

FÍSICA MODERNA I – 4300375 – 1º. SEMESTRE_2016

G10-Natureza corpuscular da radiação eletromagnética

Márcia Augusta de Almeida - USP 7993811

Vera C. Braga de Oliveira – USP 1666989

Resumo

Este plano de aula tem o intuito de sedimentar o conceito sobre a **natureza corpuscular da radiação eletromagnética**. Partindo da concepção dos alunos sobre as características da onda e da partícula e confrontando a teoria ondulatória para explicação do efeito Compton, iremos gerar um incomodo nos alunos quanto à **natureza da radiação eletromagnética**.

Desta forma, incentivaremos a busca por evidências e explicações compatíveis com os resultados experimentais sobre o efeito Compton, que por intermédio de um simulador online do efeito Compton mostraremos essas evidências da natureza corpuscular da radiação eletromagnética, enfatizando as características importantes para ocorrência do fenômeno.

Destina-se aos alunos do 3º. Anos do Ensino Médio. Duração prevista de duas aulas de 50 minutos cada.

Fundamentação teórica

A teoria clássica da radiação eletromagnética proposta por James Maxwell não fornece explicações para alguns fenômenos, por exemplo, o efeito Compton.

Sabendo que a **radiação eletromagnética** se caracteriza pela oscilação entre um campo elétrico e um campo magnético e está classificada de sendo os tipos mais tipos de radiação: alfa, beta e gama e X. A **radiação** é produzida de forma natural ou artificial. Na natureza, a radiação ultravioleta (raios UV) e a infravermelha são aquelas produzidas por corpos que apresentam calor, conhecidos: elétrons, prótons, nêutrons, dêutrons e partículas alfa e beta. Existem quatro sendo o Sol, a principal, de acordo com a frequência de ondas, sendo as mais conhecidas: ondas hertzianas (de rádio ou TV), microondas, radiação infravermelha, ultravioleta, raios X e raios gama. A **radiação corpuscular** é constituída por partículas subatômicas, fonte. A radiação ultravioleta também pode ser obtida

artificialmente através de lâmpadas fluorescentes ou câmaras de bronzeamento artificial.

Efeito Compton foi observado por Arthur Holly Compton em 1923, pelo qual recebeu o Prêmio Nobel de Física em 1927. Trata-se da diminuição de energia (aumento de comprimento de onda) de um fóton, tipicamente na faixa de raio-X ou de raio gama, devido à interação com a matéria; de particular importância devido à interação com elétrons livres. Como a relação de dispersão para partícula livre exibe dependência com o quadrado de seu momento [$E = P^2/(2m)$] ao passo que a relação de dispersão para fótons é linear em relação ao momento [$E=P/C$], a conservação simultânea do momento e da energia é praticamente inviável na interação com partícula livre, onde as referidas leis de conservação implicam a emissão de um segundo fóton a fim de serem satisfeitas.

Estratégia Didática

Os alunos em grupo de máximo 5, iniciaremos com discussões e a mediação do professor mostraremos que a teoria clássica da radiação eletromagnética, proposta por James Maxwell, não fornece explicações plausíveis para alguns fenômenos, por exemplo, o efeito Compton, visando a necessidade de tratarmos a radiação eletromagnética como composta por partículas (fótons).

Primeiramente será realizado um levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos sobre onda e partícula. É importante termos em mãos estas informações para que seja possível construir a concepção sobre a interação de cada entidade com matéria.

O objetivo é que os alunos percebam que a teoria ondulatória da radiação eletromagnética não explica determinados fenômenos e que é necessário um tratamento corpuscular para obtermos resultados plausíveis pois o conceito de fótons não é uma mera ferramenta matemática e podemos obter evidências de sua interação experimentalmente, o qual demonstraremos o experimento Efeito Compton.

Descrição da atividade

1º Momento: *Problematização e conhecimentos prévios*

Inicialmente será realizada a leitura do texto “Partícula e Onda” desenvolvido pelo NUPIC (Núcleo de Pesquisa e Inovação Curricular) vinculado a Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. Após a leitura pede-se aos alunos que exponham de forma escrita suas concepções sobre as características da partícula e da onda com ênfase a três pontos:

- Características da onda e da partícula;
- Como cada uma interage com matéria, quais fenômenos típicos de cada uma;
- Com base no texto, é possível uma partícula se comportar como onda? E uma onda se comportar como partícula?

