

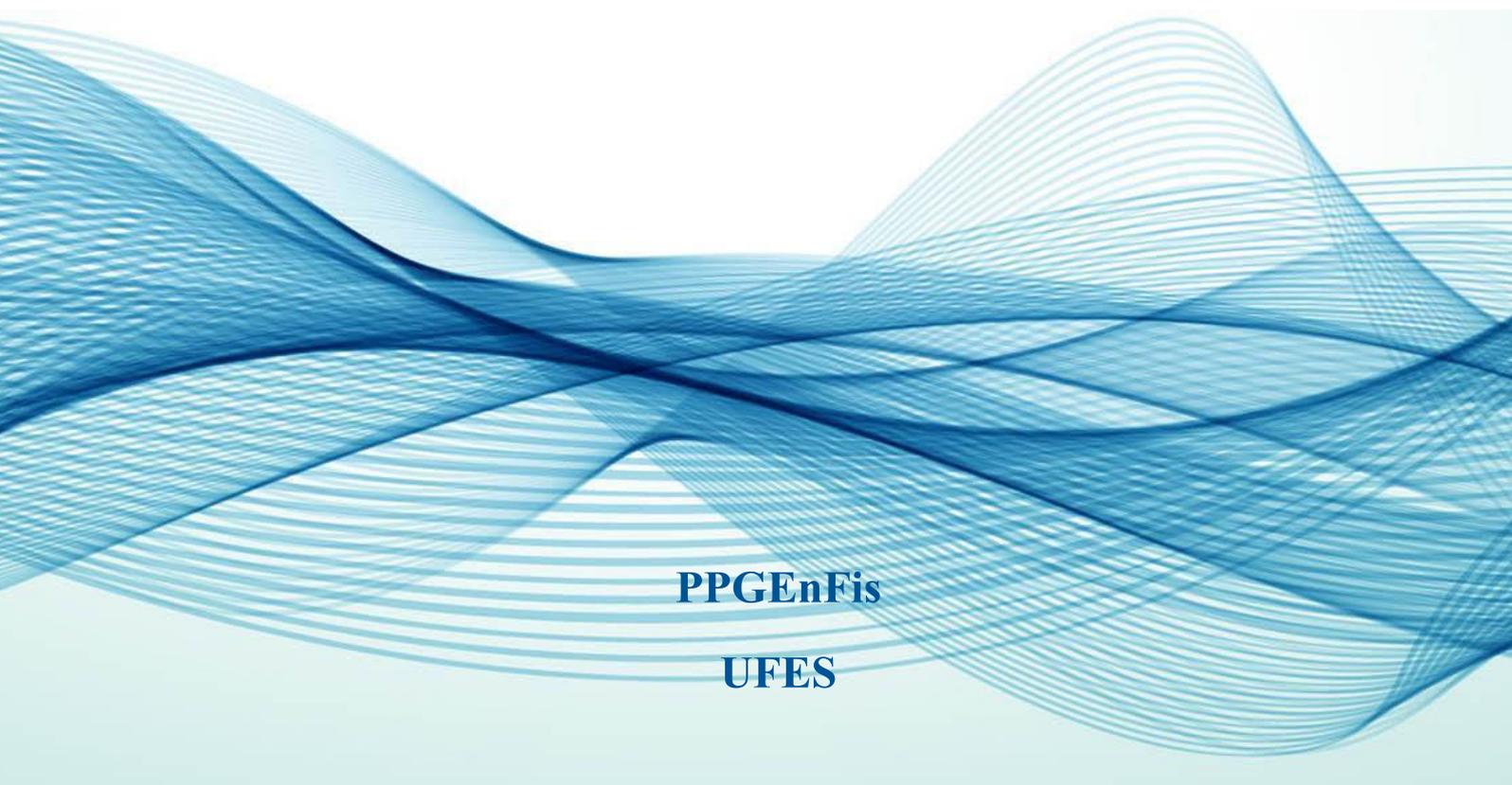
PRODUTO DE MESTRADO

**UNIDADE DE ENSINO
INVESTIGATIVA SOBRE A
DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA**

**KLEIDIANI MOREIRA MONICO
FLÁVIO GIMENES ALVARENGA**

PPGEnFis

UFES





UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA

KLEIDIANI MOREIRA MONICO

FLÁVIO GIMENES ALVARENGA

**UNIDADE DE ENSINO INVESTIGATIVA SOBRE A
DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA**

Vitória – ES
Agosto – 2018

EPÍGRAFE

Quando quase não há
Quantidade que se medir
Qualidade que se expressar
Fragmento infinitésimo
Quase que apenas mental
Quantum granulado no mel
Quantum ondulado no sal
Mel de urânio, sal de rádio
Qualquer coisa quase ideal

