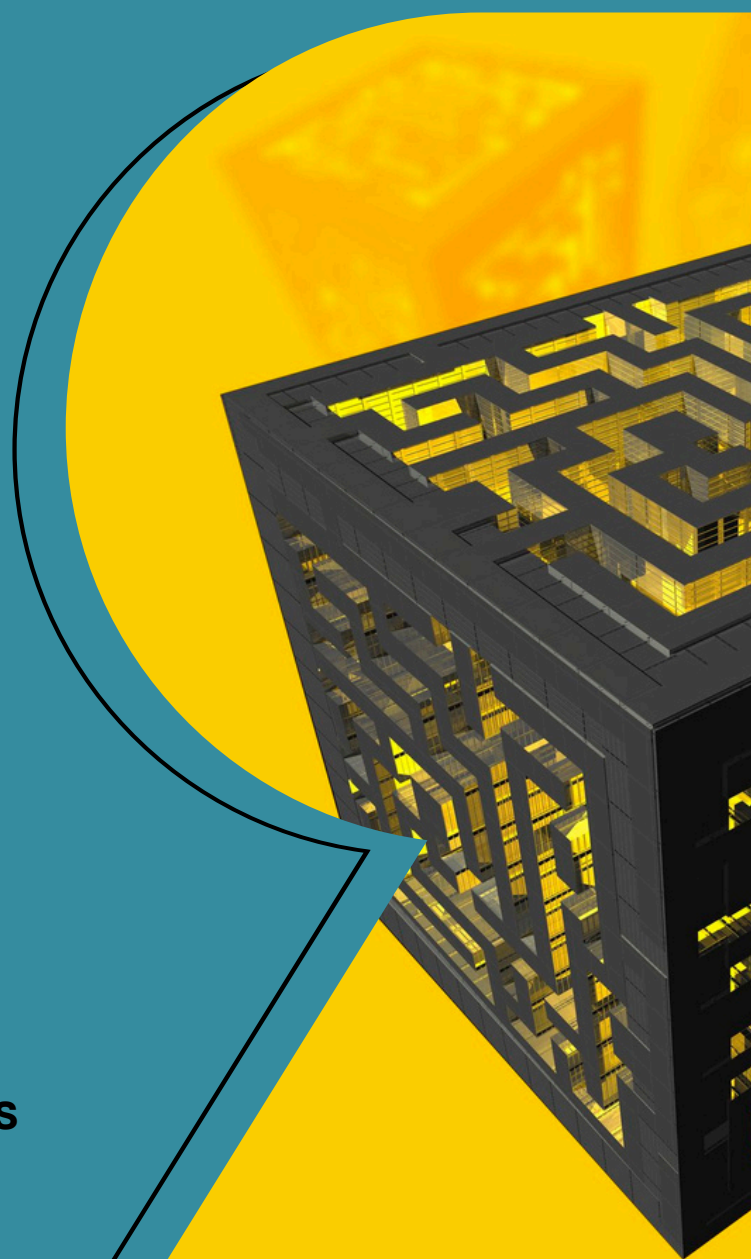


Desvendando o Universo Quântico



Uma jornada pela Física do
infinitamente pequeno



GABRIEL ADRIANO DE JESUS REIS
RAFAELLE DA SILVA SOUZA

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO SISTEMA DE BIBLIOTECAS DO IFBA, COM OS
DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

R375d Reis, Gabriel Adriano de Jesus

Desvendando o universo quântico: uma jornada pela física do infinitamente pequeno / Gabriel Adriano de Jesus Reis; Rafaelle da Silva Souza; -- Salvador, 2023.

89 p.

ISBN: 978-65-00-80019-7.

1. Física quântica. I. Souza, Rafaelle da Silva,
II. TÍTULO.

CDU 530.145

Sumário

01 Sobre nós

Um pouquinho de quem construiu esse material!

02 Introdução

Além da Lógica Clássica: Uma Introdução à Física Quântica para Leigos.

06 Conceitos

Conceitos fundamentais das forças, partículas e interações que regem o mundo da Física Quântica.

36 Experiências

Experiências importantes que contribuíram para a confirmação dos princípios da Física Quântica.

54 Aplicações

Conhecendo a Física Quântica no mundo real.



SOBRE NÓS

O ensino da Física Quântica é desafiador devido à sua complexidade e abstração. Abordagens pedagógicas que enfatizam a compreensão conceitual e fornecem exemplos concretos são essenciais para superar alguns desses desafios. Este livro busca desvendar o universo quântico, tornando-o mais acessível e estimulante, apresentando conceitos fundamentais e atualidades deste campo.

Prepare-se para uma jornada fascinante pelo mundo do infinitamente pequeno.

RAFAELLE SOUZA

Professora de Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA). Doutora em Ensino de Física. Coordenadora do projeto de Iniciação Científica no Ensino Médio para Divulgação Científica da Física Quântica. Essa é a minha cachaça!

