

Claudio Ubirajara Salicio nº 3465112
Pedro Arthur Augusto de Castro

ECF5726-1 Física Óptica: Teoria, Experimentos e Aplicações

O Espectro eletromagnético e as interações de cada faixa espectral com a matéria

1. Introdução

O espectro eletromagnético é constituído por ondas eletromagnéticas com ampla faixa de comprimentos de onda e frequências de oscilação. Do ponto de vista histórico, seu desenvolvimento teve sua maior contribuição com as equações de Maxwell, que unificou importantes conceitos como os de Ampère e de Faraday comprovando que ondas eletromagnéticas são compostas de campos elétricos e magnéticos variáveis interdependentes. As ondas eletromagnéticas puderam ser confirmadas com os experimentos de Hertz que conseguiu reproduzir ondas eletromagnéticas pela primeira vez em laboratório. Destaca-se ainda, do ponto de vista histórico, a descoberta dos raios-x por Roentgen que forneceu bases importantes para aplicação desta radiação no campo da medicina. Posteriormente, Einstein comprovou que as ondas eletromagnéticas são compostas por partículas chamadas fótons, com valores quantizados de energia, constituindo um dos pilares da mecânica quântica. O desenvolvimento dos conceitos fornece o que se conhece atualmente sobre a radiação eletromagnética em seu amplo espectro, e de como ocorre sua interação com a matéria.

2. Objetivos

Este trabalho tem por objetivo mostrar o aspecto histórico do desenvolvimento dos conceitos sobre a radiação eletromagnética, definindo como cada faixa espectral interage com a matéria.

3. Aspectos históricos

O sistema newtoniano por muito tempo foi considerado definitivo: um sistema de definições e axiomas que dá lugar a um conjunto de equações matemáticas que descrevem a estrutura eterna da natureza. Newton fixou sua influência em diversas áreas da física e com o eletromagnetismo não foi diferente.

Seguindo o exemplo de Newton e aplicando conceitos da mecânica, pesquisadores como Coulomb, Ampère, Alessandro Volta, Karl F. Gauss, entre outros, realizaram centenas de experimentos com eletricidade e magnetismo procurando entender os fenômenos envolvidos. Esses pensadores acreditavam que as leis da mecânica poderiam explicar todos os fenômenos naturais.

Coulomb defendeu que a expressão matemática para calcular a força elétrica entre corpos eletrizados é dada pela seguinte fórmula $F = k \times Q \times q / R^2$, sendo essa equação muito parecida com a equação de Newton para a atração gravitação universal.

Na equação de Coulomb, K é considerada como constante universal, e isso elimina qualquer dúvida quanto à capacidade das leis mecânicas em explicar os mais variados tipos de fenômenos naturais, afinal, a constante presente em sua lei era universal, independente do lugar da realização da experiência. Coulomb acreditava que as forças elétricas e magnéticas eram de naturezas diferentes, e não havia ligação entre elas: o movimento de fluidos elétricos explicava os fenômenos elétricos, e os fluidos magnéticos explicava os fenômenos magnéticos.

Oersted verificou que ao aproximar uma agulha imantada nas imediações de um fio condutor atravessado por corrente elétrica, a agulha sofria uma perturbação, estabelecendo a relação entre eletricidade e magnetismo: um efeito elétrico produzia um efeito magnético, o que contrariava os padrões newtonianos de força.

O impacto do resultado de Oersted foi tão forte que os grandes nomes da Física, como Ampère duvidaram de sua veracidade. Antes da experiência de Oersted, Ampère acreditava que o magnetismo se devia a um fluido magnético diferente do elétrico e que, portanto, eram fenômenos independentes.

Instigado pelos resultados, abandonou suas teses sobre os fluidos distintos e passou a interpretar o magnetismo como um efeito secundário, gerado por correntes elétricas. Observou através de experimentos que ao se colocarem duas correntes circulares girando em mesmo sentido elas se atraem e em sentidos opostos elas se repelem. Suas ideias, no entanto, eram fruto de uma concepção ainda newtoniana de que uma força, originada em um corpo, surgia instantaneamente em outro corpo, distante do primeiro.