Cântico dos cânticos
Quântico dos quânticos

Gilberto Gil

SUMÁRIO

Apresentação.....	5
1.Dualidade Onda-partícula.....	6
1.1. Efeito Fotoelétrico.....	6
1.2. Explicações de Einstein para o Efeito Fotoelétrico	7
1.3. Efeito Compton.....	8
1.4. Propriedades Ondulatórias da Matéria – Postulado de de Broglie	10
1.5. A Dualidade Onda –partícula..	12
2. Sequência de aulas e de atividades	13
2.1. Aula 1: Conhecimentos prévios.....	13
2.2. Aula 2: Primeira demonstração investigativa	15
2.3. Aula 3: Segunda demonstração investigativa.....	17
2.4. Aula 4: Terceira atividade investigativa - vídeo	19
2.5. Aula 5: Equação de de Broglie	20
2.6. Aula 6: Questionário.....	21
3. Referências	24

Apresentação

Caro (a) Professor(a)

Este é o Produto da Dissertação de Mestrado de Kleidiani Moreira Monico, orientada pelo Prof. Flávio Gimenes Alvarenga, que foi apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Espírito Santo. O objetivo é que essa unidade seja um guia a mais de Ensino de conteúdos conceituais sobre o tema dualidade onda-partícula e que contribua para o trabalho pedagógico do professor.

Para preparar essa unidade de ensino nos baseamos em atividades investigativas, pois entendemos que assim estaremos privilegiando a participação ativa do estudante durante o processo de ensino aprendizagem. Nesta proposta didática de ensinar os conceitos da dualidade onda-partícula, apresentamos a concepção de uma unidade de ensino que é pautada no ensino por investigação. Tal metodologia traz mudanças nos papéis do aluno e do professor, o primeiro deixa de ser apenas um ouvinte e passa a ser protagonista do processo de ensino e aprendizagem enquanto o segundo assume o papel de mediador do conhecimento, aquele que orienta e facilita as ações para favorecer as aprendizagens. A unidade de ensino investigativa foi aplicada na Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio “Aflordízio Carvalho da Silva”, em uma turma do segundo ano do ensino médio, composta de 35 alunos. A pesquisa é de natureza *qualiquanti*, apoiada em observações registradas em um diário de bordo, de registros em áudio e de dados coletados ao longo da intervenção.

Durante a intervenção pudemos notar um maior interesse dos alunos em relação às aulas tradicionais, eles ficaram muito curiosos e interessados em entender e explicar os fenômenos que eram observados. Salvo raras exceções, tivemos uma brilhante participação dos alunos durante todas as etapas da intervenção. Minha postura enquanto professora também foi alterada e isso acontecia de uma forma bem natural. Muitas vezes eu era tentada a dar a resposta, mas me contive e foi bem legal. Posso afirmar que a pesquisa foi potencial para minha aprendizagem enquanto docente.

Desejamos a todos uma iluminada leitura!!!!

1. Dualidade Onda-Partícula

Serão mostrados neste capítulo de uma forma dinâmica os conceitos relacionados ao tema dualidade onda-partícula. Começa-se abordando o efeito fotoelétrico e o efeito Compton, cuja explicação foi fundamental para o entendimento da luz como partícula. Em seguida fala-se da natureza ondulatória da matéria, através do postulado de de Broglie e de sua equação.

Na elaboração desse texto usou-se como referência: *Eisberg, R.; Resnick, R. Física Quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas. Ed. 19, 1994, ISBN: 9788570013095, EAN: 9788570013095.*

Sabe-se que ao se propagar, a radiação apresenta um comportamento ondulatório, no entanto, quando interage com a matéria se comporta como uma partícula. Os dois experimentos descritos abaixo comprovaram essa natureza corpuscular das radiações eletromagnéticas.

1.1. Efeito fotoelétrico

Efeito fotoelétrico consiste na emissão de elétrons de uma superfície metálica, devido à incidência de luz sobre ela. Esses elétrons que eram arrancados receberam o nome de **fotoelétrons**.

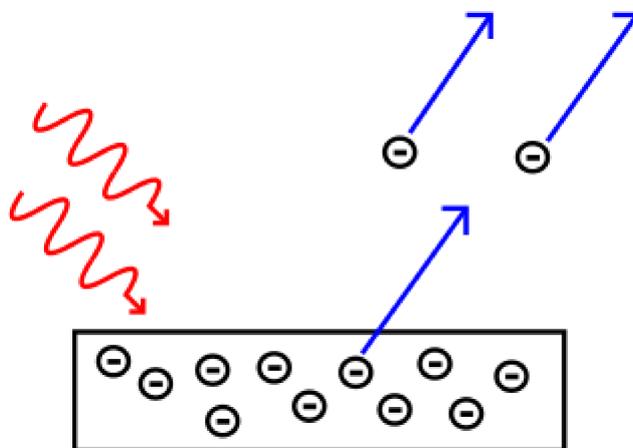


Figura 1: Elétrons sendo emitidos de uma superfície metálica ao se incidir luz sobre ela.

