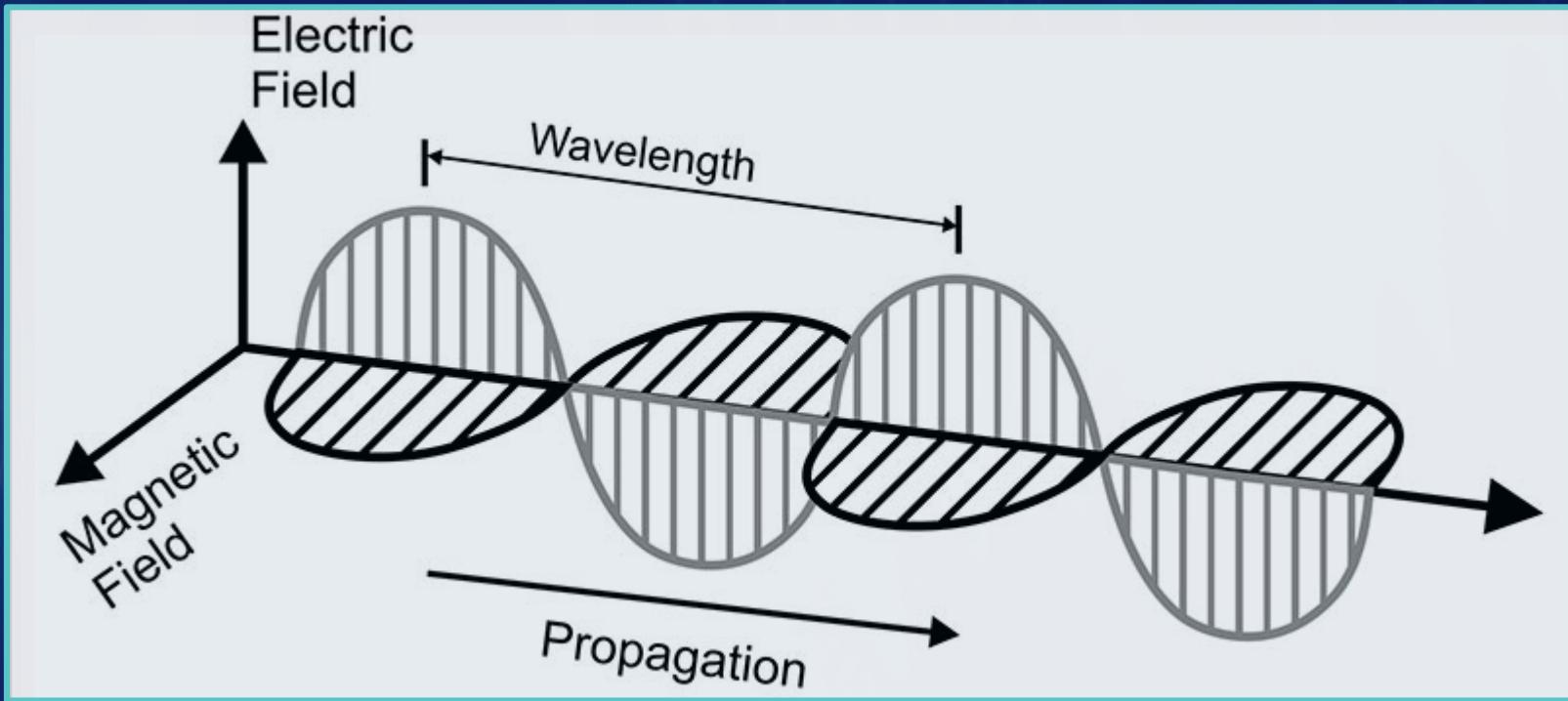


Fundamentos de Eletromagnetismo



Introdução

- O eletromagnetismo é um ramo da física que envolve o estudo da **força eletromagnética**, um tipo de interação física que ocorre entre partículas carregadas eletricamente.
- A força eletromagnética é transportada por campos eletromagnéticos compostos de campos **elétricos** e campos **magnéticos**, e é responsável pela **radiação eletromagnética**, como a luz.

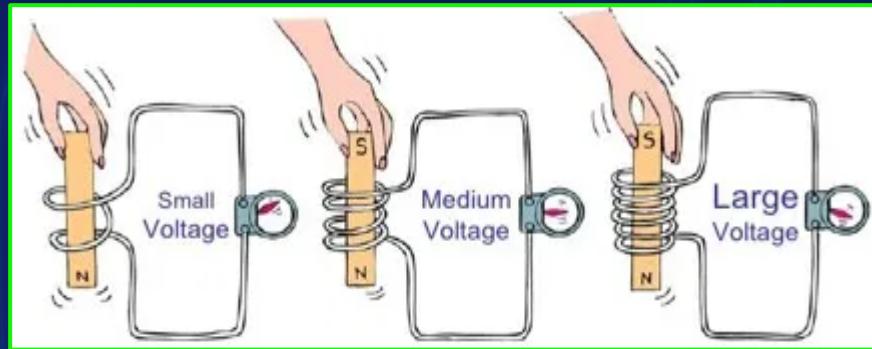
Forças Fundamentais

- O **eletromagnetismo** é uma das quatro interações fundamentais (comumente chamadas de forças) na natureza, juntamente com a **interação forte**, a **interação fraca** e **gravitação**.
- **Gravidade:** Aumenta com as massas, força da lei do inverso do quadrado, sempre atraente.
- **Fraca:** Envolvido na decadência radioativa.
- **Eletromagnética:** Aumenta com cargas, força da lei do inverso do quadrado, opostos se atraem e semelhantes se repelem.
- **Forte:** Mantém o núcleo carregado positivamente junto, Extremamente curto alcance.
- Santo Graal da física é unificar essas quatro forças!

Fenômeno Eletromagnético

- Os fenômenos eletromagnéticos são definidos em termos da força eletromagnética, às vezes chamada de força de Lorentz, que inclui a eletricidade e o magnetismo como manifestações diferentes do mesmo fenômeno.
- A força eletromagnética desempenha um papel importante na determinação das propriedades internas da maioria dos objetos encontrados na vida diária. A atração eletromagnética entre os núcleos atômicos e seus elétrons orbitais mantém os átomos unidos.
- As forças eletromagnéticas são responsáveis pelas ligações químicas entre os átomos que criam as moléculas e as forças intermoleculares.
- A força eletromagnética governa todos os processos químicos, que surgem das interações entre os elétrons de átomos vizinhos.

Indução Eletromagnética



- Em 1831, Michael Faraday realizou vários experimentos para provar que a eletricidade poderia ser gerada a partir do magnetismo.
- O grande experimentalista não apenas havia demonstrado claramente esse fenômeno, hoje conhecido como **indução eletromagnética**, mas também desenvolveu uma boa concepção dos processos envolvidos.
- Um dos experimentos realizados por Faraday contou com um ímã permanente e um galvanômetro conectado a uma bobina de arame enrolada em um cilindro de papel.