Por outro lado, resta-nos entender o pensamento daqueles cientistas que foram além das leis da mecânica para explicar fenômenos eletromagnéticos, como é o caso de Faraday e de Maxwell.

Faraday não concordava com a ideia newtoniana de uma força de um corpo atuando à distância sobre o outro. Provou a possibilidade da obtenção da eletricidade por um efeito magnético e um efeito magnético por efeitos elétricos. Apresentou uma explicação única para todos esses casos que recebeu o nome de “Lei da Indução de Faraday”. Propôs uma explicação na qual transmissões elétricas, magnéticas e eletromagnéticas ocorriam de forma contínua através de linhas de força. Sua obsessão era a de estabelecer uma relação entre força, matéria e luz, isto é, buscar uma teoria unificada para as forças da natureza, e tentava demonstrar experimentalmente a relação entre eletricidade, magnetismo e gravidade.

Faraday deduziu que as linhas de força seriam análogas a cordas espalhadas pelo espaço formando o campo e, da mesma forma que uma perturbação em uma corda esticada se propaga na forma de onda, uma variação do campo deveria se propagar no espaço como uma onda. Essa conjectura foi o ponto de partida dos trabalhos de Maxwell. Faraday proporcionou a Maxwell a possibilidade da elaboração de equações diferenciais para descrever o mais novo conceito da ciência: da onda eletromagnética.

Maxwell se impressionou bastante com os resultados experimentais obtidos por Faraday. Em 1855, em um artigo intitulado “*Sobre as linhas de força de Faraday*”, começou a provar as ideias de Faraday, partindo da demonstração de que por trás do conceito de linhas de força havia um pensamento matemático – uma vez que Faraday não se utilizou de fórmulas para descrever sua teoria. Sem a construção de modelos materiais, como era costume de Maxwell produzir em outras situações e experimentações, seu pensamento orientou-se da seguinte maneira: o campo de Faraday seria como líquido; um fluido que tomava todo espaço e, como em um rio, as correntes (linhas de força) deveriam determinar a direção e o movimento dos corpos. Esse líquido imaginário seria o éter: substância absolutamente imóvel, sem peso, invisível, de viscosidade zero, com uma resistência maior que a do aço e que não é detectado por instrumento algum. Essa substância que preenchia os interstícios entre a matéria seria o ambiente transmissor das ondas eletromagnéticas.

Maxwell desenvolveu um trabalho matemático com o propósito de construir expressões que descrevessem como as ações eletromagnéticas ocorriam e como eram transmitidas. Elaborou equações diferenciais para descrever uma onda eletromagnética. A energia de tal onda está contida em dois campos, o elétrico e o magnético, que se encontram polarizados, transversalmente e perpendiculares entre si, enquanto a própria onda se propaga em ângulo reto com o plano da polarização. Quando calculou a velocidade de propagação a partir de suas equações, descobriu que este resultado coincidia com a mais recente estimativa obtida, em laboratório, da velocidade da luz. Assim, ele inferiu que a luz devia ser uma onda eletromagnética.

Maxwell buscava comprovar a existência do campo e da conexão dinâmica que o mesmo estabelece agindo sobre os corpos e sofrendo a ação dos mesmos, isto é, o papel principal do campo é a criação de um vínculo, de uma conexão entre os corpos elétricos e magnéticos. De forma geral, suas equações são para um sistema onde dois corpos estão conectados através de um terceiro.

Na verdade, que a onda eletromagnética não precisaria do éter para se propagar ficou demonstrado pelo famoso experimento de Michelson em 1881 e repetido juntamente com Morley em 1887 que eliminaram de vez com o a ideia da existência do éter. Essa experiência teve como motivação uma carta de Maxwell para Michelson em que este afirmava a dificuldade em se medir a velocidade da terra em relação ao éter, dado o problema de observar efeitos de segunda ordem, Michelson resolveu construir um interferômetro para detectá-la.

