

Em Brasília, 19 horas...

Assim que saiu do trabalho, Roberto passou no hospital para fazer uma **radiografia** do pulmão e foi para casa. Ao entrar, acendeu a **luz**. Era uma linda noite de Lua cheia, mas muito fria, e por isso ele ligou o **aquecedor elétrico**. Foi até a cozinha e, no forno de **microondas**, esquentou uma xícara de água para preparar um chá. Então, voltou para a sala, ligou o **rádio** e sentou-se para tomar o chá e ouvir um pouco de música. De repente, ouviu uma voz que dizia:

Em Brasília, dezenove horas...

Esta parece uma situação bastante familiar, não é mesmo? Você deve ter notado que algumas palavras do texto foram **destacadas**...

Você saberia dizer por quê? O que será que elas têm de especial? Isto é o que você vai descobrir nesta aula!

Nas aulas passadas discutimos a **estrutura da matéria**. Você aprendeu que a matéria é feita de átomos. Aprendeu, também, que o átomo é composto por um núcleo central que contém prótons e nêutrons, no qual se concentra praticamente toda a sua massa, e por uma região ao redor na qual se encontram os elétrons.

Você aprendeu também que os elétrons ocupam certas regiões que correspondem aos **níveis de energia**, aos quais está associado um valor de **energia E**. Outra coisa muito importante que você estudou é que, quando um elétron muda de nível, o átomo emite ou absorve uma certa **quantidade de energia**, que é igual à diferença de energia entre os dois níveis.

Você deve estar se perguntando: “Mas qual a relação disso tudo com a luz, as radiografias, as microondas, o aquecedor, o rádio?”

Na Aula 35 falamos sobre o **efeito fotoelétrico**: quando uma certa quantidade de **luz incide sobre uma placa de metal**, surge uma **corrente elétrica**. Experimentalmente verificou-se que a corrente elétrica não depende da intensidade da luz, mas depende da **cor de luz** que incide sobre a placa.

Havia, então, duas questões a esclarecer. A primeira é o **aparecimento** da corrente elétrica. A segunda é o fato de que **só com alguns tipos de luz essa corrente aparece**. Quem explicou o efeito fotoelétrico foi Albert Einstein.



A primeira conclusão de Einstein foi: **a luz fornece energia para os elétrons** contidos na placa de metal. Esses elétrons ficam na placa de metal devido à presença de um campo elétrico. Se o elétron recebe energia suficiente, pode se liberar deste campo, e então ocorre o efeito fotoelétrico, isto é, observa-se a presença de uma **corrente elétrica** na placa de metal. Assim está explicada a primeira questão.

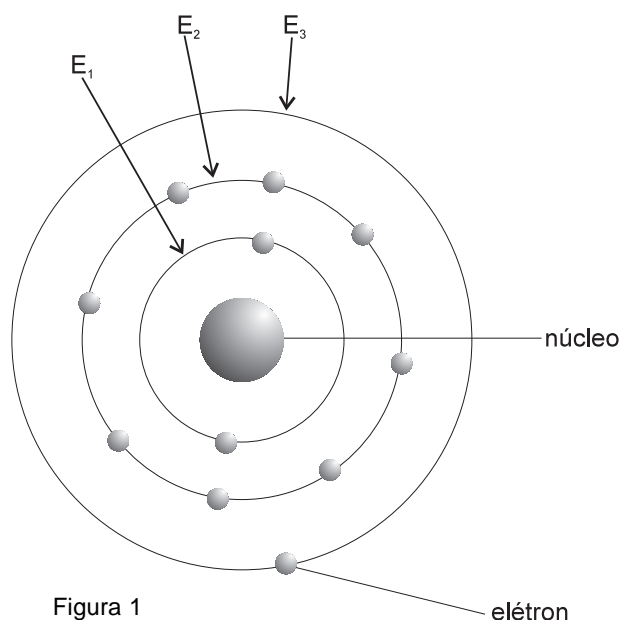
A outra questão a explicar é mais complicada: por que só alguns tipos de luz (cores) provocam o aparecimento da corrente elétrica? Para explicar esse fenômeno, Einstein imaginou que a luz é formada por pequenos “**pacotes de energia**” aos quais deu o nome de **fótons**. Esses “pacotes” podem ser interpretados como partículas e podem carregar diferentes quantidades de energia, dependendo da cor da luz.

Vamos retomar o raciocínio de Einstein:

- a luz é formada por **fótons**;
- fótons são “pacotes” ou partículas, que carregam quantidades de energia de acordo com o tipo de luz;
- o fóton deve ter uma quantidade de energia suficiente para arrancar o elétron da placa de metal. Por isso, o efeito fotoelétrico só ocorre quando um certo tipo de luz incide sobre a placa.