Descrição Matemática

- Existem inúmeras descrições matemáticas do campo eletromagnético. Na eletrodinâmica clássica, os campos elétricos são descritos como potencial elétrico e corrente elétrica.
- Na **lei de Faraday**, os campos magnéticos estão associados à indução eletromagnética e ao magnetismo.
- As **equações de Maxwell** descrevem como os campos elétricos e magnéticos são gerados e alterados uns pelos outros e por cargas e correntes.
- As implicações teóricas do eletromagnetismo, particularmente o estabelecimento da velocidade da luz com base nas propriedades do "meio" de propagação (**permeabilidade** e **permissividade**), levaram ao desenvolvimento da **relatividade especial** por Albert Einstein em 1905.

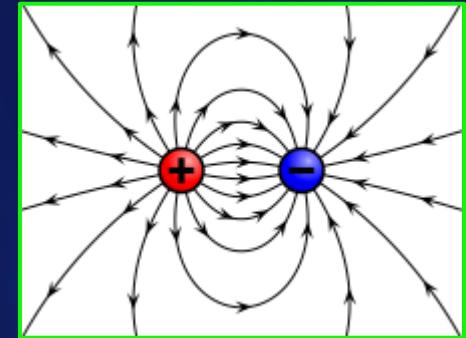
Contexto Histórico

- Originalmente, eletricidade e magnetismo foram considerados duas forças separadas.
- Esta visão mudou com a publicação de James Clerk Maxwell em 1873: “**A Treatise on Electricity and Magnetism**” em que as interações de cargas positivas e negativas mostraram ser mediadas por uma força.

Interações Eletromagnéticas

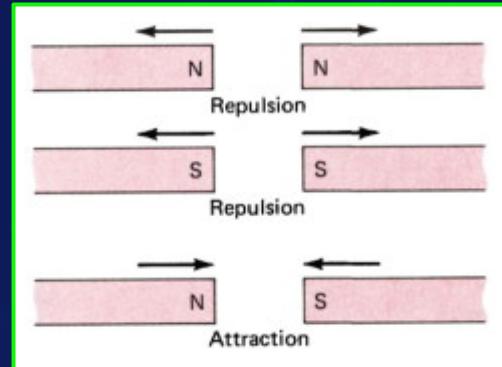
- Existem quatro efeitos principais resultantes de interações eletromagnéticas, todos os quais foram claramente demonstrados por experimentos:
 - As cargas elétricas se atraem ou se repelem com uma força inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas: diferentes cargas se atraem, similares as repelem.
 - Os pólos magnéticos (ou estados de polarização em pontos individuais) se atraem ou se repelem de maneira semelhante às cargas positivas e negativas e sempre existem como pares: todo polo norte está ligado a um polo sul.
 - Uma corrente elétrica dentro de um fio cria um campo magnético circunferencial correspondente fora do fio. Sua direção (horário ou anti-horário) depende da direção da corrente no fio.
 - Uma corrente é induzida em um laço de fio quando ele é movido para perto ou para longe de um campo magnético, ou um ímã é movido para perto ou para longe dele; a direção da corrente depende da direção do movimento.

Cargas Elétricas



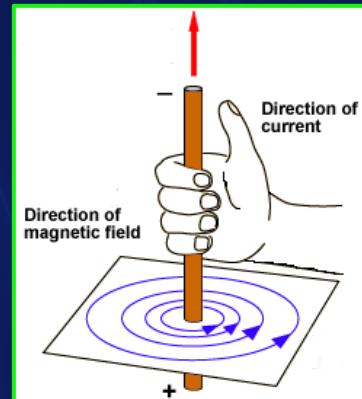
- Carga elétrica é a propriedade física da matéria que faz com que ela experimente uma força quando colocada em um campo eletromagnético.
- Existem dois tipos de carga elétrica: **positiva** e **negativa** (comumente transportada por **prótons** e **elétrons**, respectivamente).
- Cargas semelhantes se repelem e cargas diferentes se atraem. Um objeto com ausência de carga líquida é denominado **neutro**.
- Cargas elétricas produzem campos elétricos. Uma carga em movimento também produz um campo magnético.
- A unidade de carga elétrica derivada do SI é o **coulomb** (C)

Pólos Magnéticos



- Pólo magnético: região em cada extremidade de um ímã onde o campo magnético externo é mais forte.
- Um pólo magnético produz fluxo magnético, mas nenhuma circulação magnética e, portanto, pode ser chamado de fonte de fluxo.
- O fluxo magnético é definido como o número de linhas do campo magnético que passam por uma determinada superfície fechada. Ele fornece a medição do campo magnético total que passa por uma determinada área de superfície.

Corrente Elétrica



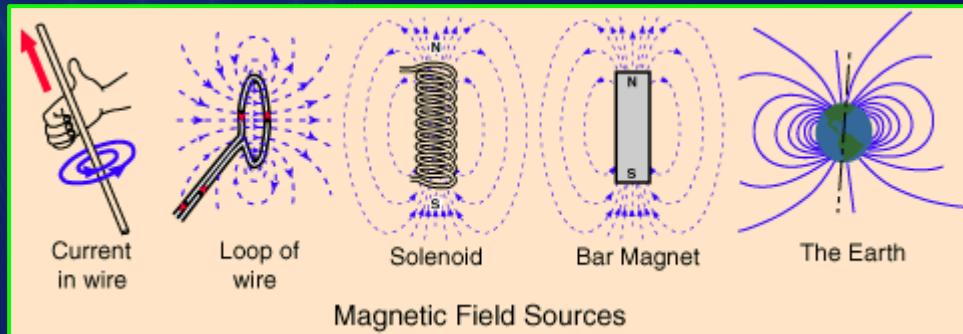
- A corrente elétrica produz um campo magnético.
- Este campo magnético pode ser visualizado como um padrão de linhas de campo circulares ao redor de um fio.
- A direção do campo dentro do loop pode ser encontrada curvando os dedos da mão direita na direção da corrente através do loop.

Campo Magnético

- Um campo magnético é um campo vetorial que descreve a influência magnética no movimento de cargas elétricas, correntes elétricas e materiais magnéticos.
- Uma carga que se move em um campo magnético experimenta uma força perpendicular à sua própria velocidade e ao campo magnético.
- Os efeitos dos campos magnéticos são comumente vistos em ímãs permanentes, que puxam materiais ferromagnéticos, como o ferro, e atraem ou repelem outros ímãs.
- Além disso, um campo magnético que varia com a localização exercerá uma força sobre uma variedade de materiais não magnéticos, afetando o movimento de seus elétrons atômicos externos.
- Os campos magnéticos são produzidos por cargas elétricas em movimento e os momentos magnéticos intrínsecos de partículas elementares associadas a uma propriedade quântica fundamental, seu spin.