Passou-se muito tempo até conseguir explicar esse efeito. Ele foi descoberto em 1887 pelo físico Heinrich Hertz (1857-1894) e explicado por Albert Einstein, em 1905.

Muitos fenômenos podem ser observados durante esse efeito. Serão destacados aqui os três principais que não podem ser explicados em termos da teoria ondulatória clássica.

- I. A energia dos elétrons emitidos pela superfície depende da frequência da radiação incidente, e não de sua intensidade. De acordo com a teoria ondulatória clássica a energia cinética dos fotoelétrons deveria crescer ao se aumentar a intensidade do feixe luminoso. Não era isso que acontecia.
- II. De acordo com as previsões da teoria ondulatória, o efeito fotoelétrico deveria ocorrer para qualquer frequência de luz, desde que essa fosse intensa o suficiente. No entanto, não era isso que ocorria, existia uma frequência limite, chamada de frequência de corte ν_0 . Quando se incidia luz de frequência menor o efeito não era observado. Na verdade, quando aumentava-se a frequência para um valor maior que ν_0 , apenas a quantidade de fotoelétrons ejetados era aumentada.
- III. De acordo com a teoria ondulatória, ao se incidir luz sobre uma placa metálica, ela deveria absorver toda a energia dessa onda incidente. E se a luz for suficientemente fraca ela gastaria um tempo para absorver energia do feixe até conseguir acumular energia suficiente para escapar. No entanto, nenhum tempo de atraso observado, os elétrons eram emitidos instantaneamente.

1.2. Explicações de Einstein para o Efeito Fotoelétrico

Em 1905 Einstein colocou em cheque a teoria ondulatória da luz, através da explicação dada por ele para o efeito fotoelétrico. Diferente das ideias de Planck, que acreditava que a energia eletromagnética, uma vez irradiada, se espalhava pelo espaço, da mesma forma que ondas de água se espalham na água. Einstein propôs que a luz e as demais ondas eletromagnéticas eram formadas de pequenos pacotes de energia (quanta) chamados de **fótons** (*teoria corpuscular da luz*).

Einstein justificou dizendo que as experiências para se observar efeitos ondulatórios, como a interferência e a difração só haviam sido feitas com muitos fótons envolvidos. Afirmando que tais resultados são uma média do comportamento individual de cada fóton.

Como a analogia feita por ele, no efeito fotoelétrico é como se fosse uma mangueira com gotas da água isoladas. Já nas experiências que efeitos ondulatórios são

observados como se fosse um jato de água de uma mangueira, onde os jatos são compostos de várias gotas de água.

Einstein supôs que a energia E do pacote, ou fóton, está relacionada com sua frequência f através da equação:

$$E = hf$$

E supôs também que no processo fotoelétrico um fóton é completamente absorvido por um elétron no fotocátodo. Quando o elétron é emitido da superfície do metal, sua energia cinética é:

$$K = hf - w$$

Onde,

hf = energia do fóton incidente;

w = trabalho necessário para remover o elétron do metal.

1.3. Efeito Compton

A experiência do efeito Compton, realizada por Arthur Compton em 1923, veio pra confirmar de vez que a luz apresenta um comportamento corpuscular.

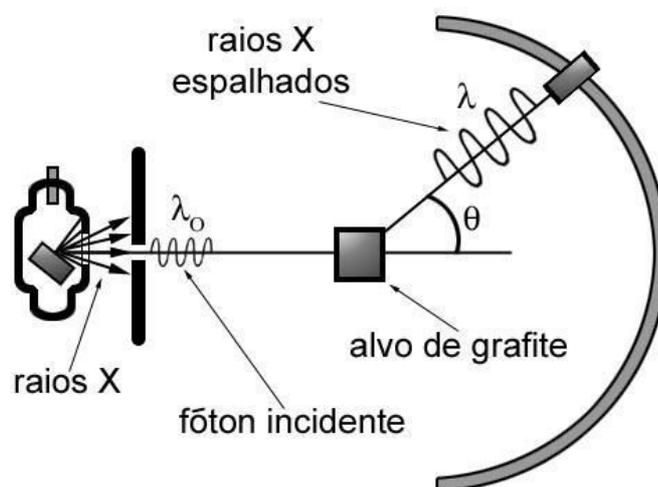


Figura 2: Esquema do experimento do efeito Compton

Compton fez com que um feixe de raio X, de comprimento de onda λ incidisse sobre um alvo de grafite e então, sofria espalhamento. Mediu-se a intensidade dos raios X espalhados como função do seu comprimento de onda para vários ângulos.