A experiência consistia na construção de um espectrômetro capaz de detectar a diferença na velocidade da luz no sentido do movimento da terra e no sentido contrário. A ideia estruturava-se na seguinte hipótese: como a Terra se movimenta sobre um éter em repouso, o aparelho deveria detectar uma velocidade maior para a luz quando esta se movesse no sentido contrário do movimento da Terra e numa velocidade inferior quando se movesse o sentido oposto.

Maxwell apresenta mais de 20 equações, equações essas reduzidas a um número de quatro por Oliver Heaviside, físico inglês que trabalhou nos desenvolvimentos posteriores da teoria de Maxwell, criando o formalismo matemático que permite que tais equações sejam escritas nessa forma sintética, como são conhecidas hoje. No geral, é isso que diz as equações de Maxwell:

- (1) **lei da Gauss para o campo elétrico**, (uma carga elétrica produz um campo elétrico);
- (2) **lei da Gauss para o campo magnético**, (existência de um campo magnético entre os pólos de um magneto);
- (3) **a lei da Ampère**, (campos elétricos são produzidos por mudança de campos magnéticos); e
- (4) **a lei da Faraday** (campos magnéticos são produzidos por mudança de campos elétricos e por correntes elétricas).

A contribuição mais significativa de Maxwell foi o quarto princípio. Ele reconheceu que os campos magnéticos não são produzidos apenas por correntes elétricas, mas também por mudança de campos elétricos. Depois de começar seu trabalho e elaborar as quatro equações, ele percebeu que as leis de número três e quatro significam que campos elétricos e campos magnéticos em propagação não podem ser separados porque um produz o outro.

Por essas equações um campo magnético variável funciona como fonte de campo elétrico e que um campo elétrico variável funciona como fonte de campo magnético. Esses campos \vec{E} e \vec{B} podem se sustentar mutuamente, formando uma onda eletromagnética que se propaga através do espaço. Pela lei da Faraday a variação de um campo magnético produz um campo elétrico. E a lei da Ampère mostra que um campo elétrico variável é uma fonte de campo magnético.

Portanto, quando um campo elétrico ou um campo magnético está variando com o tempo, ocorre uma indução do outro campo na região do espaço adjacente ao campo que está variando. O que se verifica é a ocorrência de uma perturbação eletromagnética constituída por campos elétricos e magnéticos variando com o tempo e que pode se propagar de uma região do espaço para outra, e que essa perturbação possui características de uma onda, sendo apropriado ser chamada de **onda eletromagnética**.

Ondas eletromagnéticas com comprimentos de onda macroscópicos foram inicialmente produzidas em laboratório em 1887 pelo físico Henrich Hertz, que utilizou um circuito tipo L-C como fonte ondulatória. Utilizando outro circuito sintonizado para a mesma frequência, Hertz detectou ondas eletromagnéticas, e através da produção de ondas estacionárias, mediu a distância de dois nós consecutivos (meio comprimento de onda) para determinar o comprimento de onda.

Como a frequência de ressonância de seu circuito era conhecida, pôde determinar a velocidade da onda usando a relação $V = \lambda \times f$. Desse modo, verificou que a velocidade da onda eletromagnética era igual à velocidade da luz, confirmando a previsão teórica de Maxwell. O valor moderno para a velocidade da luz no vácuo é $c = 299.792.458 \text{ m/s}$ ($c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$)

A radiação eletromagnética ionizante do tipo X, os Raios X, foi descoberta por Roentgen quando realizava pesquisas com os Tubos de Crookes em seu laboratório na Universidade de Wurzburg, na Alemanha, em 8 de novembro de 1895. Existem poucas informações confiáveis sobre como se procedeu a descoberta dos raios-X. Uma das poucas informações sobre o assunto foi uma entrevista que Roentgen concedeu a um jornalista americano, Henry Dam, onde se destaca um trecho de maior relevância:

- Agora, Professor, eu disse, o senhor poderia me contar a história da descoberta?
- Não há história, ele disse. Eu estava interessado há muito tempo no problema dos raios catódicos em tubos de vácuo, estudados por Hertz e Lenard. Eu havia seguido suas pesquisas e as de

outros com grande interesse e decidira que logo que tivesse tempo faria algumas pesquisas próprias. Encontrei esse tempo no final do último mês de outubro. Eu já estava trabalhando há alguns dias quando descobri algo de novo.