Nesta atividade pretendemos obter informações sobre a concepção dos alunos sobre natureza e da partícula e suas respectivas interações com a matéria.

Texto que será entregue aos alunos: Anexo I – NuPIC REA 1.2.2.1 – Partícula e Onda:

PARTÍCULA E ONDA

A Física faz uso de dois modelos diferentes para representar, estudar e entender o mundo: o modelo corpuscular e o ondulatório. Os dois conceitos onda e partícula têm comportamentos e características totalmente diferentes e desempenham um papel fundamental em quase todos os ramos da Física.

A “Anatomia” da Partícula

Imagine que você deseja contar a um amigo algo que aconteceu com você. A maneira mais antiga (que, infelizmente, quase ninguém mais utiliza hoje em dia) é escrever uma carta. A carta é um objeto material que possui massa (você paga nos Correios por “gramas”) e é enviada de um ponto a outro. Assim, uma informação é transmitida pelo espaço através da matéria. É ela quem carrega a informação.

Uma partícula também carrega energia. Quem já levou uma bolada sabe muito bem que isso é possível...

Ao ouvirmos a palavra partícula quase que imediatamente imaginamos uma bolinha, não é? Bem, a idéia é mais ou menos essa. Isso quer dizer que uma partícula é “algo material” que possui certa quantidade de massa bem localizada, concentrada, como uma bolinha mesmo. Ela tem posição bem definida e podemos medir sua velocidade. Assim, com o passar do tempo podemos conhecer sua trajetória. Essas são as características mais importantes de uma partícula.

O tamanho da bolinha depende daquilo que queremos representar. Assim, um carro, um caminhão, um navio ou até mesmo um elétron pode ser representado por uma partícula. Veja que nenhum deles se parece com uma

bolinha. Não é a forma que importa. O mais importante é saber como esses objetos que representamos se comportam, e não se eles são redondinhos, parecendo mesmo com uma bola.

Assim, essa porção bem localizada de matéria se desloca de um ponto a outro do espaço carregando energia e informação.

A “Anatomia” da Onda

Imagine que agora você deseja se corresponder com seu amigo contando-lhe algo que aconteceu, porém, ao invés de escrever uma carta, você lhe envia um e-mail. Qual a diferença principal que você observa entre o e-mail e a carta? Como vimos, a carta é um objeto material que tem massa e carrega com ela a informação que você deseja enviar. E quem carrega a informação no e-mail? Nesse caso, há a transmissão da informação, porém sem que massa alguma a carregue. Agora, quem transporta energia e informação de um ponto a outro no espaço são as ondas. E elas fazem isso sem transportar matéria. Parece meio maluco isso, não é? Mas, veremos que se trata apenas de uma nova forma de enxergarmos alguns fenômenos.

As ondas que se propagam em uma piscina, em um lago, mola ou corda, ou até mesmo em fileiras de dominós, são chamadas ondas mecânicas. Estudar suas características é de extrema importância, pois dois de nossos principais sentidos, a visão e a audição, estão associados à luz e ao som, que são tipos diferentes de ondas, uma eletromagnética e a outra mecânica. Isso sem contar que todos os aparelhos eletrodomésticos de comunicação só funcionam por causa de ondas eletromagnéticas. Pode apostar que a maioria das pessoas que está lendo esse texto detestaria passar seus dias sem televisão ou rádio...

2º Momento: *Leitura e discussão sobre a teoria ondulatória e corpuscular da luz*

Pede-se que dois alunos leiam em voz um trecho extraído do livro *A Evolução da Física de Albert Einstein e Leopold Infeld*, é um diálogo entre Huygens e Newton sobre a natureza da luz. Após a leitura questiona-se aos alunos como poderíamos verificar qual dos dois cientistas está correto. Espera-se que os alunos proponham a verificação experimental da natureza da luz.

Texto que será entregue aos alunos: Anexo II – NuPIC REA 8.1.1.1 – Teoria Corpuscular x Teoria Ondulatória

Teoria Corpuscular x Teoria Ondulatória

De acordo com Huygens, a luz é uma onda, uma transferência de energia e não de substância. Vimos que a teoria corpuscular explica muitos dos fatos observados. Será a teoria ondulatória também capaz de fazê-lo? Temos de fazer novamente as perguntas que já foram respondidas pela teoria corpuscular, para ver se a teoria ondulatória pode sair-se igualmente bem. Fá-lo-emos aqui sob a forma de (...) um diálogo entre N e H, sendo N um crente da teoria corpuscular de Newton e H um crente da teoria de Huygens. Nenhum dos dois tem permissão para usar argumentos criados depois de o trabalho dos dois grandes mestres terem sido concluídos.