GABRIEL REIS

Estudante do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA) em Automação Industrial. Apaixonado por Comunicação e maneiras de informar pessoas. É bolsista de Iniciação Científica no Ensino Médio para Divulgação Científica da Física Quântica.



ESTÁ PERDENDO A CABEÇA TENTANDO ENTENDER
FÍSICA QUÂNTICA? VAMOS POR PARTES.

1 Introdução



A história da Física Quântica é longa e repleta de contribuições de homens e mulheres da ciência. Entre os vários participantes, destaca-se Max Planck que estava a estudar o espectro de radiação de um corpo negro. Seus estudos o levou a admitir que a luz era formada por partículas de energia em quantidades particionadas e relacionadas a um valor constante muito pequeno, conhecida como a “constante de Planck”.

A luz, que já era muito conhecida como um fenômeno puramente ondulatório, passou a ser explicada, também, de forma corpuscular, formada por pequenas partículas. A hipótese de Planck, que levou algum tempo para ser aceita, contribuiu para que Albert Einstein, em 1905, explicasse um outro fenômeno conhecido como efeito fotoelétrico. A luz era, portanto, formada por pequenas partículas.

Nesse período, outros experimentos adequaram-se à hipótese quântica, como a explicação de valores quantizados para o átomo de hidrogênio. Para completar, a complexidade, De Broglie propôs que, se a luz que pensávamos ser uma onda poderia ser uma partícula, o oposto poderia também funcionar. Sugeriu, então, que partículas conhecidas como elétrons pudessem ter um valor oscilatório associado, isto é, uma frequência, característica intrinsecamente ondulatória.

O comportamento ondulatório foi verificado por meio do experimento da fenda dupla de Young no caso da luz e por meio de experimentos de difração de partículas, como elétrons, mostrando que essas partículas também se comportam como ondas. Isso estabeleceu a dualidade onda-partícula a partir da complementaridade de Bohr, e se aplicaria a toda a matéria, não apenas à luz.

No caso do experimento da fenda dupla, se a luz consistisse estritamente de partículas clássicas, e essas partículas fossem disparadas através de duas fendas e deixadas atingir um anteparo, esperaríamos ver um padrão correspondente ao tamanho e forma das fendas. No entanto, ao iluminar duas fendas paralelas, a luz sofre interferência e forma um padrão com franjas claras e escuras alternadas. Quando Thomas Young observou pela primeira vez esse fenômeno, demonstrou o comportamento ondulatório da luz, pois a distribuição das franjas pode ser explicada pela interferência alternadamente aditiva e subtrativa de frentes de onda.

Já no caso do experimento da difração de elétrons, este provou a hipótese de De Broglie para os elétrons e foi realizado independentemente por George Paget Thomson e Clinton Joseph Davisson. Estes cientistas estudavam sobre a reflexão de elétrons num alvo de níquel e, ao aquecer este alvo, acabaram por cristalizá-lo. Como um cristal é a disposição regular de átomos, os próprios espaços inter-atômicos serviram como uma rede de difração para os elétrons, o que criou um padrão de difração e provou o comportamento ondulatório destas partículas.

Conclui-se, portanto, que o desenvolvimento científico e tecnológico que vivenciamos nos dias de hoje é fruto de um longo processo de construção do conhecimento. Vale destacar que ao longo de 100 anos, a Física Quântica avançou em várias frentes tecnológicas e trouxe contribuições reais, como é o caso de transistores, chips, TVs e celulares, que só foram possíveis graças ao estudo do movimento das partículas elementares.

Culturalmente, a Física Quântica ou, simplesmente, a palavra “quântica (o)”, popularizou-se, tornando-se presente nos

contextos sociais com grande influência em aspectos diversificados da cultura contemporânea, sobretudo em produtos, serviços e na ficção científica, que utilizam o termo de modo questionável.

O problema é que essa popularidade tem sido usada de forma equivocada pelos pseudocientistas. A exemplo, o supracitado experimento de Young é tão famoso que é utilizado constantemente na atualidade, de forma completamente descontextualizada, para justificar a maioria das pseudociências que buscam credibilidade se embasando na Física Quântica.

Para além disso, são incontáveis as fontes que descrevem fenômenos e objetos envolvendo o termo quântico, abrangendo áreas como a psicologia, a economia e a saúde, em contextos totalmente às margens da produção acadêmica dessa área, sendo notável o fenômeno da disseminação e uso indevido dos conceitos da Física Quântica. Tratam-se de representações sociais do conhecimento científico, uma apropriação cultural. Um dos problemas é o uso indevido e, principalmente, as tentativas de explorar a crença da população, fazendo-a acreditar em práticas pseudocientíficas.

Esse contexto nos levou a pensar em formas de tornar os conteúdos da Física Quântica mais acessíveis, de modo que qualquer leitor consiga compreender, mesmo que superficialmente, a natureza a nível atômico, bem como as aplicações e avanços em diversos contextos da eletrônica moderna.