- E o que foi a descoberta?

- Eu estava trabalhando com um tubo de Crookes coberto por uma blindagem de papelão preto. Um pedaço de papel com platino-cianeto de bário estava lá na mesa. Eu tinha passado uma corrente pelo tubo, e notei uma linha preta peculiar no papel.

- O que era isso?

- O efeito era algo que só poderia ser produzido, em linguagem comum, pela passagem de luz. Nenhuma luz poderia provir do tubo, pois a blindagem que o cobria era opaca a qualquer luz conhecida, mesmo a do arco elétrico.

- E o que o senhor pensou?

- Eu não pensei; eu investiguei. Assumi que o efeito devia vir do tubo, pois seu caráter indicava que ele não poderia vir de nenhum outro lugar. Eu o testei. Em poucos minutos não havia dúvida sobre isso. Estavam saindo raios do tubo que tinham um efeito luminescente sobre o papel. Testei-o com sucesso a distâncias cada vez maiores, até mesmo a dois metros. Ele parecia inicialmente um novo tipo de luz invisível. Era claramente algo novo, algo não registrado.

- É luz?

- Não.

- É eletricidade?

- Não em qualquer forma conhecida.

- O que é?

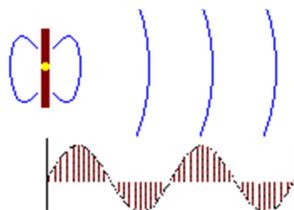
- Eu não sei.

Devido ao desconhecimento da natureza da radiação recém descoberta, Roentgen a chamou temporariamente de Radiação X. A motivação de Roentgen era tamanha que pouco tempo ele já havia descoberto quase todas as propriedades dos Raios X que conhecemos atualmente. Roentgen vislumbrou a possibilidade de utilizar sua descoberta na medicina e com isso produziu e publicou a primeira radiografia da história da medicina, a famosa radiografia da mão de sua esposa.

Em 1905 Einstein propôs que a radiação eletromagnética é quantizada. A quantidade de luz é chamada hoje de **fóton**. Segundo Einstein, um *quantum* de luz de frequência f tem uma energia dada por $E = h \times f$, onde h é a chamada constante de Planck, com valor de $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s} = 4,14 \times 10^{-15} \text{ eV.s}$

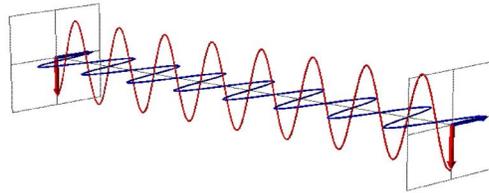
4. Produção de ondas eletromagnéticas

Para uma carga produzir ondas eletromagnéticas, é necessário que a carga esteja acelerada. Um dos modos para fazer essa carga puntiforme emitir ondas eletromagnéticas consiste em fazê-la oscilar com movimento harmônico simples, de maneira que ela possua uma aceleração em quase todos os pontos de sua trajetória.



A figura acima mostra uma linha de campo elétrico produzida por uma carga puntiforme oscilante. Quando a carga oscila para cima e para baixo, produzem-se ondas que se propagam a partir da carga. A carga elétrica não emite ondas igualmente em todas as direções. As ondas mais acentuadas se propagam em uma direção formando um ângulo de 90° com o eixo do movimento da carga. Os vetores \vec{E} e \vec{B} são perpendiculares entre si e à direção de propagação. Como as perturbações elétricas e

magnéticas se espalham ou irradiam para fora da fonte, podemos usar a expressão radiação eletromagnética com o mesmo sentido de ondas eletromagnéticas.