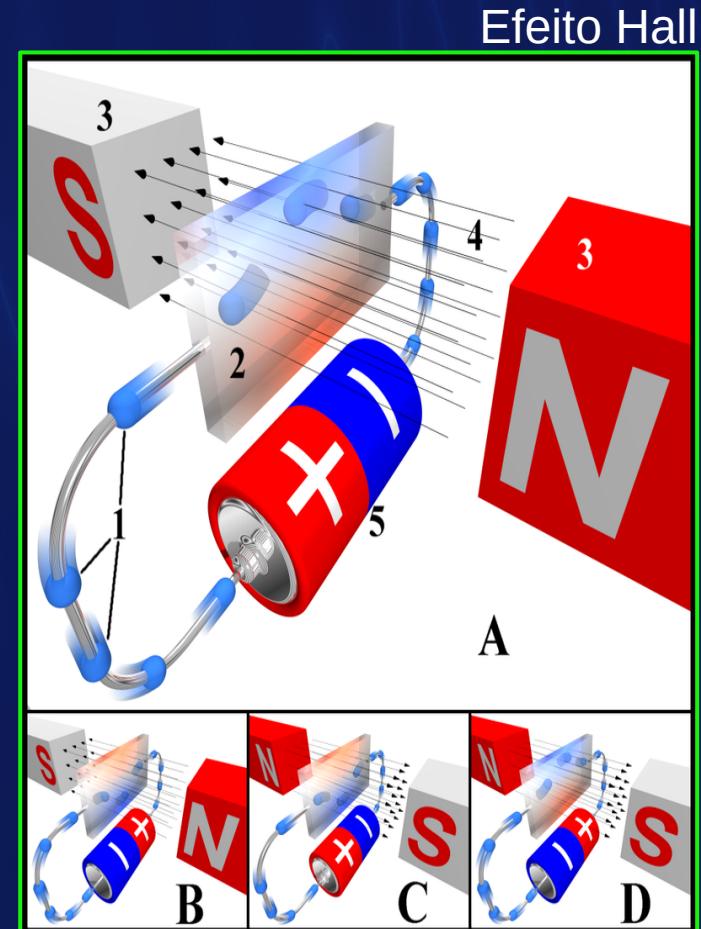
Campo Magnético

- O campo magnético B é definido em termos de força na carga em movimento na lei de força de Lorentz.
- As fontes de campo magnético são essencialmente dipolares por natureza, tendo um pólo magnético norte e sul.
- A unidade SI para campo magnético é o Tesla. Uma unidade de campo magnético menor é Gauss ($1\text{ Tesla} = 10.000\text{ Gauss}$)



Tecnologia Moderna

- Os campos magnéticos são usados em toda a tecnologia moderna, particularmente em engenharia elétrica e eletromecânica.
- Os campos magnéticos rotativos são usados tanto em motores elétricos quanto em geradores.
- As forças magnéticas fornecem informações sobre os portadores de carga em um material por meio do efeito Hall.
- A Terra produz seu próprio campo magnético, que protege a camada de ozônio da Terra do vento solar e é importante na navegação com bússola.



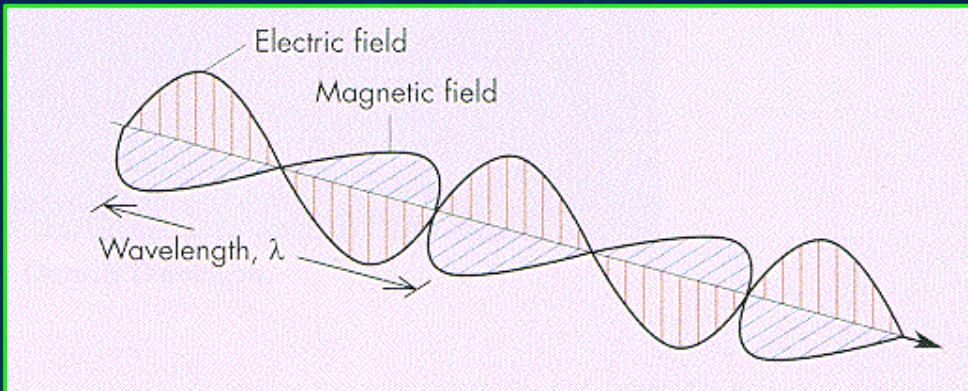
Força Eletromotriz (EMF)

- Em eletromagnetismo e eletrônica, a força eletromotriz é a ação elétrica produzida por uma fonte não elétrica.
- Dispositivos (conhecidos como transdutores) fornecem um EMF convertendo outras formas de energia em energia elétrica, como baterias (que convertem energia química) ou geradores (que convertem energia mecânica).
- Às vezes, uma analogia com a pressão da água é usada para descrever a força eletromotriz. (A palavra "força" neste caso não é usada para significar forças de interação entre corpos).

Radiação Eletromagnética

- A radiação eletromagnética é a energia propagada pelo espaço livre ou por um meio material na forma de ondas eletromagnéticas, como **ondas de rádio, luz visível e raios gama**. O termo também se refere à emissão e transmissão dessa energia radiante.
- O físico escocês James Clerk Maxwell foi o primeiro a prever a existência de ondas eletromagnéticas. Em 1864, ele apresentou sua teoria eletromagnética, propondo que a luz - incluindo várias outras formas de energia radiante - é um distúrbio eletromagnético na forma de ondas.
- Em 1887, Heinrich Hertz, um físico alemão, forneceu confirmação experimental ao produzir as primeiras ondas eletromagnéticas feitas pelo homem e ao investigar suas propriedades. Estudos subsequentes resultaram em uma compreensão mais ampla da natureza e origem da energia radiante.