Assim Einstein foi capaz de responder à segunda questão e explicar o efeito fotoelétrico.

Essa teoria permitiu também explicar os processos de emissão e de absorção de luz. Na Aula 47 você estudou o modelo de Rutherford-Bohr para o átomo. Viu que neste modelo os elétrons do átomo se distribuem em níveis, e cada um desses níveis está associado a um valor de energia. A Figura 1 mostra o esquema do átomo de sódio (Na), que tem 11 elétrons. Lembre-se de que quanto mais afastado do núcleo estiver o elétron, maior será sua energia, portanto: $E_3 > E_2 > E_1$.



Na Figura 2a, um fóton é absorvido por um átomo de Na. Note que o fóton transfere energia a um elétron do átomo, que muda de nível. Mas, após um certo tempo, o elétron volta para o nível de energia mais baixa e emite um fóton, como mostra a Figura 2b. Dependendo da energia do fóton emitido, podemos observá-lo, isto é, pode ser um fóton que compõe a luz visível.

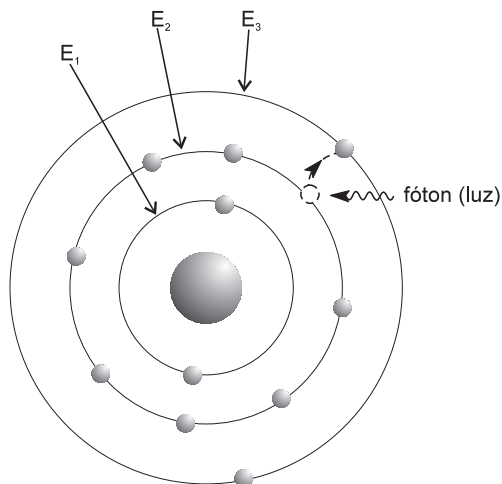


Figura 2a. Absorção de luz

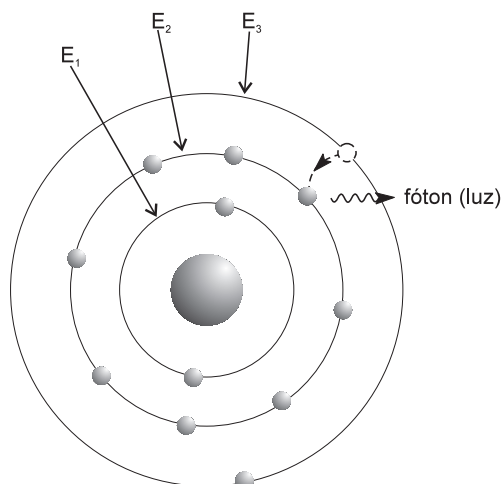


Figura 2b. Emissão de luz

Dessa forma, Einstein propôs que a **luz**, quando interage com a matéria, se comporta como uma partícula, o **fóton**. Os fótons podem ser interpretados como partículas que não possuem massa; às vezes, sendo chamados de “partículas de luz”.

É importante notar que é muito difícil dizer **o que a natureza é realmente**: o que os cientistas fazem é imaginar modelos que representem melhor a natureza, isto é, criam modelos para tentar explicar os fenômenos observados.

Luz é onda ou partícula?

Na Aula 35 nós discutimos a **natureza da luz**. Você viu que **Maxwell** chegou à conclusão de que **a luz é um tipo de onda** chamada **onda eletromagnética**. No final da Aula 46 nós falamos sobre as ondas eletromagnéticas. Dissemos que uma onda eletromagnética é formada por **campos elétricos e magnéticos** que se propagam pelo espaço: quando um campo elétrico varia, ele cria um campo magnético. Mas esse campo magnético é variável e, desse modo, dá origem a um campo elétrico variável que cria um campo magnético, e assim por diante. Essa sucessão de campos elétricos e magnéticos são as **ondas eletromagnéticas**. Note que esses campos são perpendiculares à direção de propagação da onda. Por isso, dizemos que ela é um tipo de onda **transversal**.