N: Na teoria corpuscular, a velocidade da luz tem um significado bem definido. É a velocidade com a qual os corpúsculos caminham no espaço vazio. Que a significará na teoria ondulatória?

H: Significa a velocidade da onda de luz, está claro. Toda onda que se conhece se espalha com alguma velocidade definida, o mesmo devendo fazer a onda de luz.

N: Isso não é tão simples quanto parece. As ondas sonoras se espalham no ar, as ondas do oceano na água. Toda onda tem de ter um meio material no qual caminhe. Mas a luz atravessa o vácuo, o mesmo não se dando com o som. Supor-se uma onda no espaço vazio não é, na realidade, supor-se onda alguma.

H: Sim, trata-se de uma dificuldade, embora não seja nova para mim. O meu mestre pensou nisso cuidadosamente e decidiu que a única saída é admitir-se a existência de uma substância hipotética, o éter, um meio transparente que permeia todo o universo. O universo está, por assim dizer, imerso no éter. Uma vez tenhamos a coragem de introduzir esse conceito, tudo o mais se torna claro e convincente.

N: Mas faço objeção a tal suposição. Em primeiro lugar, ela introduz uma nova substância hipotética, e já temos substâncias em demasia em Física. Há ainda outra razão contra ela. Por certo você não duvida de que temos de explicar tudo em termos de mecânica. Que dizer do éter, nesse sentido? Estará você capacitado para responder à questão sobre como o éter é formado por suas partículas elementares e como ele se revela em outros fenômenos?

H: Sua primeira objeção é certamente justificada. Mas, introduzindo o éter destituído de peso e algo artificial, livramo-nos imediatamente dos corpúsculos de luz, muito mais artificiais. Temos apenas uma substância "misteriosa", em vez de um número infinito delas, correspondente ao grande número de cores do espectro. Não acha que isso seja de fato um progresso? Pelo menos todas as dificuldades são concentradas em um só ponto. Não mais necessitamos da suposição fictícia de que as partículas pertencentes a cores diferentes caminham com a mesma velocidade no

espaço vazio. O seu segundo argumento também é verdadeiro. Não podemos dar uma explicação mecânica do éter. Mas não há dúvida alguma quanto a que o estudo futuro dos fenômenos óticos e talvez de outros revelará a sua estrutura. No momento, devemos aguardar outras experiências e conclusões, mas finalmente estaremos, confio capacitados para esclarecer o problema da estrutura mecânica do éter.

N: Deixemos a questão de lado por enquanto, pois não pode ser solucionada. Eu gostaria de ver como a sua teoria explica, mesmo que desatendamos às dificuldades, os fenômenos que são tão claros e compreensíveis à luz da teoria corpuscular. Tome-se, por exemplo, o fato de os raios de luz caminhar em linha reta in vácuo ou no ar.

Um pedaço de papel colocado diante de uma vela produz uma sombra distinta e precisamente esboçada na parede.

As sombras nítidas não seriam possíveis se a teoria ondulatória da luz fosse correta, pois as ondas se curvariam ao redor das bordas do papel e, assim, borrariam a sombra. Uma pequena embarcação não é um obstáculo para as ondas do mar, como você sabe; elas simplesmente se curvam ao redor da mesma, não projetando uma sombra.

H: Esse argumento não é convincente. Considere ondas curtas em um rio chocando-se com o lado de uma embarcação grande. As ondas que se originam em um dos lados da embarcação não serão vistas do outro lado. Se as ondas forem suficientemente pequenas e a embarcação suficientemente grande aparece uma sombra muito distinta. É bem provável que a luz parece caminhar em linha reta somente pelo fato de o seu comprimento de onda ser muito pequeno em comparação com o tamanho dos obstáculos comuns e das aberturas usadas nas experiências.