Ressalta-se que este trabalho não esgota o tema, mas busca contribuir com aqueles interessados na temática.

CONHEÇA UM POUCO DOS
PRINCIPAIS CONCEITOS QUÂNTICOS!

2

Conceitos



Linha do Tempo

Alguns dos marcos históricos da Física Quântica

1900

CONSTANTE DE PLANCK

$$E = hf$$

E = Energia emitida pelo fóton

$h = 6,62607015 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$

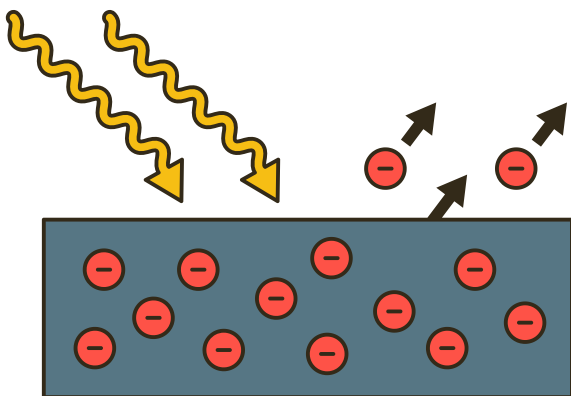
f = Frequência de onda

A **constante de Planck** estabelece uma relação direta entre a energia de um fóton (um “pacote” de luz ou outra radiação eletromagnética) e a sua frequência.



1905

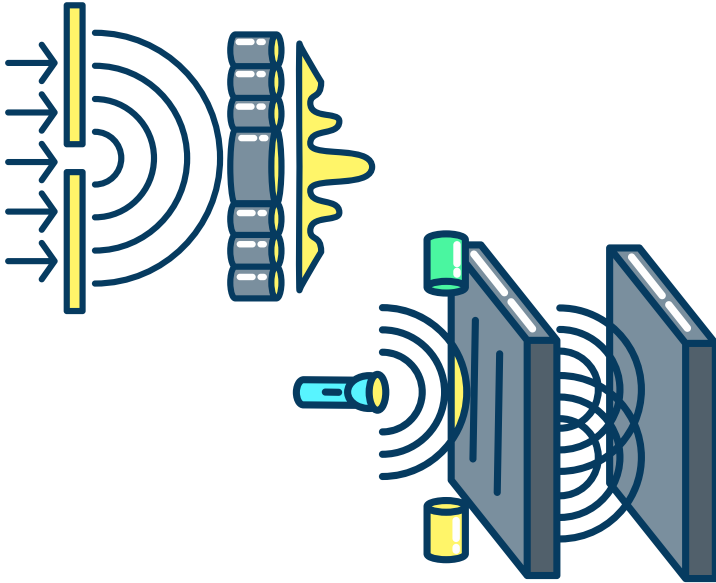
EFEITO FOTOELÉTRICO



O **efeito fotoelétrico** foi consequência da constante de Planck, através da qual foi possível entender que determinadas faixas do espectro da luz teriam energia para expulsar elétrons de superfícies metálicas.

1924

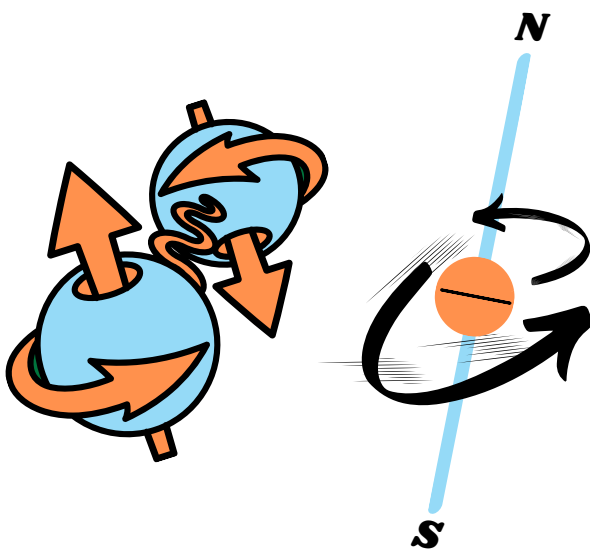
DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA



A **dualidade onda-partícula** passa a ser a explicação para o comportamento dual da luz para diferentes tipos de experimentos, o que determina os parâmetros para as medições de cada situação.

1925

SPIN DO ELÉTRON



O **spin do elétron** é uma propriedade puramente quântica. É uma característica que não tem um equivalente exato no nosso senso comum de rotação, como a rotação de uma bola de basquete, mas é um conceito crucial na física quântica. O que permite entender melhor as interações da matéria e o "porquê" delas.