Foi observado que, embora o feixe incidente tenha apenas um comprimento de onda. Os raios X espalhados apresentam 2 comprimentos de onda distintos, um deles é igual ao comprimento de onda incidente e o outro, um pouco maior, que vamos representar por λ' . A diferença entre esses dois comprimentos de onda, dada pela equação abaixo:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$$

Ficou conhecida como *deslocamento Compton*.

Tal efeito não poderia ser explicado quando se considerava os raios X como ondas eletromagnéticas clássicas. No modelo clássico o campo elétrico oscilante com frequência f da onda incidente age sobre elétrons livres do alvo fazendo-os oscilar com a mesma frequência, e também com o mesmo comprimento de onda. No entanto, como foi percebido experimentalmente, não era isso que ocorria.

Para explicar tal fenômeno, Compton fez a mesma consideração que Einstein. Ele considerou que ao invés de ondas, o feixe de raio X era um conjunto de fótons, onde cada um desses fótons possui uma energia $E = hf$, e que esses fótons colidiam com os elétrons livres como colidem duas bolas de bilhar.

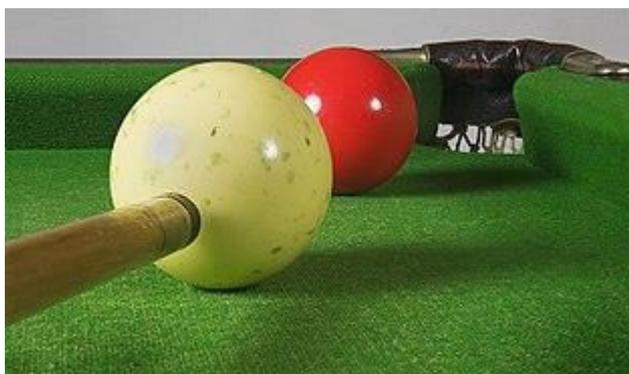


Imagem retirada de:
<https://pt.wikipedia.org/wiki/Colis%C3%A3o>

Figura 11: Colisão entre duas bolas de bilhar.

Partindo dessa consideração, a radiação que sofreu espalhamento é resultado da colisão entre fótons e elétrons. Durante a colisão:

- O fóton incidente transfere parte da sua energia E para o elétron com o qual colide;
- Como consequência, o fóton espalhado deve ter energia menor do que a que tinha antes da colisão, chamaremos essa nova energia de E' , que é menor que a energia inicial.
- Portanto, o fóton espalhado apresentará também uma menor frequência, que chamaremos de f' . O que implica em um comprimento de onda, λ' , maior, por causa da relação

$$\lambda' = \frac{c}{f'},$$

onde c é a velocidade da luz.

Essa foi uma explicação qualitativa para a diferença no comprimento de onda observada. Para tal, necessário foi considerar a radiação com partícula e não como ondas. Vale ressaltar que diferente do que ocorre no efeito fotoelétrico, onde os fótons são absorvidos, no efeito Compton eles são espalhados.

Com esses dois experimentos ficou comprovado o caráter corpuscular da radiação.

1.4. Propriedades Ondulatórias da Matéria – Postulado de de Broglie

A hipótese de de Broglie era de que assim como a radiação apresenta um comportamento dual onda-partícula, a matéria também poderia apresentar tal comportamento. Dessa forma, assim como o fóton tem associado a ele uma onda, a matéria, como um elétron por exemplo, pode ter associado a ele uma onda também, que de Broglie chamou de onda de matéria. Essa sugestão de de Broglie é na verdade uma afirmação da simetria da natureza, já que o Universo é todo composto de matéria e radiação.

Pois bem, a ideia de de Broglie era de que, assim como foi para a radiação, a energia total E está relacionada à frequência de onda f associada ao seu movimento através da equação:

$$E = hf$$

Onde h é a constante de Planck.

E o momento p é relacionado com o comprimento de onda λ da onda associada pela equação

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

Assim, o comprimento de onda de de Broglie é expresso pela equação

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

Essa equação é chamada de relação de de Broglie e prevê o comprimento de onda de de Broglie λ de uma onda de matéria associada ao movimento de uma partícula material que tem um momento p .

Não se percebe o comprimento de onda de uma pessoa, por exemplo, pois as dimensões importantes dos equipamentos são muito grandes em comparação ao seu comprimento de onda, o que pode ser evidenciado no exemplo abaixo:

Exemplo 1: Calcule o comprimento de onda de uma pessoa de massa 80 kg que se movimenta numa velocidade igual a 5 m/s. Dado: $h = 6,6 \times 10^{-34}$ J.s

Primeiro, será calculado o momento p , através da equação:

$$p = m \cdot v = 80 \cdot 5 = 400 \text{ kg.m/s}$$

Agora, utiliza-se a equação do comprimento de onda de de Broglie:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{6,6 \times 10^{-34}}{400} = 0,0165 \times 10^{-34} \text{ m} = 1,65 \times 10^{-36} \text{ m}$$

Como é possível observar, o comprimento de onda de uma pessoa é da ordem de 10^{-36} , para que seja possível perceber aspectos ondulatórios, como a interferência e

difração, precisa-se de equipamentos com aberturas ou obstáculos de dimensões convenientemente pequenas. O que nesse caso torna muito difícil encontrar um que esteja de acordo com esta ordem de grandeza.