Radiação Eletromagnética



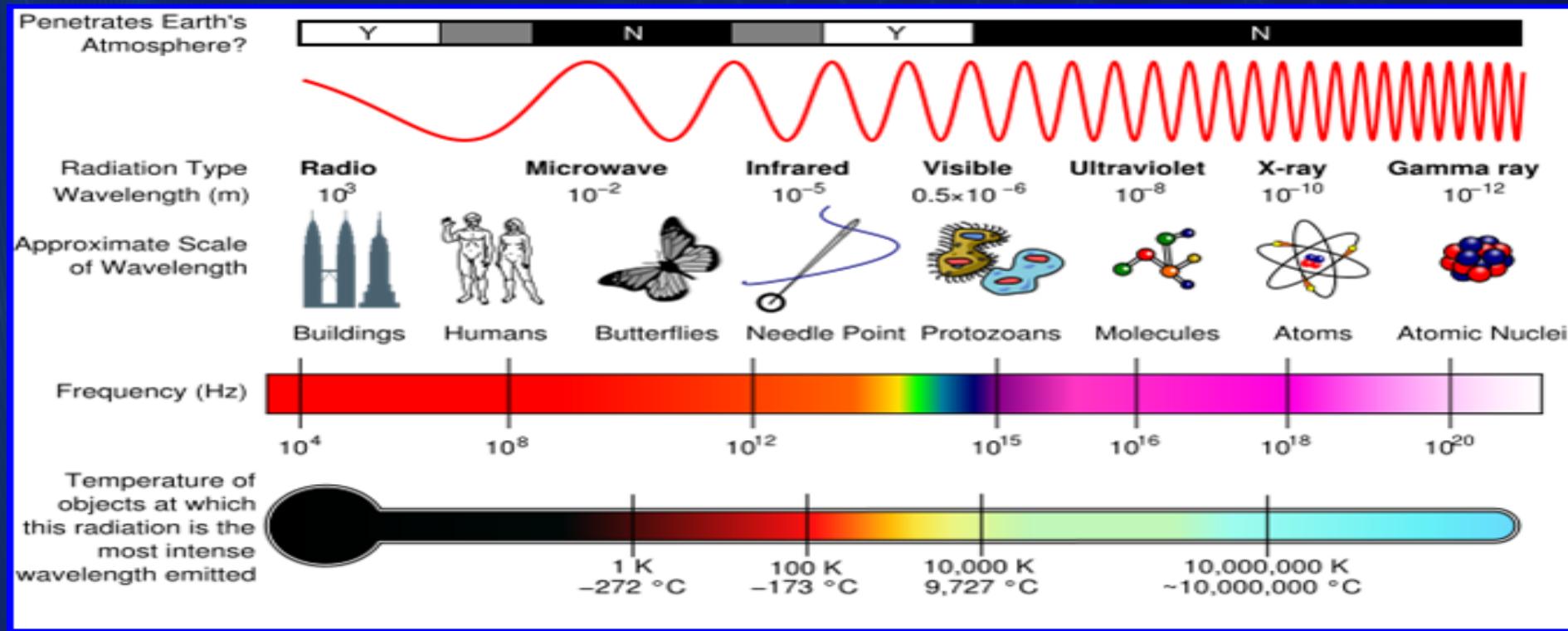
- Foi estabelecido que os campos elétricos variáveis no tempo podem induzir campos magnéticos e que os campos magnéticos variáveis no tempo podem induzir campos elétricos da mesma maneira. Como esses campos elétricos e magnéticos se geram, eles ocorrem juntos e, juntos, se propagam como ondas eletromagnéticas.
- Uma onda eletromagnética é uma onda transversal em que o campo elétrico e o campo magnético em qualquer ponto e tempo da onda são perpendiculares um ao outro, bem como à direção de propagação.
- No espaço livre (ou seja, um espaço que é absolutamente desprovido de matéria e que não sofre intrusão de outros campos ou forças), as ondas eletromagnéticas sempre se propagam com a mesma velocidade - a da luz (299.792.458 m por segundo, ou 186.282 milhas por segundo) - independente da velocidade do observador ou da fonte das ondas.

Radiação Eletromagnética

- A radiação eletromagnética tem propriedades em comum com outras formas de ondas, como reflexão, refração, difração e interferência.
- Além disso, pode ser caracterizado pela frequência com que varia ao longo do tempo ou pelo seu comprimento de onda.
- A radiação eletromagnética, no entanto, tem propriedades semelhantes às de partículas, além daquelas associadas ao movimento das ondas.
- É quantizada no sentido de que, para uma determinada frequência, sua energia ocorre como um **inteiro** vezes **h** , em que h é uma constante fundamental da natureza conhecida como **constante de Planck**.
- Um quantum de energia eletromagnética é chamado de **fóton**.
- A luz visível e outras formas de radiação eletromagnética podem ser consideradas como um fluxo de fótons, com a energia do fóton diretamente proporcional à frequência.

Espectro Eletromagnético

- A radiação eletromagnética abrange uma enorme faixa de frequências ou comprimentos de onda, como é mostrado pelo espectro eletromagnético.

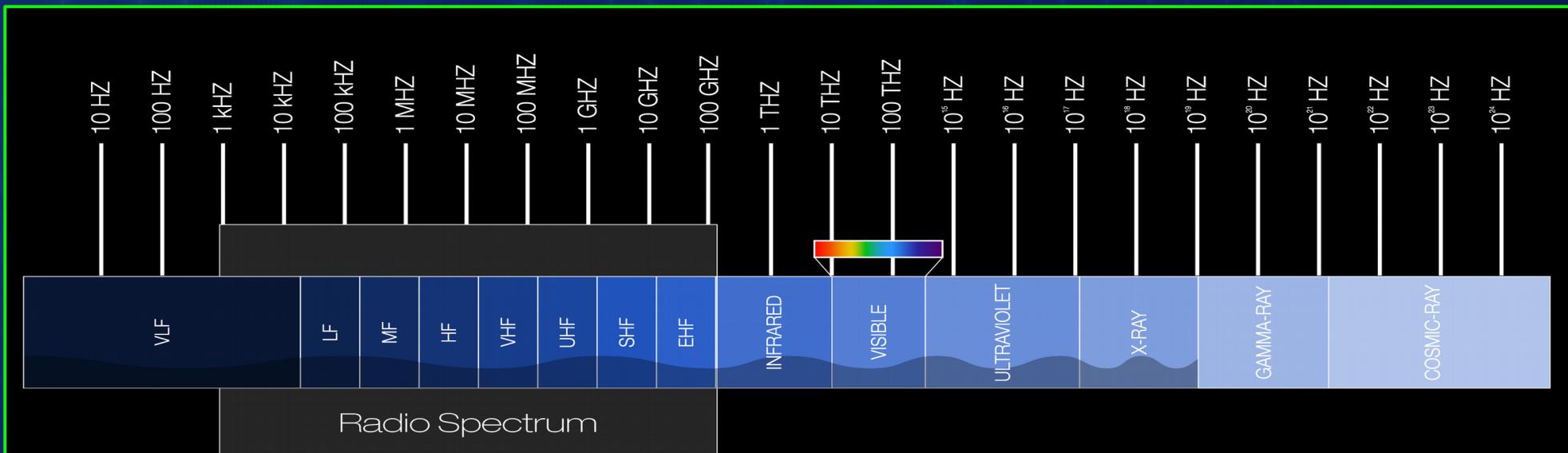


Espectro Eletromagnético

- A luz visível que vem de uma lâmpada em nossa casa e as ondas de rádio que vêm de uma estação de rádio são dois tipos de radiação eletromagnética. Os outros tipos de radiação EM que compõem o espectro eletromagnético são microondas, luz infravermelha, luz ultravioleta, raios X e raios gama.
- A radiação eletromagnética de diferentes frequências interage com a matéria de maneira diferente. O vácuo é o único meio perfeitamente transparente e todos os meios materiais absorvem fortemente algumas regiões do espectro eletromagnético. Por exemplo, o oxigênio molecular (O_2), o ozônio (O_3) e o nitrogênio molecular (N_2) na atmosfera da Terra são quase perfeitamente transparentes aos raios infravermelhos de todas as frequências, mas absorvem fortemente a luz ultravioleta, os raios X e os raios gama.
- Existem muitas fontes de radiação eletromagnética, naturais e artificiais. As ondas de rádio, por exemplo, são produzidas por objetos cósmicos como pulsares e quasares e por circuitos eletrônicos. As fontes de radiação ultravioleta incluem lâmpadas de vapor de mercúrio e luzes de alta intensidade, bem como o sol. Este último também gera raios X, assim como certos tipos de aceleradores de partículas e dispositivos eletrônicos.