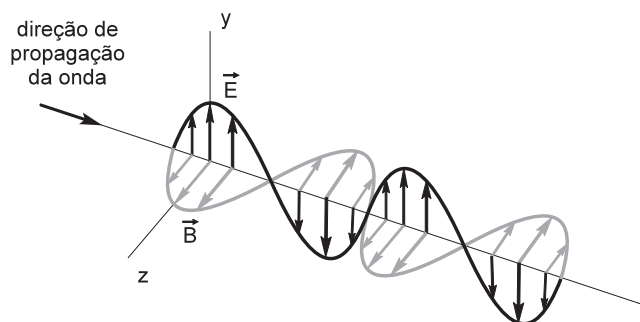


Figura 3. Representação de uma onda eletromagnética

As ondas eletromagnéticas têm semelhanças com as ondas mecânicas – que estudamos nas Aulas 29 e 30. Isso porque elas também se propagam pelo espaço e são caracterizadas por um comprimento de onda e uma frequência. Mas existem algumas diferenças. Por exemplo: as ondas mecânicas precisam de um meio material para se propagar, enquanto que as eletromagnéticas não necessitam desse meio – elas se propagam também na ausência de matéria, isto é, no vácuo!

Neste curso nós vamos discutir apenas alguns aspectos das ondas eletromagnéticas e ver como elas estão presentes na nossa vida!

Até agora, vimos que:

As ondas eletromagnéticas, como a luz, tem um comportamento duplo: elas se propagam como ondas, mas quando interagem com a matéria comportam-se como partículas, os fótons. O importante é que quando falamos em fótons ou em ondas eletromagnéticas, estamos nos referindo à mesma coisa.

Para tentar entender melhor esse comportamento duplo da luz, imagine a superfície de um lago. No meio do lago formam-se algumas ondas, por causa do vento. Essas ondas se propagam até a margem do lago. Esse grupo de ondas que se propaga tem as características de ondas (frequência, comprimento de onda), mas tem também características de partícula, pois se desloca como um todo. Devemos imaginar a luz de forma semelhante: um grupo de ondas que se desloca pelo espaço em altíssima velocidade.

Você se lembra das palavras destacadas no início da aula?

- radiografia
- luz
- microondas
- aquecedor elétrico
- rádio

Pois é, elas têm tudo a ver com as ondas eletromagnéticas. Foram dadas como exemplos para você ter uma idéia da sua importância e de como elas estão presentes no nosso dia-a-dia! Para irmos em frente, vamos primeiro estudar...

Como são produzidas as ondas eletromagnéticas

Vamos recordar algumas grandezas que caracterizam as ondas: a **frequência** (f), o **período** (T) e o **comprimento de onda** (λ).

Quando estudamos as ondas mecânicas, vimos que a frequência (f) da onda está relacionada à frequência de vibração da fonte que produz a onda – por exemplo, no caso da corda de um violão ou do diafragma de um alto-falante. Quanto mais rápida for a vibração, maior será frequência da onda produzida.

O período (T) é o inverso da frequência (f), portanto:

$$T = \frac{1}{f}$$

Uma outra grandeza que caracteriza as ondas é o seu **comprimento de onda** (λ), que é a distância percorrida pela onda num tempo equivalente a um período. As ondas eletromagnéticas se propagam à velocidade da luz, c . Para elas, podemos escrever (usando a definição de velocidade):

$$v = \frac{\text{distância percorrida}}{\text{tempo}} \Rightarrow c = \frac{\lambda}{T} \Rightarrow c = \lambda \cdot f$$

As ondas eletromagnéticas são caracterizadas por um valor de frequência e de comprimento de onda, que estão relacionados à velocidade pela equação que acabamos de ver.

Como se produzem as ondas eletromagnéticas? O fenômeno fundamental é o seguinte: **quando uma carga elétrica é acelerada ou freada, ela produz ondas eletromagnéticas**. Esse é o ponto de partida da nossa discussão. Portanto, quando uma carga elétrica executa um movimento oscilatório, isto é, de vaivém, ela produz ondas eletromagnéticas.

As **ondas de rádio**, por exemplo, são produzidas numa antena. A antena possui uma peça de metal e um circuito elétrico onde é produzida uma corrente elétrica, que são elétrons em movimento ordenado. Esses elétrons se movem de um lado para o outro, milhões de vezes por segundo, produzindo ondas eletromagnéticas com frequência igual à frequência do seu movimento.

A **luz visível** é uma onda eletromagnética com frequência muito maior do que a frequência das ondas de rádio; portanto, tem um comprimento de onda muito menor. Ela é produzida quando um elétron muda de nível dentro do átomo.

Quando um elétron de um átomo vai de um nível de maior energia para um nível de menor energia, ele emite um fóton. Quando chegam aos nossos olhos, esses fótons podem ser percebidos pela nossa visão: dentro do olho existem células capazes de absorvê-los. Os átomos que compõem essas células absorvem os fótons e transmitem um sinal elétrico ao cérebro.