Exemplo 2: Calcule o comprimento de onda de um elétron de massa $9,1 \times 10^{-31}$ kg com velocidade de 12 m/s.

Primeiro, será calculado o momento p , através da equação:

$$p = m \cdot v = 9,1 \times 10^{-31} \cdot 12 = 109,2 \times 10^{-31} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

Agora, utiliza-se a equação do comprimento de onda de de Broglie:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{6,6 \times 10^{-34}}{109,2 \times 10^{-31}} = 0,0604 \times 10^{-34} \text{ m} = 6,04 \times 10^{-5} \text{ m}$$

No caso do elétron, a fenda ou obstáculo do equipamento é da ordem de 10^{-5} , sendo nesse caso mais fácil de observar os efeitos de interferência e difração, característicos de ondas.

1.5. A Dualidade Onda-Partícula

Como visto até aqui, a radiação para ser compreendida, foi necessário considerá-la em alguns momentos como partículas, como no efeito fotoelétrico e em outros, como uma onda. E o mais notável foi estender esse caráter dual para a matéria. É muito importante notar que os dois modelos não são usados sob a mesma circunstância, não se pode observar o caráter dual e corpuscular ao mesmo tempo.

Quando o ente é detectado por algum tipo de interação, ele atua como uma partícula no sentido que é localizado; quando está se movendo, age como uma onda, no sentido que se observam fenômenos de interferência, e, obviamente, uma onda tem extensão e não é localizada. (Eisberg e Resnick, 1994, p. 95)

2. Sequência de aulas e de atividades

2.1. Aula 1: Conhecimentos prévios

1. Leia com bastante atenção o texto abaixo.

Do que a luz é feita e seus mistérios

Somos criaturas da luz. Nossa percepção mais imediata da realidade vem dela, do que podemos ver. [...] A luz representa sabedoria, conhecimento, o lado bom do divino. [...]

Não é uma coincidência que tantas culturas idolatrassem a luz através de seu provedor-mor, o Sol. Os egípcios, os incas, os celtas, sabiam que o Sol é a essência da vida. O que vemos da realidade, fração pequena de todas as “luzes” que nos cercam – o espectro luminoso das ondas de rádio aos raios gama – coincide com o pico de emissão luminosa do Sol. O processo de seleção natural privilegiou animais capazes de utilizar ao máximo a luz da estrela que os ilumina. Claro, alguns animais percebem as franjas além do visível, como as abelhas, que vêem no ultravioleta, ou certas cobras, que vêem no infravermelho. Mas a maioria vê o que vemos, a luz que se espalha pela atmosfera.

O que é?

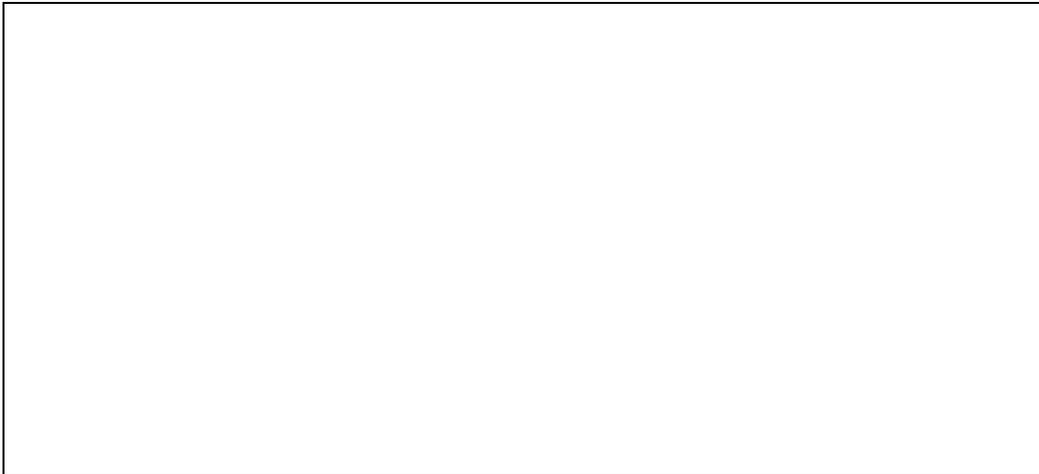
É, portanto paradoxal que a luz, que nos é tão íntima, seja também um dos grandes mistérios da natureza. O que é, afinal, a luz? Não é palpável como o ar ou a água, e nem sabemos exatamente do que é “feita”. Se voltássemos ao século 17, assistiríamos aos debates entre Isaac Newton e Christiaan Huygens sobre a natureza da luz. [...] Ambos os cientistas aplicaram sua teoria da luz para explicar uma série de fenômenos, com sucesso variável. [...]