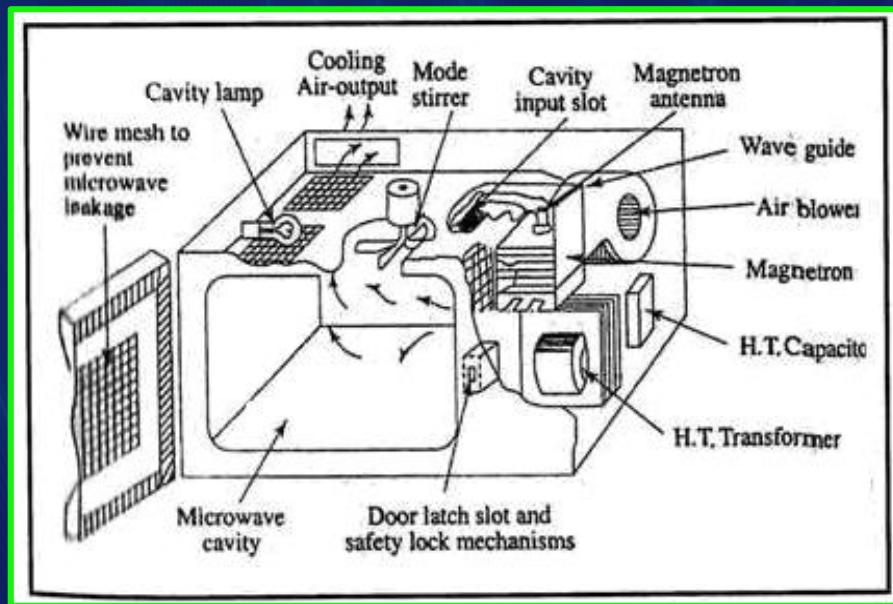
Rádio

- O rádio captura ondas de rádio emitidas por estações de rádio, trazendo nossas músicas favoritas. As ondas de rádio também são emitidas por estrelas e gases no espaço.



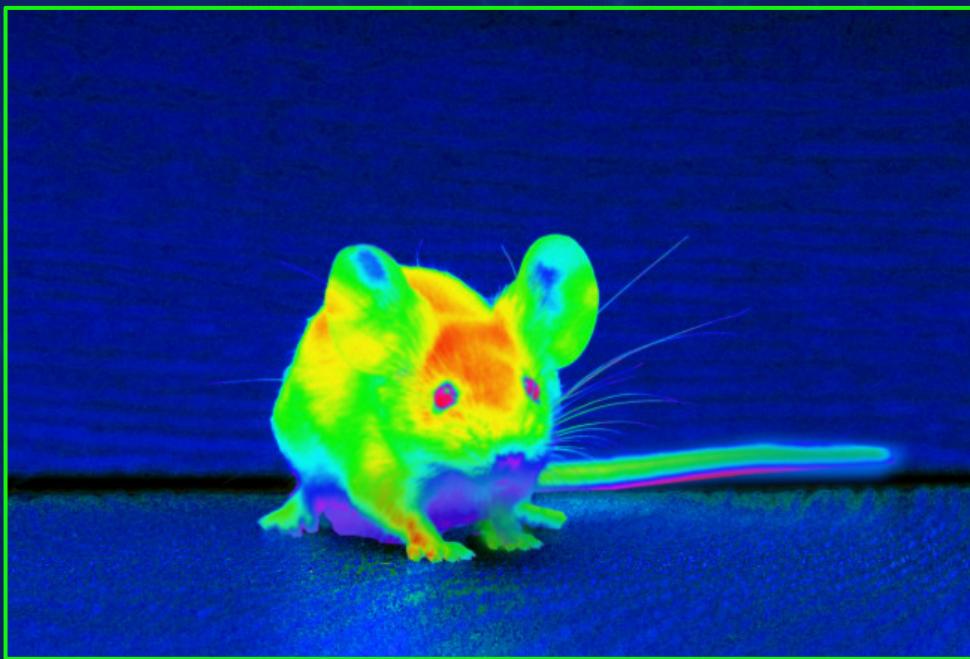
Microondas

- A radiação de microondas vai cozinhar nossa pipoca em apenas alguns minutos, mas também é usada por astrônomos para aprender sobre a estrutura de galáxias próximas.



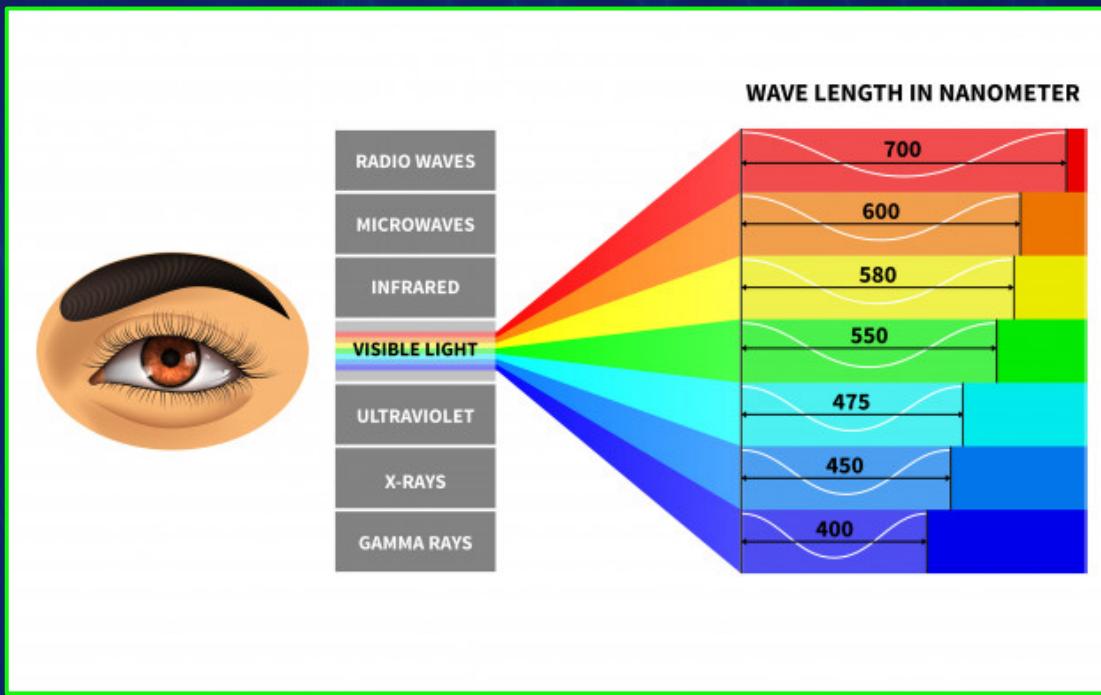
Infravermelho

- Óculos de visão noturna captam a luz infravermelha emitida por nossa pele e objetos com calor. No espaço, a luz infravermelha nos ajuda a mapear a poeira entre as estrelas.