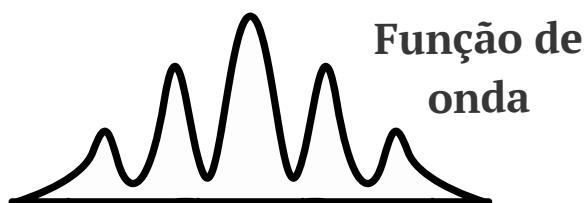
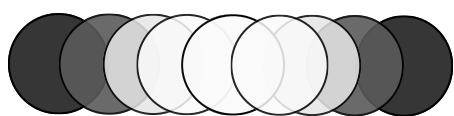


1926

EQUAÇÃO DE ONDA DE SCHRÖDINGER

$$E\psi = \hat{H}\psi$$

Partícula

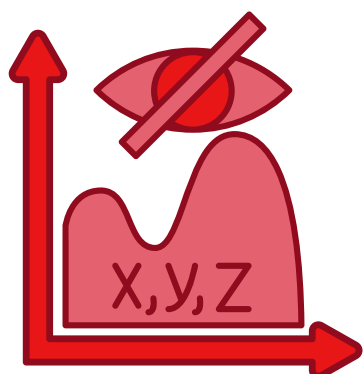


A **equação de Schrödinger** é fundamental na física quântica. Descreve a evolução temporal dos sistemas quânticos, como partículas subatômicas, átomos e moléculas. A equação foi formulada pelo físico austríaco Erwin Schrödinger em 1925 e sua solução fornece a função de onda, que contém informações sobre a probabilidade de encontrar uma partícula em diferentes posições e estados de energia.

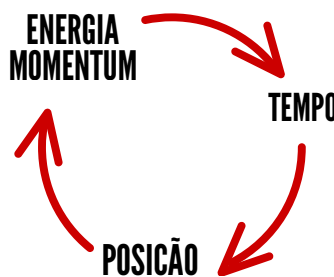
1927

PRINCÍPIO DA INCERTEZA DE HEISENBERG

$$\Delta p \Delta q = h / (2\pi i)$$



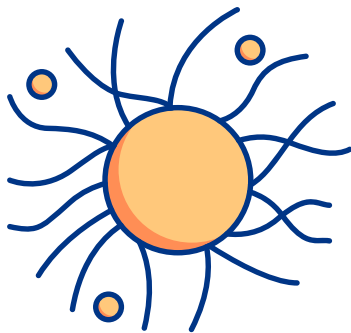
O **Princípio da Incerteza** redefine nossa compreensão da natureza e tem implicações tecnológicas significativas. Ele desempenhou um papel crítico na transformação da física e continua a ser uma das ideias mais importantes e intrigantes da ciência moderna.



2012

COMPROVAÇÃO DO BÓSON DE HIGGS

$$M_h = \sqrt{\lambda v}$$



O **Bóson de Higgs** é uma partícula subatômica cuja descoberta foi anunciada em 2012 no Grande Colisor de Hádrons (LHC), localizado no CERN (Organização Europeia para Pesquisa Nuclear) em Genebra, Suíça. Sua relevância está na explicação da origem da massa de todas as outras partículas subatômicas.

2013

MODELO PADRÃO

	I	II	III		
QUARKS	I $\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$ $2/3$ $1/2$ u up	II $\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$ $2/3$ $1/2$ c charm	III $\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$ $2/3$ $1/2$ t top	0 0 1 g glúon	$\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$ 0 0 H higgs
	$\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$ $-1/3$ $1/2$ d down	$\approx 96 \text{ MeV}/c^2$ $-1/3$ $1/2$ s strange	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$ $-1/3$ $1/2$ b bottom	0 0 1 γ fóton	
LÉPTONS	$\approx 0.511 \text{ MeV}/c^2$ -1 $1/2$ e elétron	$\approx 105.66 \text{ MeV}/c^2$ -1 $1/2$ μ múon	$\approx 1.7768 \text{ GeV}/c^2$ -1 $1/2$ τ tau	$\approx 91.19 \text{ GeV}/c^2$ 0 1 Z bóson Z	BÓSON DE CALIBRE
	$< 2.2 \text{ eV}/c^2$ 0 $1/2$ ν_e neutrino do elétron	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$ 0 $1/2$ ν_μ neutrino do múon	$< 15.5 \text{ eV}/c^2$ 0 $1/2$ ν_τ neutrino do tau	$\approx 80.39 \text{ GeV}/c^2$ ± 1 1 W bóson W	

O **Modelo Padrão** de partículas é uma tentativa de reunir as partículas que fundamentam toda matéria do universo, sendo composto de 17 partículas e suas antipartículas. Marca-se sua homologação em 2013, após a confirmação do Bóson de Higgs em 2012.

2023

ONDE ESTAMOS?