Considerando os mistérios que sobrevivem em torno da luz e o quanto deles exploramos nas aplicações tecnológicas, é difícil prever o que nos espera em cem anos. No mínimo, mais uma revolução em nosso conhecimento do mundo que, tal como a que começou no início do século 20, será iluminada pela curiosa natureza da luz.

Do que a luz é feita e seus mistérios. Marcelo Gleiser, professor titular de física, astronomia e filosofia natural no DartmouthCollege, nos EUA. Disponível em:

<http://www1.folha.uol.com.br/ilustrissima/2015/05/1632439-do-que-a-luz-e-feita-e-seus-misterios.shtml>. Acesso em: 05 out. 2017

1. De acordo com o texto que acabamos de ler, notamos que a luz sempre foi um grande mistério, não só para nós, mas também para aqueles que se dedicaram em estudá-la. Nossa intenção durante o desenvolvimento dessas atividades é desvendar um pouquinho desse universo cujo estudo nunca cessará. Sendo assim, usaremos o conhecimento que temos e também nossa imaginação para fazermos desenhos e ilustrações do que seria a luz e de que ela seria formada. Para isso, utilize o espaço abaixo.



2. Agora, elabore um pequeno texto, de acordo com suas concepções, explicando o que é a luz. Será ela uma onda? Uma partícula? Ou nem um nem outro? O que seria ela?

2.2. Aula 2: Primeira demonstração investigativa

Atividade Experimental Demonstrativa Investigativa 1: A luz por um fio de cabelo

I. Materiais Utilizados:

Fio de cabelo;
Fita adesiva;
Laser apontador;
Suporte para colocarmos os fios de cabelo.

II. Procedimento

Separe o fio de cabelo e com o auxílio da fita adesiva, coloque-o no suporte, conforme mostra a figura 1.

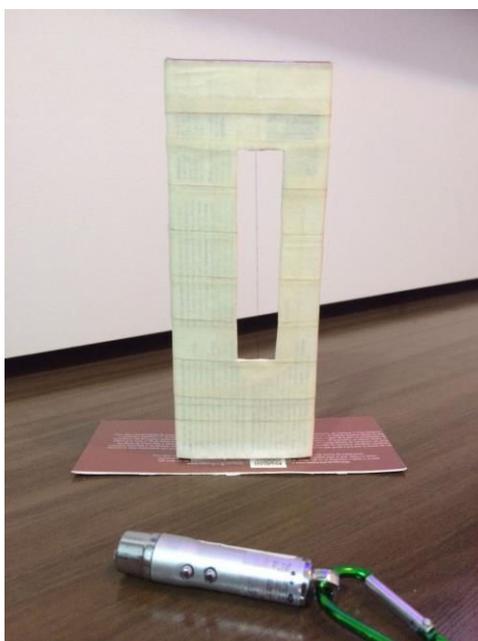


Figura 1: Montagem experimental do fio de cabelo no suporte

Agora, aponte o laser apontador em direção ao fio de cabelo e observe o que aparecerá no anteparo.

Repita essas ações quantas vezes forem necessárias.

III. Análise

Com base no experimento que acabamos de realizar, faça uma análise do que vocês puderam observar, explicando o fenômeno físico envolvido. Por que a luz se comporta dessa maneira quando colocamos um fio de cabelo entre ela e o anteparo? E o conceito

que vocês tinham a respeito da luz, continua o mesmo ou mudou alguma coisa depois desse experimento? O que mudou? Se nada mudou, justifique como esse experimento confirma seus conceitos prévios.

2.3. Aula 3: Segunda demonstração investigativa

Atividade Experimental Demonstrativa Investigativa 2: “Ouça seu controle remoto”

I. Materiais Utilizados:

1 bateria de 9 V;
1LDR;
1 Led ;
1 pino fêmea P2 (para conectar a caixa de som);
1 resistor de 680Ω e $1/8 W$;
2 jacarés;
Fios de ligação
Fita isolante
1 suporte para bateria;
1 controle remoto comum de televisão;
Caixinha de som de computador ou de rádio.