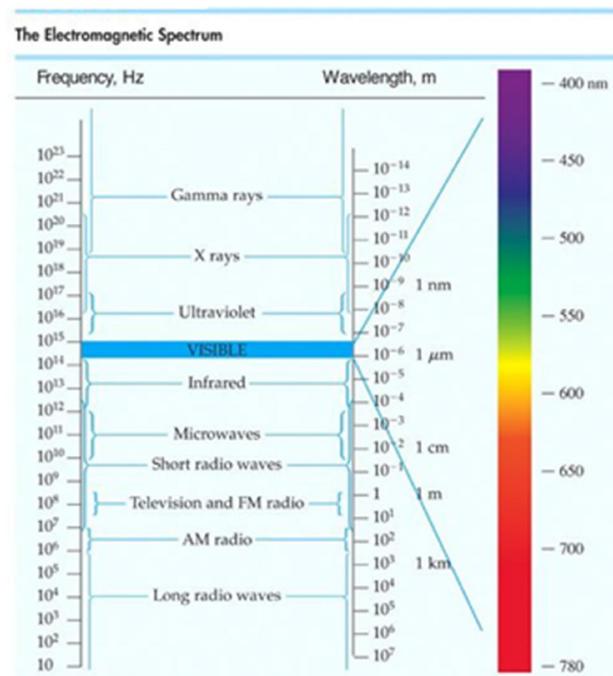
As ondas eletromagnéticas transportam energia e movimento linear. Em ondas eletromagnéticas senoidais, os campos \vec{E} e \vec{B} variam senoidalmente com o tempo e com a posição, com dada frequência e um dado comprimento de onda.

Considerando um mesmo meio, os diversos tipos de ondas eletromagnéticas, a luz visível, o rádio, os raios X e outras ondas diferem entre si apenas pela frequência e pelo comprimento de onda.

5. O espectro eletromagnético

Ondas eletromagnéticas cobrem um largo espectro, ou seja, um largo intervalo de frequências de oscilação por intervalo de tempo das cargas elétricas, e um largo intervalo de comprimento de onda.

A tabela abaixo lista o espectro eletromagnético e os nomes associados com os vários intervalos de frequência e comprimentos de onda. O olho humano é sensível à radiação eletromagnética com comprimentos de onda entre 400nm e 780nm, que é chamada luz visível. Os menores comprimentos de onda da luz visível são os da luz ultravioleta e os mais longos são os da luz vermelha.



O calor emitido por objetos a temperaturas no intervalo de temperatura ambiente está na região do infravermelho do espectro eletromagnético.

O comportamento das ondas depende da relação entre comprimento de onda e o tamanho dos objetos ou aberturas (orifícios) que as ondas encontram. O comprimento de onda e a frequência são importantes para determinar os tipos de interações entre as ondas eletromagnéticas e a matéria.

6. Interação da radiação eletromagnética com a matéria

O conjunto das radiações eletromagnéticas pode também ser classificado segundo os efeitos de alteração estrutural que provoquem, ou não, em átomos ou moléculas da matéria sobre as quais elas incidam. Nesta perspectiva, as radiações são diferenciadas entre:

Ionizantes e;

Não ionizantes.

As radiações ionizantes são aquelas que provocam uma ruptura na organização elétrica da matéria, arrancando-lhe, com o choque na passagem, um ou mais elétrons de sua estrutura. As radiações ionizantes encontram-se as do espectro de altas frequências, como **os raios-X, os raios gama e os raios cósmicos.**

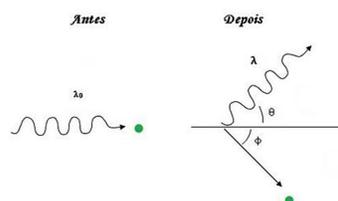
As radiações não ionizantes não provocam tais efeitos. As alterações provocadas são temporárias; a matéria atingida por radiações não ionizantes permanece intacta na sua organização eletrônica, quando essas alterações desaparecem pelo retorno ao estado fundamental de energia mínima. As radiações não ionizantes compreendem desde as ondas de rádio até as radiações ultravioletas.