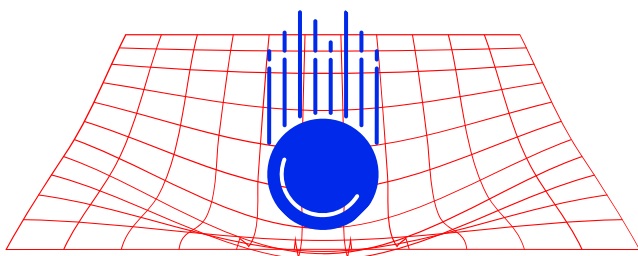
Levitação magnética



Charlatanismo

] 2023; ∞ + [

PARA ONDE VAMOS?



Representação
da partícula do
gráviton.

Atualmente, a Física Quântica já conta com diversas tecnologias produzidas a partir de suas teorias. No entanto, lida com processos como o do Charlatanismo que se relaciona as crenças infundadas sobre teorias quânticas que acabam sendo utilizadas de má fé. Por outro lado, já contamos com trens de levitação magnética até computadores quânticos!

Atualmente, a discussão mais relevante sobre a Física Quântica é a busca pela partícula teórica chamada de **Gráviton**, que explicaria a transmissão da força gravitacional, que é uma das quatro forças fundamentais do universo.

CERTA VEZ, RICHARD FEYNMAN DISSE:

O Prêmio Nobel (e piadista) está certo. A Física Quântica é uma teoria muito complexa e difícil de entender.

Vamos começar pelo básico: A Física Quântica é o ramo da física que descreve o comportamento das partículas subatômicas e sistemas em escalas muito pequenas, baseando-se em princípios como a quantização de energia, a dualidade onda-partícula e a probabilidade, desafiando nossas intuições clássicas sobre o mundo físico.

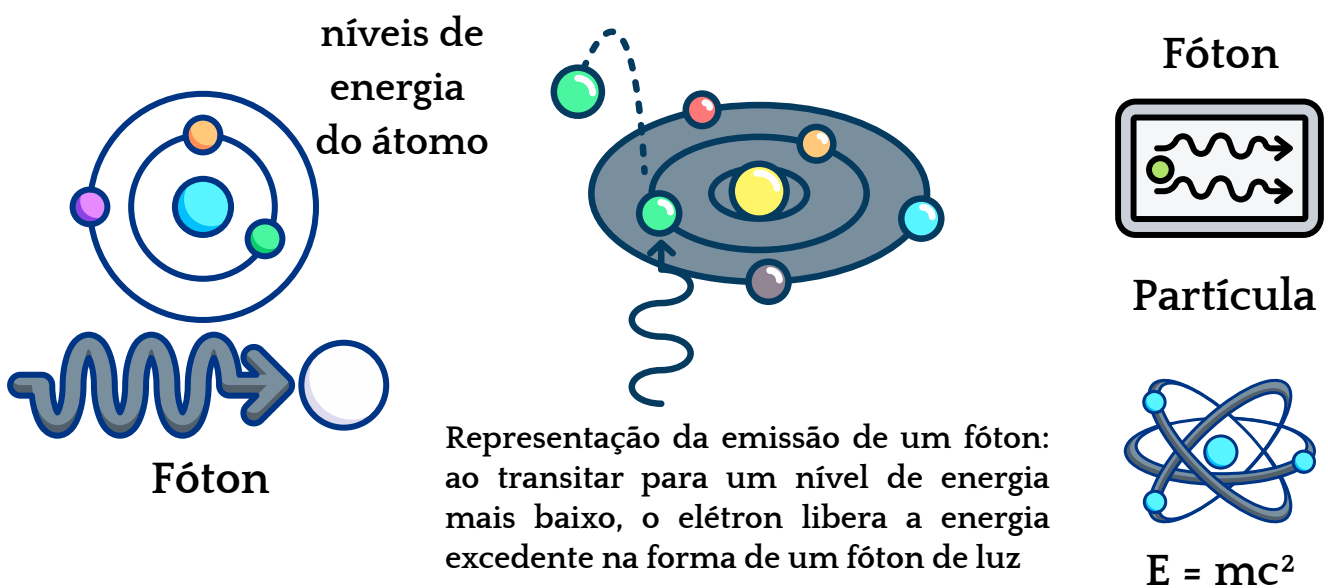
"Se você acha que entendeu a Física Quântica, é porque você não entendeu."



Você já se perguntou,

O que é uma partícula?

Um elétron pode liberar um fóton quando faz uma transição de um estado de energia superior para um estado de energia inferior em um átomo ou em outro sistema quântico. Isso ocorre de acordo com as regras da mecânica quântica e é um processo fundamental na emissão de luz e na formação de espectros.



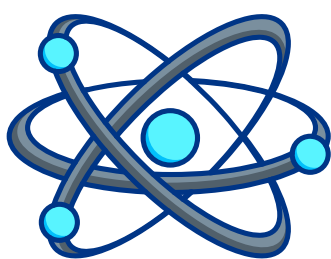
O fóton emitido tem uma energia que corresponde à diferença entre os níveis de energia do elétron antes e depois da transição. A frequência da luz (e, portanto, a cor) do fóton emitido está relacionada a essa energia através da relação $E=hf$.