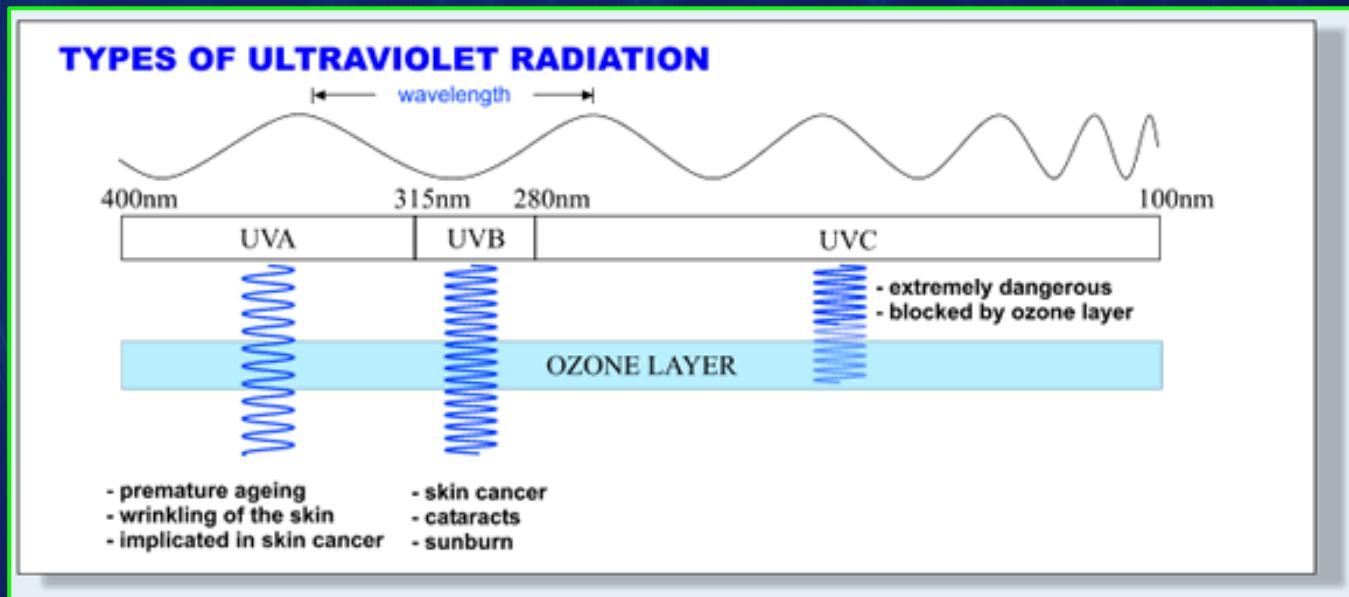
Luz Visível

- Nossos olhos detectam a luz visível. Vagalumes, lâmpadas e estrelas emitem luz visível.



Ultravioleta

- A radiação ultravioleta é emitida pelo Sol e é o motivo do bronzeamento e queimaduras da pele. Objetos "quentes" no espaço também emitem radiação UV.



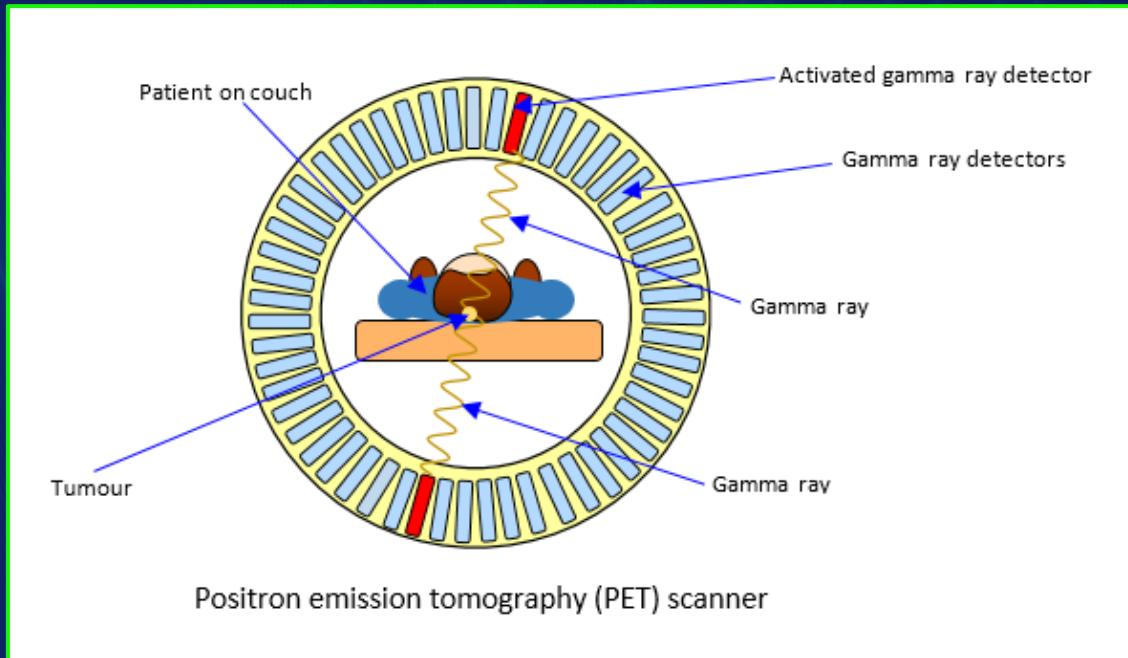
Raio X

- Um dentista usa raios-X para obter imagens de nossos dentes e a segurança do aeroporto os usa para ver através de nossa bolsa. Gases quentes no Universo também emitem raios-X.



Raio Gama

- Os médicos usam imagens de raios gama para ver o interior de nosso corpo. O maior gerador de raios gama de todos é o Universo.



Diferentes Ondas

- As ondas de rádio são objetos físicos completamente diferentes dos raios gama? Eles são produzidos em processos diferentes e detectados de maneiras diferentes, mas não são fundamentalmente diferentes.
- Ondas de rádio, raios gama, luz visível e todas as outras partes do espectro eletromagnético são radiação eletromagnética.
- A radiação eletromagnética pode ser descrita em termos de um fluxo de partículas sem massa, chamadas **fótons**, cada uma viajando em um padrão de onda à velocidade da luz.
- Cada fóton contém uma certa quantidade de energia. Os diferentes tipos de radiação são definidos pela quantidade de energia encontrada nos fótons.
- As ondas de rádio têm fótons com baixa energia, os fótons de micro-ondas têm um pouco mais de energia do que as ondas de rádio, os fótons infravermelhos têm ainda mais energia do que os ultravioleta, os raios X e, o mais energético de todos, os raios gama.