Desta forma, a energia associada aos fótons de cada radiação é que determina o seu caráter ionizante ou não.

Sob o ponto de vista físico, ao interagirem com um material, as radiações podem provocar excitação atômica ou molecular, ionização ou ativação do núcleo. As mais importantes interações de fótons com a matéria, excluindo as reações nucleares são: espalhamentos Compton e Rayleigh, efeito fotoelétrico (absorção), e produção de pares.

Efeito Compton

No efeito Compton (ou espalhamento Compton), um fóton de energia hf interage com um elétron orbital fracamente ligado ao átomo, ou livre e estacionário. Como resultado da interação, outro fóton de energia hf' menor que hf , é produzido e o elétron movimento com energia E .



Espalhamento Rayleigh

O espalhamento Rayleigh, é um processo de interação no qual fótons são espalhados por elétrons atômicos ligados. Neste processo o átomo não é nem excitado nem ionizado e, após a interação, os elétrons retornam a seu estado energético inicial. O Espalhamento Rayleigh é elástico, o fóton é meramente redirecionado para um ângulo θ sem perda de energia. Moléculas de oxigênio ou nitrogênio e pequenas partículas de poeira podem causar o espalhamento Rayleigh. O fato de o céu parecer azul durante o dia é devido, entre outras causas, a este fenômeno. Os pequenos comprimentos de onda azul do espectro são espalhados mais do que os demais comprimentos de onda.

Efeito fotoelétrico

O efeito fotoelétrico ocorre quando existe interação entre um fóton e um elétron ligado a um determinado átomo, para o qual o fóton transfere toda a sua energia. Em experimentos, foi verificado que fótons ao incidir sobre a superfície de certos metais arrancavam ou não arrancavam elétrons. Dessa forma o fóton deixa de existir, sendo que parte de sua energia transferida é utilizada para vencer a energia de ligação elétron-átomo, e o restante aparece sob a forma de energia cinética do elétron o qual é chamado de fotoelétrico. A dependência do efeito fotoelétrico está no comprimento de onda dos

fótons incidentes. Para que ocorra o efeito fotoelétrico, a energia do fóton incidente deve exceder a energia de ligação do elétron.

$$E_{\text{fotoeletron}} = E_{\text{incidente}} - E_{\text{ligação}}$$

Produção de pares

O fenômeno de Produção de Pares se caracteriza pela interação entre um fóton e o núcleo do átomo. O processo de interação faz com que o fóton desapareça e apareçam em seu lugar dois elétrons; um com carga positiva chamada pósitron e outro com carga negativa. Quando a energia do fóton é maior do que 1,02 MeV, o processo de produção de pares pode ocorrer. O elétron e o pósitron criados, no processo de interação com o núcleo, possuirão uma energia cinética igual à energia do fóton incidente menos 1,02 MeV. Um elétron e um pósitron, estando essencialmente em repouso próximos um do outro, se unem e são aniquilados produzindo dois fótons, cada um com uma energia de 0,511 MeV (radiação de aniquilação).

Produções de pares (elétron-pósitron) são verificadas na natureza por interações produzidas por fótons de raios cósmicos e na medicina quando da utilização de aceleradores lineares em terapias contra o câncer.

7. Características de cada faixa espectral e sua interação com a matéria

Ondas de Rádio

São radiações de baixa frequência, ou, maiores de comprimentos de onda, estando as frequências compreendidas no intervalo de 105 a 1010 Hz, e comprimentos de ondas do espectro, na faixa de 3 km a 3 cm, com energias inferiores a 10^{-5} eV. São geradas por circuitos oscilantes, em transmissores de estações, mas também em grandes corpos no espaço, tais como cometas, planetas ou nuvens de gás gigantes. São ondas deste tipo que trazem até nós os sinais que recebemos nos nossos aparelhos de rádio, TV e telefones celulares. No nível atômico e molecular, as ondas de rádio não provocam efeitos sobre a matéria; o corpo humano, como a maioria dos materiais, é transparente a essas radiações.