Esse processo de absorção e emissão de fótons é a base da óptica e da espectroscopia, permitindo-nos entender como a luz é emitida por átomos, moléculas e outros sistemas quânticos, contribuindo para uma ampla gama de aplicações, desde a iluminação até a análise química.

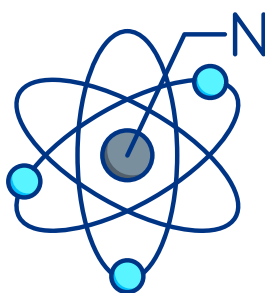
Percebe-se a importância das partículas para a Física, mas ainda não esclarece: o que é uma partícula?

A explicação anterior descreve como um elétron emite um fóton quando faz uma transição de energia em um sistema atômico, mas não aborda diretamente o que é uma partícula. **Vamos esclarecer isso:**

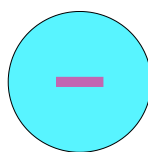
Nós aprendemos na escola que a matéria é feita de átomos e átomos são compostos por ingredientes menores: prótons, nêutrons e elétrons. Prótons e nêutrons são feitos de quarks, mas os elétrons não. Até onde sabemos, quarks e elétrons são partículas fundamentais, isto é, não são formadas por nada menor.



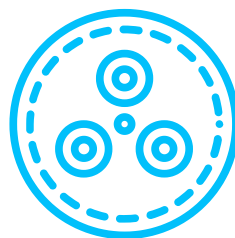
Átomo
 $\approx 10^{-8}\text{cm}$



Núcleo
 $\approx 10^{-12}\text{cm}$



Elétron
 $< 10^{-16}\text{cm}$



Próton
 $\approx 10^{-13}\text{cm}$



Quark
 $< 10^{-16}\text{cm}$

Uma partícula, no contexto da física de partículas, é uma entidade física que é considerada fundamental ou elementar, o que significa que ela não é composta por partes menores. As partículas podem ser átomos, elétrons, prótons, nêutrons, quarks e outras partículas subatômicas. A física de partículas estuda essas partículas e suas interações.

Em termos gerais, uma partícula é uma entidade que possui características como massa, carga elétrica, spin (rotação intrínseca), momento linear, etc. Essas características são propriedades fundamentais das partículas e podem variar dependendo do tipo de partícula.

Por exemplo, um elétron é uma partícula que possui carga elétrica negativa e um valor específico de spin, enquanto um fóton é uma partícula que não tem massa, não tem carga elétrica e possui spin igual a 1. Ainda, todas as partículas de um determinado tipo são precisamente idênticas as outras. Ou seja, dois elétrons quaisquer produzirão o mesmo resultado em um detector, e é isso que as tornam fundamentais.

Essa não é toda a história. Podemos contar partículas, mas elas podem ser criadas e destruídas, e também podem mudar de tipo ou categoria em circunstâncias específicas.

É importante ressaltar que, de acordo com a teoria quântica, as partículas podem também exibir características de dualidade onda-partícula, o que significa que elas podem exibir comportamentos de partículas e ondas em diferentes circunstâncias. **Isso é uma das características mais intrigantes da física quântica.**

Voltando aos fótons: Se você está lendo este texto em uma tela ou páginas impressas, fluxos de fótons estão levando as imagens das palavras aos seus olhos.



A Física quântica surge com Bohr, Planck, Einstein, Schrödinger, Heisenberg e tantos outros tentando entender a natureza das partículas.

Você também vai conseguir! Para começar, abaixo trazemos um texto para estimular o "pensamento quântico".

Ondas são a melhor metáfora para entender o que são partículas e campos. **Elétrons**, além de serem partículas, também são ondas no seu próprio campo eletrônico, ou de elétrons se preferir.

Quarks são ondas no campo de quarks (e já que existem 6 tipos de quarks, existem 6 tipos de campos de quarks) e por aí vai.

Fótons são como ondas no mar; podem ser grandes ou pequenos, violentos ou quase imperceptíveis. Os campos que descrevem as partículas materiais são mais semelhantes à ondulações em uma guitarra. Se você não tocar a corda forte o suficiente, você não obtém som nenhum. Similarmente, você precisa pelo menos da energia correspondente à massa de um **elétron** para criar um campo. Portanto, com energia suficiente você ouve a primeira harmonia, que é um acorde (em relação à música) ou um elétron (em relação aos campos).

Como resultado desse pensamento quântico, imaginar as partículas como sendo pequenas bolas pode acabar frequentemente sendo de pouca ou nenhuma ajuda. E claro, nós ainda estamos perguntando: se as partículas vêm dos campos, esses campos são objetos fundamentais, ou há neles uma física mais profunda? Até uma teoria surgir com algo melhor, essa descrição particular de força e matéria é algo com qual podemos contar.