Medindo a Radiação Eletromagnética

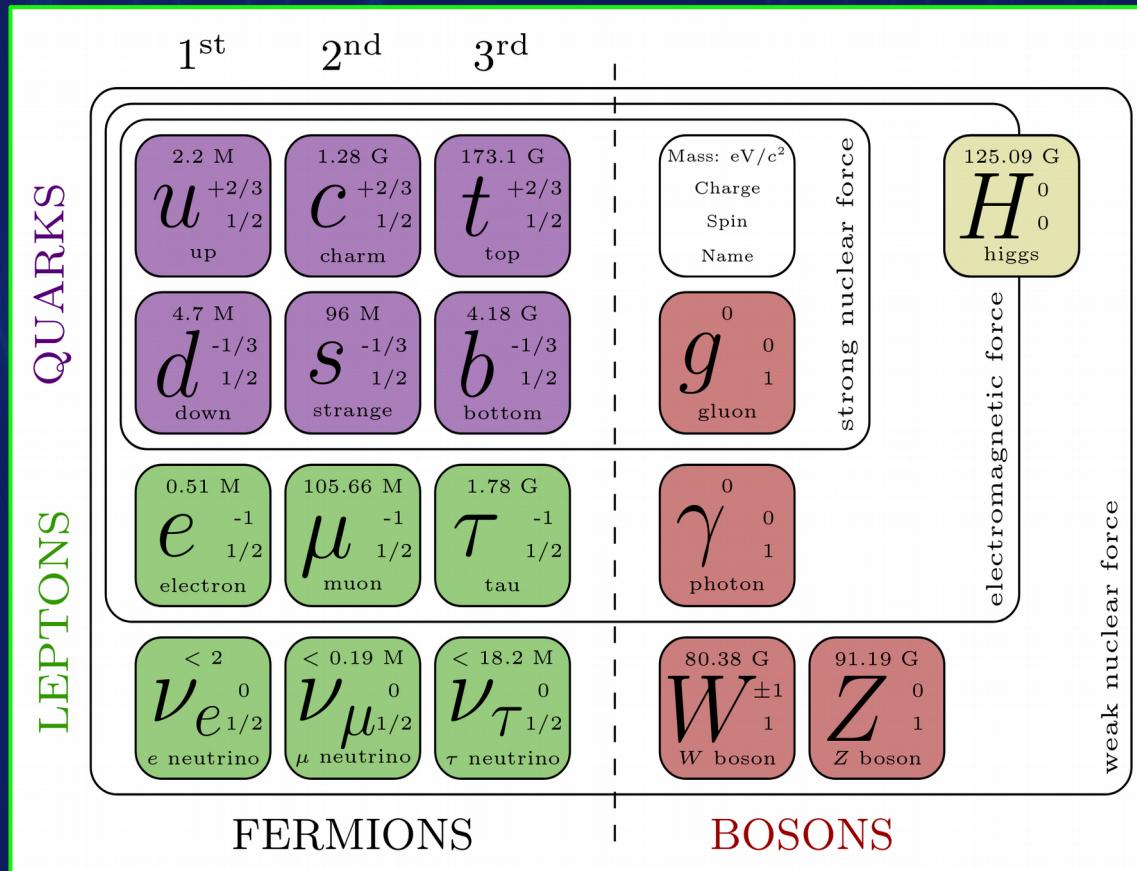
- A radiação eletromagnética pode ser expressa em termos de **energia**, **comprimento de onda** ou **frequência**.
- A frequência é medida em **ciclos por segundo**, ou **Hertz**.
- O comprimento de onda é medido em **metros**.
- A energia é medida em **elétron-volts**. Cada uma dessas três grandezas para descrever a radiação EM estão relacionadas entre si de uma maneira matemática precisa.

Fóton

- O fóton é um tipo de **partícula elementar**.
- É o quantum do campo eletromagnético, incluindo radiação eletromagnética, como luz e ondas de rádio, e o portador de força para a força eletromagnética.
- Os fótons não têm massa, então eles sempre se movem na velocidade da luz no vácuo.
- Como todas as partículas elementares, os fótons são atualmente mais bem explicados pela **mecânica quântica** e exibem **dualidade onda-partícula**, seu comportamento apresenta propriedades de ondas e partículas.

Partículas Elementares

- ▢ Uma partícula elementar ou partícula fundamental é uma partícula subatômica sem subestrutura, ou seja, não é composta de outras partículas.
 - ▢ No modelo padrão da física de partículas, os fótons e outras partículas elementares são descritos como uma consequência necessária das leis físicas com uma certa simetria em todos os pontos do espaço-tempo.
 - ▢ As propriedades intrínsecas das partículas, como carga, massa e spin, são determinadas por gauge symmetry.



Partículas Elementares

- Uma partícula contendo duas ou mais partículas elementares é chamada de partícula composta.
- Os constituintes subatômicos do átomo foram identificados pela primeira vez no início dos anos 1930; o **elétron** e o **próton**, junto com o **fóton**, a partícula de radiação eletromagnética.
- Naquela época, o recente advento da mecânica quântica estava alterando radicalmente a concepção de partículas, já que uma única partícula poderia aparentemente abranger um campo como faria uma onda.