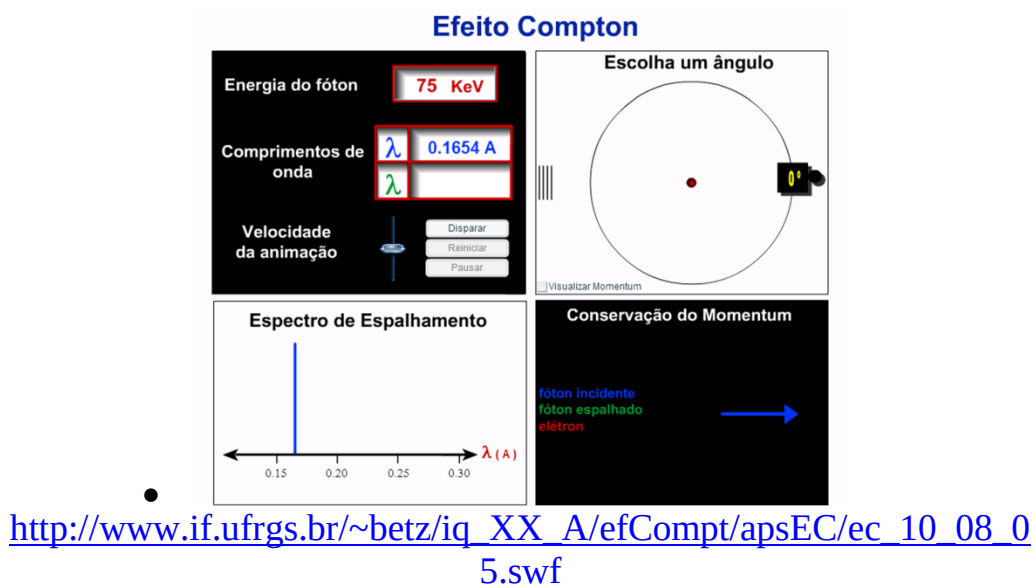
Possivelmente não ocorreria sombra alguma se pudéssemos criar uma obstrução suficientemente pequena.

Encontraríamos grandes dificuldades experimentais na construção de aparato que mostraria e a luz é capaz de se curvar. Não obstante, se tal experiência pudesse ser realizada, seria crucial na decisão entre a teoria ondulatória e a teoria corpuscular da luz.

N: A teoria ondulatória poderá conduzir a novos fatos no futuro, mas não sei de quaisquer dados experimentais que a confirmem convincentemente. Não vejo razão alguma para não acreditar na teoria enquanto não for definitivamente provado pela experiência que a luz.

3º Momento: *Natureza corpuscular da luz e o efeito Compton*

Inicialmente os alunos realizarão uma atividade experimental na sala de informática, utilizando o simulador online da UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul). Será entregue um roteiro para verificarem a variação do comprimento de onda para ângulos e energias distintas. Propondo aos alunos que comparem o que era o esperado que ocorre com o comprimento de onda pela teoria clássica, espera-se que os alunos percebam o que experimental não corresponde ao teórico.



Após os dois momentos, o professor, de forma expositiva, discorrerá o tema, a teoria sobre efeito Compton, evidenciando a importância da utilização de radiação de altas energias, como os Raios-X. Neste momento o professor evidenciará alguns pontos, primeiro que os resultados obtidos por Compton sugerem que a interação entre a radiação eletromagnética e a matéria é semelhante a uma colisão clássica entre duas partículas, sendo assim compatível com a proposta dos fótons elaborada por Einstein. Segundo o porquê o fenômeno é detectável somente para radiação de altas energias e elétrons fracamente livres ou fracamente ligados ao átomo.

Na conclusão, os alunos novamente em grupo, finalizarão a discussão do tema e o professor contemplará se os alunos compreenderam que a radiação eletromagnética possui um comportamento dual de onda e partícula.

Referência Bibliográfica

- www.nupic.fe.usp.br
- Portal do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, disponível em <http://www.if.ufrgs.br/~betz/iq_XX_A/efCompt/apsEC/ec_10_08_05.swf>, acessado em 04/04/2016
- IHMC Cmaps USP, NUPIC - Dualidade onda-partícula, disponível em <<http://atp.usp.br:9080/rid=1LPLDDYW4-3CGS5F-1GV/Dualidade%20Onda-Part%C3%ADcula>>, acessado em 04/04/2016
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de Física: óptica e física moderna. Vol.4. Ed. LTC
- BISCUOLA, Gualter José; BÔAS, Newton Villas; DOCA, Ricardo Helou. Física 3. Ed. Saraiva