II. Procedimento

Primeiramente verifique a polaridade do LED, identificando o pólo positivo e o negativo para fazer a ligação corretamente. A “perninha” maior é o pólo positivo e a menor, o negativo;
A bateria, o LDR, o LED e o resistor deverão ser ligados em série, nessa ordem, conforme a figura 1;

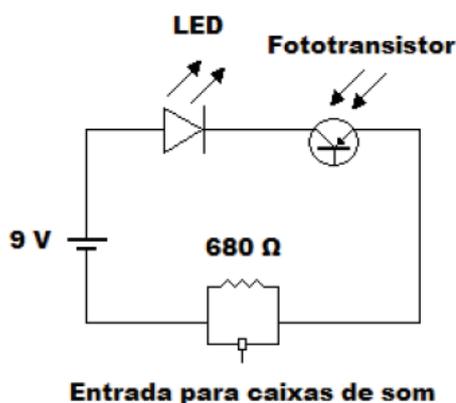


Figura 2: Esquema do circuito do experimento

Com os jacarés, ligaremos o pino fêmea P2 em paralelo com o resistor;
Agora, conecte as caixinhas de som ao circuito, conforme a figura 2 e incida o infravermelho no LDR, usando o controle remoto de televisão.



Figura 2: Esquema montado do experimento ouça seu controle remoto

Análise

Agora que você realizou, observou o experimento, poderia fazer análise dele? Como podemos explicar o fato de conseguirmos ouvir o som do controle remoto através da incidência de luz sobre o LDR? Elabore um pequeno texto para explicar.

2.4. Aula 4: Terceira atividade investigativa - vídeo

Na quinta aula da intervenção, que teve como objetivo estender as características dualidade onda-partícula para a matéria foi apresentado o vídeo “Dr. Quantum – Experimento da dupla fenda”, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=zKiCEU6P3U0>.

O vídeo foi pausando em determinados momentos onde foram feitos alguns questionamentos, pedindo para que os alunos tentassem explicar o fenômeno observado. E ao final foi pedido que relatassem por escrito suas conclusões.

Após esse momento, foi sistematizado o fenômeno observado, explicando que a matéria também apresentava um comportamento dual.

Algumas das questões levantadas durante o vídeo foram:

- Qual comportamento o elétron apresentou ao passar por uma fenda? E ao passar pelas duas?
- Que fenômeno foi esse que pudemos observar?
- Será que isso nos faz lembrar de algo que vimos recentemente?
- Por que não conseguimos observar, no nosso dia a dia, os fenômenos de interferência e difração de uma pessoa?

2.5. Aula 5: A Equação de de Broglie

A aula 6 foi uma aula onde formalizaram-se matematicamente os conceitos da dualidade onda-partícula para a matéria, abordando as contribuições de Louis De Broglie e apresentando a equação do comprimento de onda de De Broglie. Em seguida foram realizados os seguintes exemplos:

Calcule o comprimento de onda de de Broglie, de:

- a) Uma pessoa com massa de 70 kg com uma velocidade de 12 m/s;
- b) Um próton de massa $1,7 \times 10^{-27}$ kg com velocidade de 12 m/s;
- c) Um elétron de massa $9,1 \times 10^{-31}$ kg com velocidade de 12 m/s.

2.6. Aula 6: Questionário

As questões que compõem este questionário foram tiradas do livro:

CHESMAN, C.; ANDRÉ, C.; MACÊDO, A. Física moderna: experimental e aplicada. 2 ed., São Paulo: Editora Livraria da física, 2004.

RAMALHO JUNIOR, F. et al. Os fundamentos da física. 10 ed. São Paulo: Moderna, 2009.

Questão 1) Complete as lacunas do trecho com as palavras que, na mesma ordem, estão relacionadas nas opções a seguir.

“A luz, quando atravessa uma fenda muito estreita, apresenta um fenômeno chamado de _____ e isto é interpretado como resultado do comportamento _____ da luz. Porém quando a luz incide sobre uma superfície metálica, elétrons podem ser emitidos da superfície sendo este fenômeno chamado _____, que é interpretado como resultado do comportamento _____ da luz.”

Assinale a opção **CORRETA** encontrada:

- a) Difração, ondulatória, efeito fotoelétrico, corpuscular.
- b) Difração, corpuscular, efeito fotoelétrico, ondulatório.
- c) Interferência, ondulatório, efeito Compton, corpuscular.
- d) Efeito fotoelétrico, corpuscular, difração, ondulatório.
- e) Ondas, magnético, fótons, elétrico.

Questão 2)

Fragmento infinitésimo,
Quase que apenas mental,
Quantum granulado no mel,
Quantum ondulado do sal,
Mel de urânio, sal de rádio
Qualquer coisa quase ideal.

Um trecho da música Quanta, de Gilberto Gil, é reproduzido no destaque acima. As frases “Quantum granulado no mel” e “Quantum ondulado no sal” relacionam-se, na Física, com:

- a) Conservação de energia.
- b) Conservação da quantidade de movimento.
- d) Dualidade onda-partícula.
- e) Princípio da causalidade.
- f) Conservação do momento angular.

Questão 3) Na história da Física, existem vários exemplos de conceitos que exigiram revisão ou mesmo substituição, quando novos dados experimentais se opuseram a eles. Em relação à natureza do comportamento da luz, isso não foi diferente, sendo resolvido somente no último século pela Mecânica Quântica. Qual é a natureza do comportamento da luz para a Mecânica Quântica?