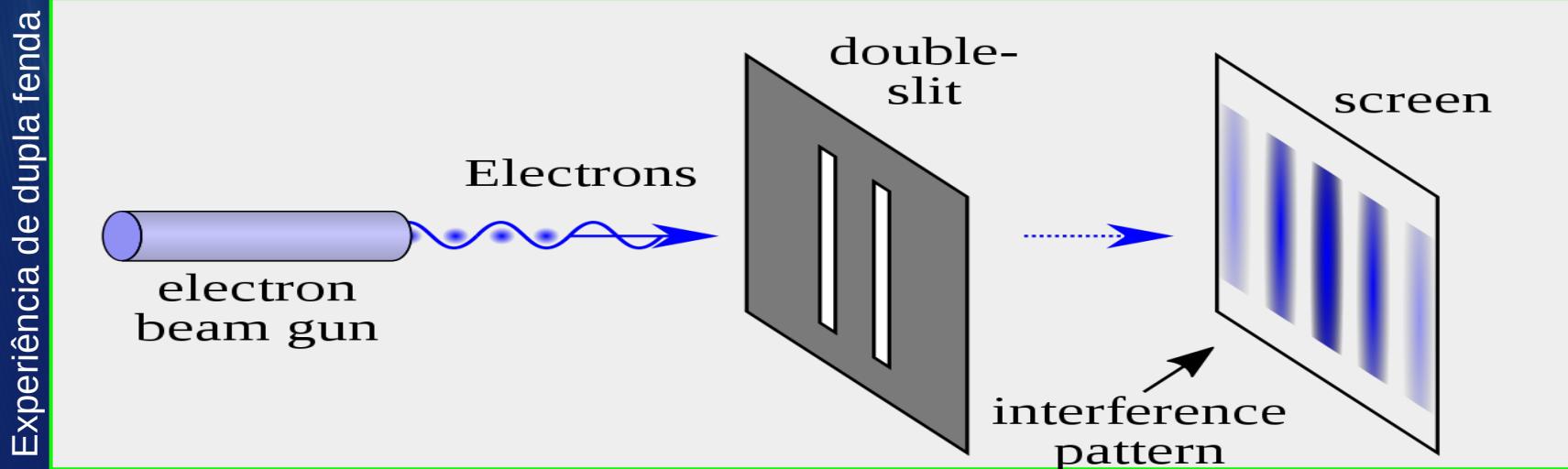
Dualidade Onda-Partícula

- Dualidade onda-partícula é o conceito na mecânica quântica de que cada partícula ou entidade quântica pode ser descrita como uma **partícula** ou uma **onda**.
- Expressa a incapacidade dos conceitos clássicos de "partícula" ou "onda" para descrever completamente o comportamento de objetos em escala quântica. Como Albert Einstein escreveu:

“Parece que devemos usar às vezes uma teoria e às vezes a outra, enquanto às vezes podemos usar qualquer uma. Estamos diante de um novo tipo de dificuldade. Temos duas imagens contraditórias da realidade; separadamente, nenhum deles explica completamente os fenômenos da luz, mas juntos eles o fazem.”

Dualidade Onda-Partícula

- Em 1923, Louis de Broglie, um físico francês, propôs uma hipótese para explicar a teoria da estrutura atômica. Usando uma série de substituições, de Broglie hipotetiza as partículas para conter as propriedades das ondas. Em poucos anos, a hipótese de de Broglie foi testada por cientistas atirando elétrons e raios de luz através de fendas. O que os cientistas descobriram foi que o fluxo de elétrons agia da mesma forma que a luz, provando que de Broglie estava correto.

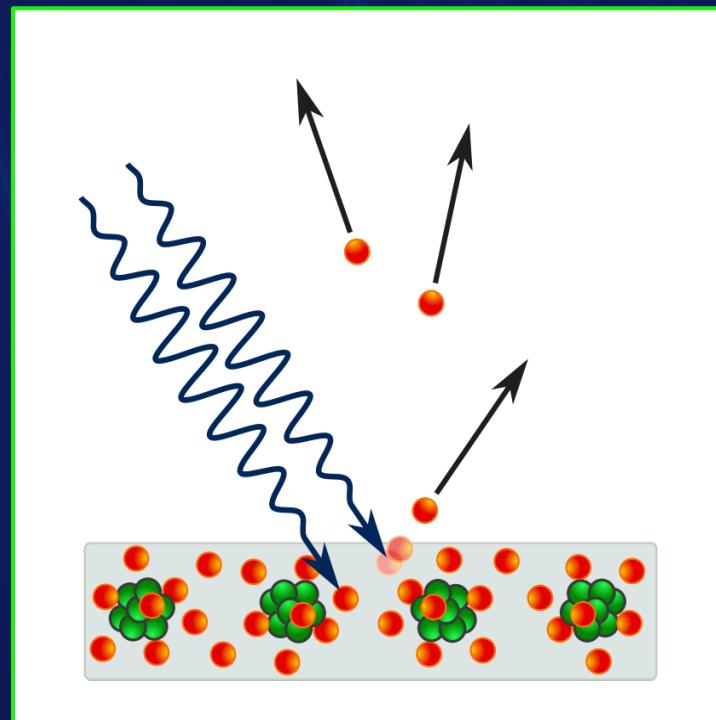


Experimento de Dupla Fenda

- Na física moderna, o experimento da fenda dupla é uma demonstração de que a luz e a matéria podem exibir características tanto de ondas quanto de partículas classicamente definidas; além disso, ele exibe a natureza fundamentalmente probabilística dos fenômenos da mecânica quântica.
- Este tipo de experimento foi realizado pela primeira vez, usando luz, por Thomas Young em 1801, como uma demonstração do comportamento ondulatório da luz.
- O experimento de Young, realizado no início de 1800, desempenhou um papel vital na aceitação da teoria ondulatória da luz, vencendo a teoria corpuscular da luz proposta por Isaac Newton, que havia sido o modelo aceito de propagação da luz nos séculos XVII e XVIII.
- No entanto, a descoberta posterior do **efeito fotoelétrico** demonstrou que, em diferentes circunstâncias, a luz pode se comportar como se fosse composta de partículas discretas. Essas descobertas aparentemente contraditórias tornaram necessário ir além da física clássica e levar em consideração a natureza quântica da luz.

Efeito Fotoelétrico

- O efeito fotoelétrico é a emissão de elétrons quando a radiação eletromagnética, como a luz, atinge um material.
- Os elétrons emitidos dessa maneira são chamados de fotoelétrons.
- O fenômeno é estudado em física da matéria condensada, estado sólido e química quântica para fazer inferências sobre as propriedades dos átomos, moléculas e sólidos.
- O efeito encontrou uso em dispositivos eletrônicos especializados para detecção de luz e emissão de elétrons precisamente cronometrada.



A emissão de elétrons de uma placa de metal causada por quanta de luz - fótons.

Unidades Eletromagnéticas

- As unidades eletromagnéticas são parte de um sistema de unidades elétricas baseado principalmente nas propriedades magnéticas das correntes elétricas, sendo a unidade SI fundamental o ampere. As unidades são:
 - Ampere (corrente elétrica)
 - Coulomb (carga elétrica)
 - Farad (capacitância)
 - Henry (indutância)
 - Ohm (resistência)
 - Siemens (condutância)
 - Tesla (densidade do fluxo magnético)
 - Volt (potencial elétrico)
 - Watt (potência)
 - Weber (fluxo magnético)

Referências

- http://abyss.uoregon.edu/~js/glossary/electromagnetic_radiation.html
- <https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetism>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Magnetic_field
- https://en.wikipedia.org/wiki/Electromotive_force
- <https://nationalmaglab.org/education/magnet-academy/watch-play/interactive/electromagnetic-induction>
- <https://photonterrace.net/en/photon/duality/>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Double-slit_experiment
- <https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/emspectrum1.html>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Photoelectric_effect
- <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/magfie.html#c1>
- <https://www.arpansa.gov.au/understanding-radiation/what-is-radiation/non-ionising-radiation/ultraviolet-radiation>
- <https://www.schoolphysics.co.uk/age16-19/Medical%20physics/text/PET%20scans/index.html>