Entendendo o

Modelo Padrão e as partículas fundamentais

1

Detalhes importantes

Semelhante a Tabela Periódica os elementos químicos são distribuídos em colunas (chamadas de “famílias”), no Modelo Padrão acontece a mesma divisão.



As partículas fundamentais são divididas em colunas, chamadas de “gerações”, indicadas pelos números romanos I, II e III.

A única diferença entre as gerações é a sua massa, sendo as partículas de geração I as mais leves enquanto as de geração III são as mais pesadas.



As partículas que compõe a matéria são de geração I. As partículas de geração II e III decaem rapidamente e só são obtidas por laboratório em aceleradores de partículas ou existem em ambientes altamente energéticos como raios cósmicos.

2

As quatro forças fundamentais da natureza:

A **força gravitacional** age sobre todas as partículas e tem alcance infinito, mas seu efeito é tão pequeno que não é preciso levá-lo em conta no estudo das partículas subatômicas (ao menos não até encontrarmos uma solução para a gravitação quântica);

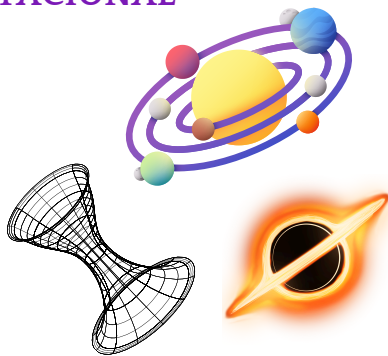
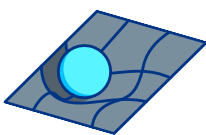
A **força eletromagnética** também tem alcance infinito e é a que atua sobre todas as partículas que possuem carga elétrica;

A **força nuclear fraca** é limitada a escala atômica e está envolvida no decaimento radioativo e processos semelhantes, e se integra com o eletromagnetismo na chamada força eletrofraca;

A **força nuclear forte** tem curto alcance, porém é a mais intensa de todas as forças. Essa força mantém unidos os prótons e nêutrons para formar os núcleos dos átomos.

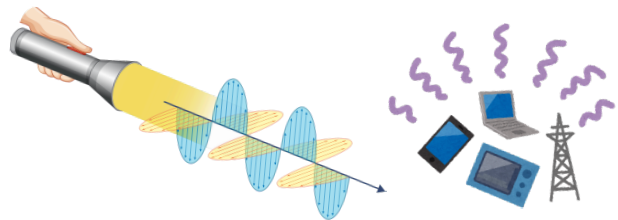
FORÇA GRAVITACIONAL

Graviton?