Veja que não é qualquer fóton que pode ser absorvido pelas células da retina: só aqueles que têm frequência e energia numa determinada faixa de valores. Os fótons – as ondas eletromagnéticas – que estão nessa faixa são chamados de **luz visível**.

Outra energia, outro tipo de onda...

Dissemos acima que cada onda eletromagnética, isto é, cada fóton, está associada a um valor de **frequência, comprimento de onda e energia**. A energia e a frequência são diretamente proporcionais:

$$E = h \cdot f$$

isto é, a energia do fóton é proporcional à sua frequência; a constante de proporcionalidade, **h**, é a mesma para todos os fótons, não importando a sua frequência, e seu valor é $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

Como as frequências vão até os valores bem grandes, foram definidos múltiplos do hertz (Hz). Os mais utilizados são o quilohertz (KHz), que equivale a 1.000 hertz, e o megahertz (MHz), que equivale a 1.000.000 hertz.

Cada valor de frequência e de comprimento de onda corresponde a um valor de energia do fóton. Por isso, dizemos que as ondas eletromagnéticas formam um espectro, o chamado **espectro eletromagnético**, como mostra a Figura 4.

Entre as ondas eletromagnéticas de menor comprimento, estão as **ondas de rádio**, que podem ser emitidas e captadas por antenas cujo tamanho pode ser da ordem de um metro até dezenas de metros, e são utilizadas em sistemas de comunicação. Um pouco mais acima, isto é, com um comprimento de onda menor, estão as **ondas de TV**, cujo comprimento de onda é da ordem de 1 metro.

Um pouco mais acima estão as **microondas** que são produzidas por aparelhos eletrônicos, como o forno de microondas doméstico. As microondas produzidas nesse forno são facilmente absorvidas pelas moléculas de água contidas nos alimentos, o que provoca seu aquecimento.

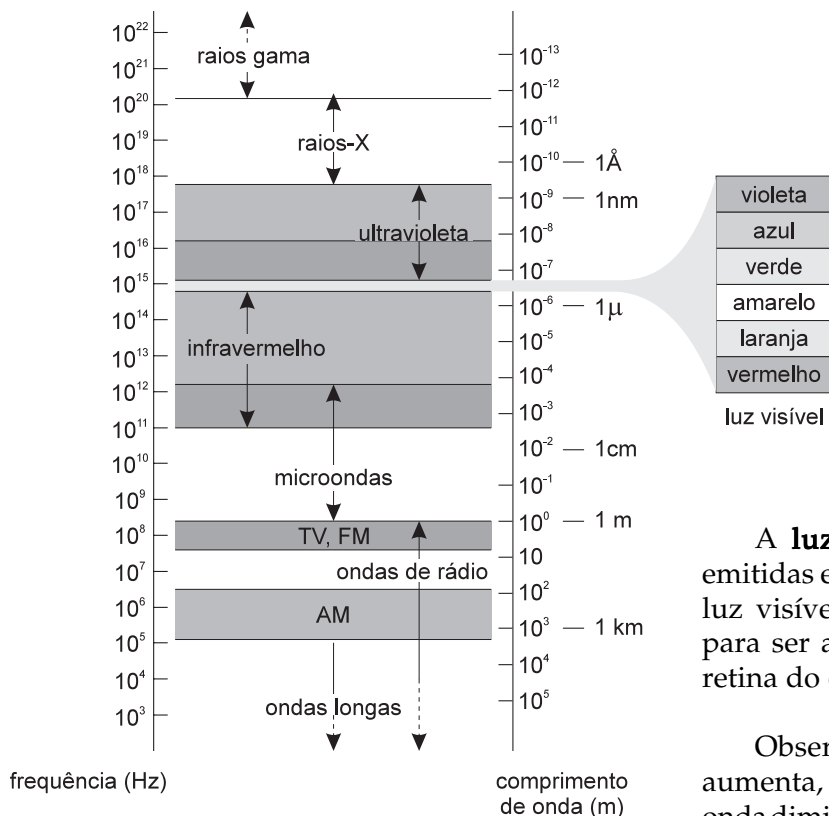


Figura 4. Espectro eletromagnético

Seguindo no espectro eletromagnético, encontramos a **luz infravermelha**, que é produzida por corpos aquecidos e por moléculas. São facilmente absorvidas pela maioria dos materiais, inclusive a nossa pele. Quando absorvidas, transferem energia aos átomos da superfície do corpo, provocando o aumento de sua temperatura.

A **luz visível** e frequências próximas são emitidas e absorvidas por átomos e moléculas. A luz visível tem o comprimento de onda exato para ser absorvida pelas células que formam a retina do olho.