Microondas

Estão compreendidas no intervalo de 1010 a 1012 Hz. Os comprimentos de onda respectivos situam-se na faixa de 3 cm a 300 μm e transportam energias de 10^{-5} a 10^{-3} eV. As micro-ondas são geradas por válvulas eletrônicas especiais.

Os efeitos que uma micro-onda provocará em moléculas serão aqueles de girar ou torsionar as moléculas da matéria que recebe a radiação, produzindo calor como resultado destes movimentos. É desta forma que um forno de micro-ondas opera, aquecendo/cozinhando os alimentos.

As micro-ondas são usadas na pesquisa para se obter informações sobre a estrutura de moléculas. São também usadas para a transmissão de informações como em radares, sensoriamento remoto e, ainda, em telefonia celular e transmissão de dados informatizados.

Infravermelho

As radiações da banda **infravermelha** são geradas em grande quantidade pelo Sol, devido à sua temperatura elevada; entretanto podem também ser produzidas por objetos aquecidos (como filamentos de lâmpadas). Radiação infravermelha, ou ondas de calor, ou ainda radiação térmica, situadas na faixa de 10^{11} a 4.10^{14} Hz, com comprimentos de onda entre 1 milímetro e 750 nanômetros e energias na faixa de 0,0012 a 1,65 eV.

São geradas pela vibração ou oscilação dos elétrons das camadas mais externas de átomos e moléculas. Ao interagir com a matéria, as ondas infravermelhas colocam as moléculas em vibração. No cotidiano, experimentamos os efeitos dessas interações quando sentimos calor proveniente do Sol, de radiadores, de ferros de passar roupa, e até de nosso próprio corpo.

Visível

Refere-se à parte do espectro que o olho humano consegue detectar. Em comparação com amplitude total do espectro, a luz ocupa uma faixa muito estreita de frequência, situada entre o infravermelho e o ultravioleta, que vai de $4,3 \cdot 10^{14}$ a $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz, correspondente a comprimentos de onda de 750 a 400 nanômetros e a energias de 1,65 a 3,1 eV.

Os microscópios óticos são exemplos de interação da luz visível com a matéria. Em observação de tecidos biológicos ou microrganismos, a luz se propaga pode ser espalhada ou absorvida. O espalhamento da luz em um meio (mudanças de direção) ocorre e depende do tamanho da partícula espalhadora e do comprimento da onda da luz.

As principais partículas espalhadoras são membranas celulares e agregados moleculares. Outro fenômeno que ocorre quando a luz interage com meios biológicos é a absorção, que depende das partículas absorvedoras (cromóforos) presentes no tecido.

Ultravioleta

Tal denominação, o prefixo latino ultra significa além, como você pode perceber, vem da posição ocupada por estas radiações na escala de frequência, além da luz violeta, a última radiação visível para nós. As radiações UV têm frequências entre $7,5 \cdot 10^{14}$ e $3 \cdot 10^{16}$ Hz, que correspondem a comprimentos de onda na faixa de 400 nm a 10 nm e a energia compreendidas entre 1,8 a 3,1 eV.

Nesta faixa de energia está o limiar entre as radiações não-ionizantes e as ionizantes. Dado às altas energias que carregam, as radiações ultravioletas são fortemente absorvidas pela maioria das substâncias sólidas. Sobre a pele, o seu efeito é muito conhecido: o tom bronzeado que adquirimos no verão; vem justamente da absorção pela nossa pele das radiações UV emitidas pelo Sol. Mas também aí reside o perigo maior de se adquirir também um câncer de pele.

Nossos olhos são particularmente suscetíveis aos danos das radiações ultravioletas, pois elas provocam a conhecida inflamação UV ou mesmo a cegueira.

