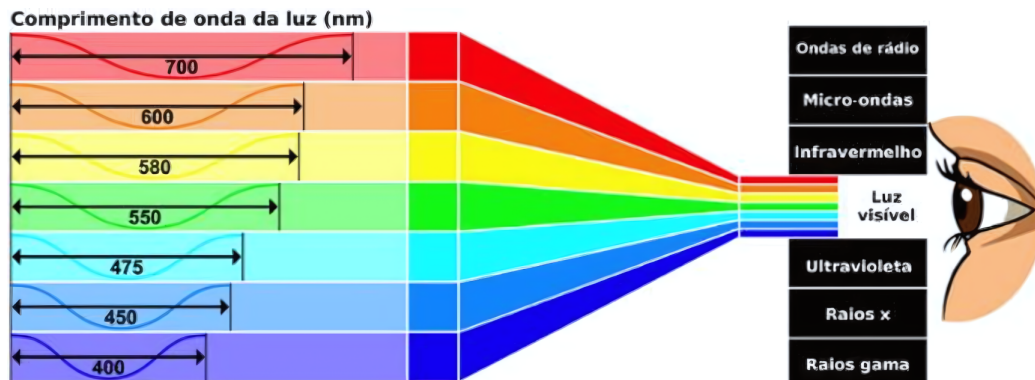


Figura 8

- a) Qual delas possui a menor amplitude?
- (A) Figura 6
 - (B) Figura 7
 - (C) Figura 8
- b) Qual delas transporta a maior energia?
- (A) Figura 6
 - (B) Figura 7
 - (C) Figura 8

As cores dos objetos

O espectro da luz visível é subdividido de acordo com as cores, que vão do vermelho (comprimento de onda maior / frequência menor) ao violeta (comprimento de onda menor / frequência maior), conforme a figura abaixo. A luz branca natural é a composição de todas as cores desse espectro.



Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/espectro-eletromagnetico.htm>

Figura 9: Espectro visível.

Conseguimos ver os objetos (sem luz própria) porque a luz que os atinge é refletida para os nossos olhos. Sem luz, é impossível que os enxerguemos e o mesmo vale para as suas cores: nossa percepção muda de acordo com a cor da luz que os ilumina. Por exemplo, vemos um objeto vermelho sob a luz branca porque ele reflete, preferencialmente, a faixa do espectro no entorno do vermelho e absorve o restante.

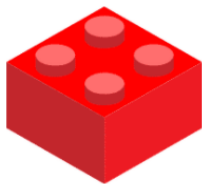
Utilize o texto anterior para responder às questões 4 e 5.

4. Um objeto de cor vermelha é posicionado em uma sala completamente escura. Indique a cor observada nas seguintes situações:

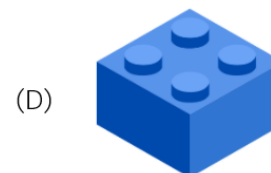
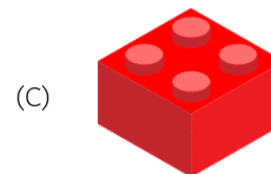
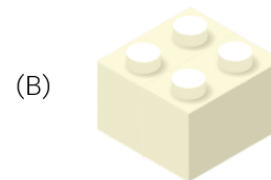
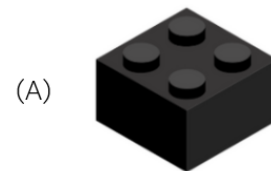
Luz branca



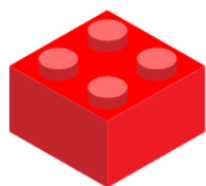
Percepção:



Peça vermelha

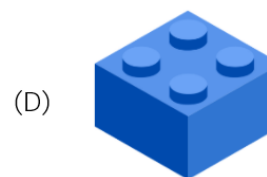
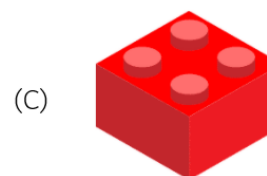
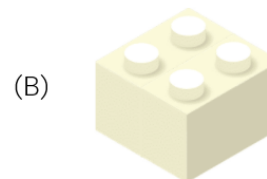
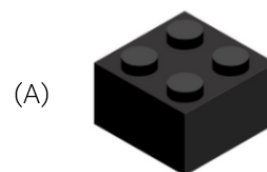


Luz vermelha

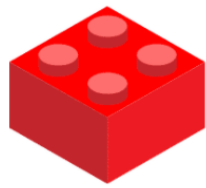


Peça vermelha

Percepção:



Luz azul



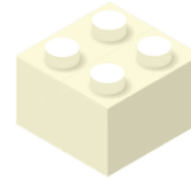
Peça vermelha

Percepção:

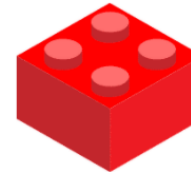
(A)



(B)



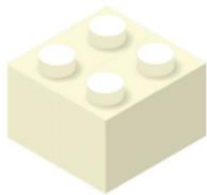
(C)



(D)

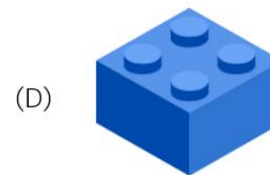
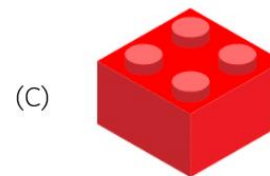
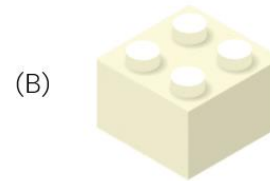
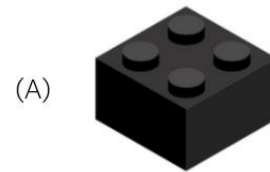


Luz vermelha



Peça branca

Percepção:



5. A cor de um objeto iluminado é dada:

- (A) pela luz que ele reflete.
- (B) pela luz que ele absorve.

Questionário Pós-aula

O questionário *A natureza da luz*, a ser aplicado após a sequência didática, avalia a compreensão dos alunos sobre partículas, ondas e sua relação com a natureza da luz.

Questionário “A Natureza da Luz”

Com base no que você aprendeu nas aulas, responda as questões a seguir.

Nome: _____

Turma: _____

1. O que você entende por partícula? Dê exemplos.
2. O que você entende por onda? Dê exemplos.
3. Que diferenças você identifica entre partículas e ondas? Existe alguma semelhança? Se sim, qual(is)?
4. Tendo em vista os experimentos do fio de cabelo e da fotoluminescência, o que você diria sobre a natureza da luz?
 - (A) É onda.
 - (B) É partícula.
 - (C) Às vezes é onda e às vezes é partícula.
 - (D) Não é nem onda e nem partícula.

5. Comente os motivos para sua resposta à questão anterior.

6. Usamos os conceitos clássicos de ondas e partículas para caracterizar fenômenos do mundo macroscópico, como uma perturbação na água (onda) ou um objeto se deslocando (partícula). Você acha que esses conceitos também podem ser usados para caracterizar sistemas do mundo microscópico, como moléculas absorvendo ou emitindo energia? Comente sobre a sua opinião.