Observe que, à medida que a frequência aumenta, a energia aumenta e o comprimento de onda diminui. É por isso que os **raios ultravioleta**, que vêm do Sol, fazem mal à saúde: por ter um comprimento de onda pequeno, eles podem penetrar no organismo e, como têm grande energia, podem destruir algumas de suas células. Por isso não é aconselhável a exposição ao sol sem utilização de um filtro solar que bloqueie pelo menos uma parte dos raios ultravioleta.

Os **raios X** são produzidos quando cargas elétricas sofrem grandes acelerações ou quando um elétron sofre uma mudança de nível e a energia emitida é muito grande.

Por ter um comprimento de onda muito pequeno, os raios X podem atravessar as partes moles do corpo humano – pele, músculos, regiões com gordura – e atingir uma chapa fotográfica. Assim são feitas as radiografias, como as do pulmão, braços, pés etc. Essa radiação não faz bem à saúde. Mas, como as radiografias só são feitas em caso de necessidade médica, trazem benefícios, o que compensa os seus efeitos ruins.

Os **raios gama** são semelhantes aos raios X, mas muito mais energéticos. São produzidos em processos que ocorrem dentro do núcleo de alguns átomos.

O arco-íris

Como você pode observar na Figura 4, a luz visível ocupa uma pequena região do espectro eletromagnético: sua frequência varia entre $4 \cdot 10^{14}$ e $8 \cdot 10^{15}$ Hz, aproximadamente. Essa faixa é subdividida em faixas menores, que correspondem às cores do arco-íris. Em ordem crescente de frequência, temos:

vermelho	laranja	amarelo	verde	azul	violeta
----------	---------	---------	-------	------	---------

Você aprendeu que o fóton é, ao mesmo tempo, onda e partícula. Assim como o fóton, o elétron, que originalmente era considerado uma partícula, também tem características de onda. Interpretando o elétron como uma onda fica mais fácil compreender por que só certos níveis de energia são permitidos no átomo: é semelhante a uma corda de violão, que só vibra em certas frequências.

Devemos então modificar o modelo de Rutherford-Bohr: em lugar de órbitas bem-definidas, os elétrons são representados por ondas em torno do núcleo. Da mesma forma interpretamos todas as outras partículas: prótons, nêutrons, píons, quarks etc.

Agora você sabe mais sobre a luz! Na próxima aula vamos estudar um outro tópico de física moderna, que também teve contribuição de Einstein e que está relacionado a uma característica muito peculiar da luz: a **teoria da relatividade**.

Nesta aula você aprendeu que:

- as **ondas eletromagnéticas** são campos elétricos e magnéticos que se propagam pelo espaço, sem a necessidade de um meio material;
- as ondas eletromagnéticas têm comportamento duplo: elas se propagam como ondas mas, ao interagir, comportam-se como partículas, chamadas **fótons**;
- as ondas eletromagnéticas são caracterizadas por um valor de **frequência**, **comprimento de onda** e **energia**;
- a **luz visível** é um exemplo de **onda eletromagnética**, assim como as **ondas de rádio** e **TV**, as **microondas**, os **raios X** etc.;
- além dos fótons, todas as outras partículas possuem caráter duplo: são ondas e partículas ao mesmo tempo.



Exercício 1

Complete: "A luz é uma onda **(a)**, isto é, formada por campos elétricos e magnéticos que se propagam em alta velocidade. Mas a luz também é formada por partículas, chamadas **(b)** A luz é, ao mesmo tempo, onda e **(c)**"

Exercício 2

Complete: "Quando um átomo absorve luz, isto é, absorve um fóton, um de seus elétrons muda de órbita, para uma órbita de **(a)** energia. A diferença entre as energias da órbita do elétron antes e depois da absorção é igual à energia do **(b)** absorvido."

Exercício 3

Complete: "Existem outras ondas eletromagnéticas, que diferem da luz pelo **(a)** de onda, indicado pela letra grega **(b)** Em um extremo, ondas de **(c)**, que têm grandes **(d)** de onda. Em outro extremo, raios **(e)**, que têm pequeno **(f)** de onda. No meio, a luz visível. Comprimentos de onda pouco maiores do que a luz formam a região do **(g)** Comprimentos de onda pouco menores formam a região do **(h)** No arco-íris, as cores correspondem a diferentes comprimentos de onda, desde o violeta até o vermelho. Se o nosso olho fosse sensível ao ultravioleta, veríamos uma faixa dessa "cor" logo acima do **(i)** no arco-íris."