Raios gama

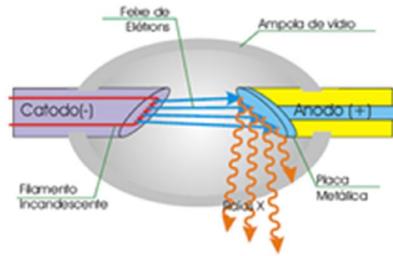
São ondas eletromagnéticas emitidas por núcleos radioativos e possuem comprimento de onda entre 10^{-10} m e 10^{-14} m. Uma das aplicações para a radiação eletromagnética de raios gama consiste na sua utilização para fins de esterilização de materiais. Usualmente são usados os raios gama emitidos na desintegração radioativa do cobalto de massa 60 (^{60}Co) ou do césio de massa 137 (^{137}Cs).

A radiação gama é altamente penetrante, sendo capaz de matar as bactérias presentes em produtos lacrados dentro de uma embalagem. Desta forma, o produto irradiado consegue se manter estéril até que a embalagem seja removida. O processo de esterilização ocorre por meio de colisões entre a radiação e os elétrons dos átomos do material a ser esterilizado. Em tais colisões, os átomos constituintes do material irradiado perdem seus elétrons, formando íons, ou seja, a esterilização é um processo de ionização.

Os materiais não se tornam radioativos quando expostos a radiação produzida por raios-X, raios gama e feixe de elétrons de até 10 MeV, pois os níveis de energia empregados no processamento dos produtos (como exemplo os alimentos) são extremamente pequenos. A radiação ionizante favorece a cisão (quebra) da cadeia de DNA dos microrganismos com o objetivo de eliminá-los ou torná-los incapazes de se reproduzirem.

Raios-X

Graças aos estudos de Roentgen e outros que vieram após ele, hoje sabemos que os raios-x são radiações originárias do freamento de elétrons acelerados que quando interagem com um núcleo pesado e sofrem desaceleração.



O choque do feixe de elétrons (que saem do cátodo com energia de dezenas de KeV) com o anodo (alvo) produz dois tipos de raios X. Um deles constitui o **espectro contínuo**, e resulta da desaceleração do elétron durante a penetração no anodo. O outro tipo são os **raios X característicos** do material do anodo. Assim, cada espectro de raios X é a superposição de um espectro contínuo e de uma série de linhas espectrais características do anodo. Como toda energia eletromagnética de natureza ondulatória, os raios X sofrem interferência, polarização, refração, difração, reflexão, entre outros efeitos. Os raios x possuem comprimento de onda entre 0,1 a 100Å e frequência entre 10^{16} a 10^{20} Hz.

8. Referências

- COSTA, P.R. **Interação da Radiação gama com a Matéria** – Laboratório de Física Moderna – DFN/IFUSP
- DA SILVA, R. C.; DA SILVA.; AQUINO, K. A. S. **Interação da Radiação Gama com a Matéria no Processo de Esterilização**. Revista Virtual de Química, vol. 6, nº6. Disponível em <<http://rvq.sbq.org.br/index.php/rvq/article/viewArticle/805>> Acesso em 18 ago 2016.
- FILHO, J. E. C. C. **O resultado negativo da experiência de Michelson-Morley ante a Epistemologia Bachelardiana**. Disponível em <<http://www.13snhct.sbhc.org.br/>>, Acesso em 18 ago 2016.
- MARTINS, R. A. **A Descoberta dos Raios X: O Primeiro Comunicado de Roentgen**. Revista Brasileira de Ensino de Física vol. 20, no. 4, Dezembro, 1998.
- MEDEIROS, R. F., SANTOS, F. M. T. **Introdução à Física das Radiações**. Textos de apoio ao professor de Física, v.22, nº5, 2011.
- SEARS & ZEMANSKY - Física III, Eletromagnetismo. 12ª ed. Pearson, 2009.
- SERWAY, JEWETT, Princípios de Física, Vol. 3. 3ª ed. Thonson, 2006
- SIMÕES, Eduardo. **Eletromagnetismo: para além das Leis de Newton**. Revista Pesquisa & Extensão, Montes Claros/MG, v. 4, nº 1, p. 07-14, 2014.
- VIEIRA, Sebastião Prata. **Montagem e caracterização de um microscópio óptico não linear para imagens de tecidos biológicos**, 2014. Tese (Doutorado em Ciências) – USP São Carlos, 2014.