- a) Natureza Corpuscular.
- b) Natureza Ondulatória.
- c) Natureza dual, ou seja, às vezes se comporta como onda e às vezes como partícula.
- d) Natureza dual, ou seja, sempre se comporta como partícula.
- e) Natureza dual, ou seja, sempre se comporta como onda.

Questão 4) Sobre a natureza e propagação da luz, é correto afirmar que: (marque todas as alternativas corretas)

- (1) luz, nos dias atuais, é interpretada como um pacote de energia que, nas interações com a matéria, apresenta dois aspectos: em certas interações se comporta como partícula e em outras interações se comporta como onda.
- (2) O físico Albert Einstein elaborou uma teoria sobre a natureza da luz, afirmando que a luz é formada por um fluxo de corpúsculos chamados fótons.
- (3) Thomas Young confirmou a teoria ondulatória da luz de Christian Huygens, verificando que a luz, ao passar por duas fendas extremamente finas, combina-se, formando regiões claras e escuras.
- (4) A teoria ondulatória da luz é a única utilizada para explicar o efeito fotoelétrico, fenômeno pelo qual elétrons são arrancados de metais devido à transformação de energia luminosa em energia cinética.
- (5) Após uma longa controvérsia científica sobre a questão da natureza da luz, iniciada por volta do ano 500 a.C., apenas no século XIX conseguiu-se a compreensão total da questão, através da confirmação da natureza ondulatória da luz.

Questão 5) A porta automática de um shopping Center, as calculadoras e relógios que funcionam com energia solar são recursos tecnológicos utilizados no dia a dia de uma cidade e que envolvem energia luminosa e cargas elétricas, constituindo o fenômeno físico conhecido como “efeito fotoelétrico”. Sobre esse tema, julgue as afirmativas: (Marque todas as corretas)

(1) Energia luminosa constitui-se de “pacotes discretos” denominados fótons, que podem ser considerados partículas.

(2) Quando um fóton incide sobre um pedaço de metal e interage com um elétron, este absorve a energia daquele e pode ser arrancado do metal.

(3) A velocidade dos elétrons que se desprendem do metal devido à incidência da luz depende da frequência e da intensidade da luz.

(4) luz tem natureza dual (onda-partícula), sendo o efeito fotoelétrico uma manifestação do aspecto corpuscular.

Questão 6) Louis De Broglie (1892-1987) durante o seu doutoramento em física na Universidade de ParisSorbonne sugeriu que o elétron, em seu movimento ao redor do núcleo, tinha associado a ele um comprimento de onda particular e introduziu o termo ondas de matéria para descrever as características ondulatórias das partículas materiais. Com base no comportamento ondulatório da matéria, o comprimento de onda de De Broglie de um elétron com velocidade de $5,97 \times 10^6 \text{ m.s}^{-1}$ é:

Dados:

Massa do elétron = $9,11 \times 10^{-31} \text{ Kg}$; constante de Planck, $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

a) $122 \times 10^{-9} \text{ m}$

b) $224 \times 10^{-9} \text{ m}$

c) $350 \times 10^{-9} \text{ m}$

d) $410 \times 10^{-9} \text{ m}$

e) $534 \times 10^{-9} \text{ m}$

3.Referências

AZEVEDO, Maria Cristina P. Stella de. Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula. In Ensino de Ciências: Unindo a pesquisa e a Prática. Organizando por Anna Maria Pessoa de Carvalho, Editora Thomson, 2004, cap. 2.

CARVALHO, A. M. P. de. O ensino de ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. São Paulo: Cengagelearning, 2013, cap.1.

CHESMAN, C.; ANDRÉ, C.; MACÊDO, A. Física moderna: experimental e aplicada. 2 ed., São Paulo: Editora Livraria da física, 2004.

Dr. QUANTUM – Experimento da dupla fenda”, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=zKiCEU6P3U0>. Acesso em: 05 out. 2017.

GLEISER, M. Do que a luz é feita e seus mistérios, professor titular de física, astronomia e filosofia natural no DartmouthCollege, nos EUA. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/ilustrissima/2015/05/1632439-do-que-a-luz-e-feita-e-seus-misterios.shtml>. Acesso em: 05 out. 2017.

MENDONÇA, J. T. Uma biografia da luz. São Paulo: Editora Livraria da física, 2015.

RAMALHO JUNIOR, F. et al. Os fundamentos da física. 10 ed. São Paulo: Moderna, 2009.

ZÔMPERO, A. F.; LÁBURU, C. E. Atividades investigativas no ensino de Ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens. Revista Ensaio, Belo Horizonte, v. 13, n. 03, p. 67-80, set./dez. 2011.