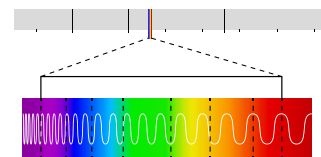


Sistema solar
Galáxias
Buracos Negros

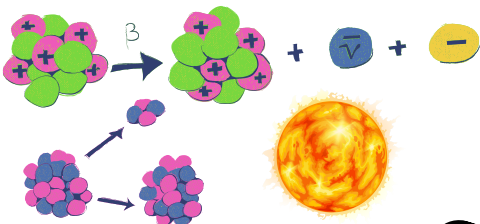
ELETROMAGNÉTICA



Átomos
Luz
Química
Eletrônica



FORÇA FRACA

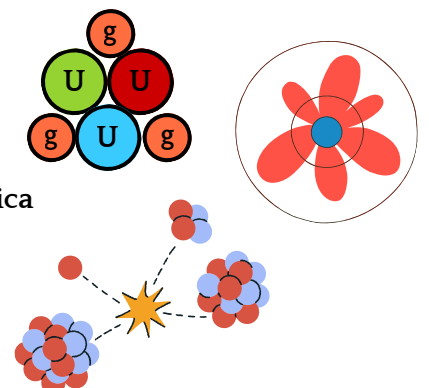


Decaimento do nêutron
Radioatividade Beta
Interações Neutrinas
Queimação do Sol

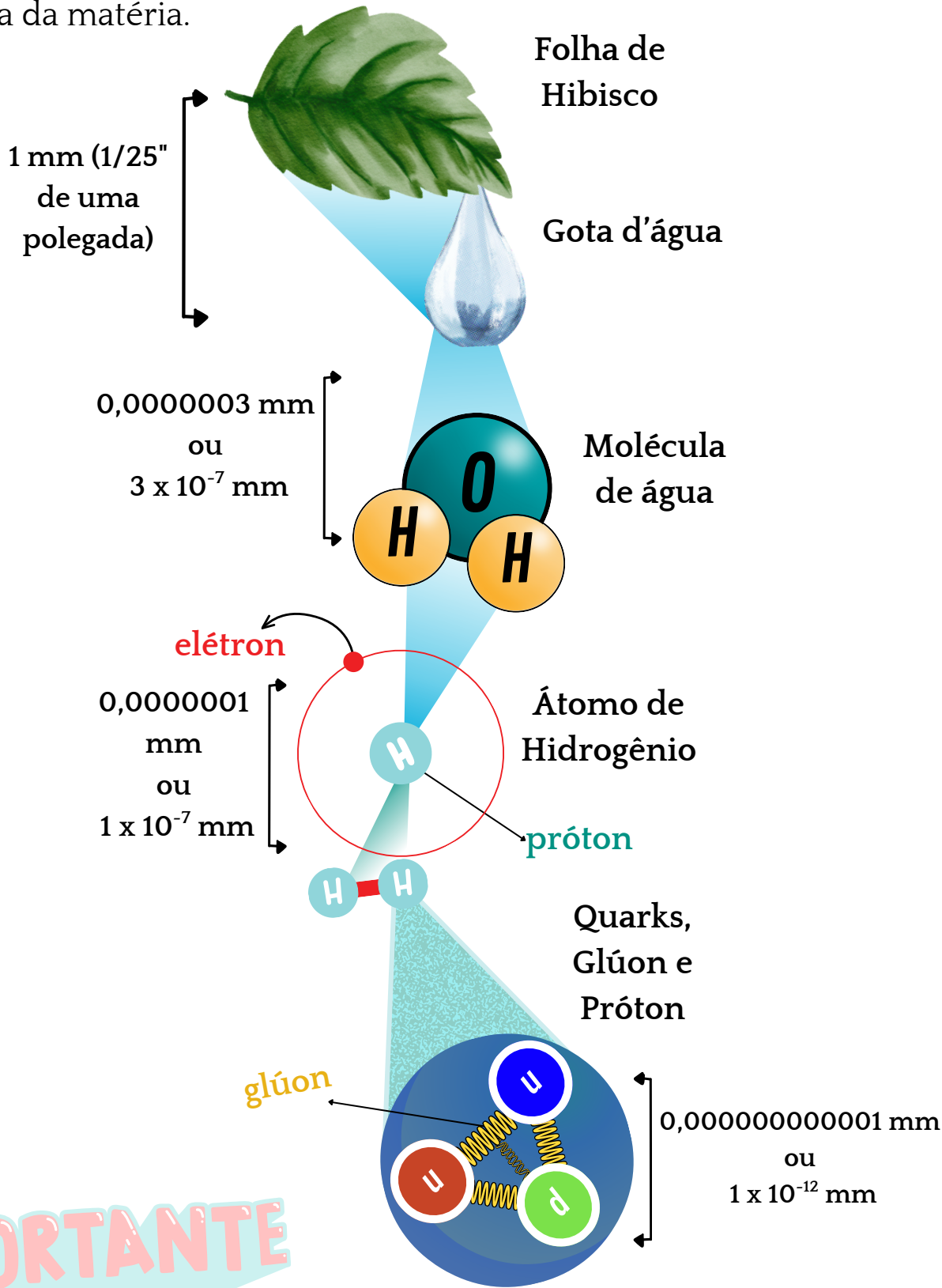
β

FORÇA FORTE

Núcleo
Quark
Glúon
Cromodinâmica quântica



Da molécula ao quark: um diagrama que ajuda a compreender a natureza da matéria.



IMPORTANTE

Existem dois tipos básicos de partículas: os férmions e os bósons. De forma simplificada, os férmions são partículas que constituem a matéria e os bósons são partículas transmissoras de força.



3 Férmions

Os **férmions** podem ser quarks ou léptons. Os quarks se unem formando os prótons e nêutrons dos núcleos atômicos e se interagem através da força nuclear forte.

Os **léptons** são partículas que interagem somente com as forças eletromagnética e nuclear fraca.

Todos os férmions possuem uma **antipartícula** correspondente: os léptons possuem os anti-léptons e os quarks possuem os anti-quarks.

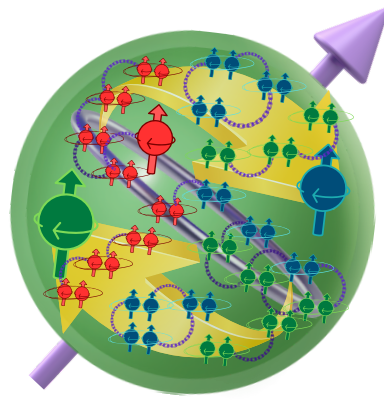
4 Bósons

Os **bósons** são partículas associadas à transmissão das forças fundamentais, tais como os fótons e os glúons. Os bósons mediadores de forças são chamados também de bósons de calibre.

Quarks que se combinam em quark + anti-quark são chamados de **mésons**.

Férmions		Bósons
Léptons Quarks	Spin 1/2 1	Transporte de força $\gamma \omega^+ \omega^- z^0 g$
Bárions (qqq)	1/2 0 3/2 1 5/2 2	Mésons (qq)

5 Quarks

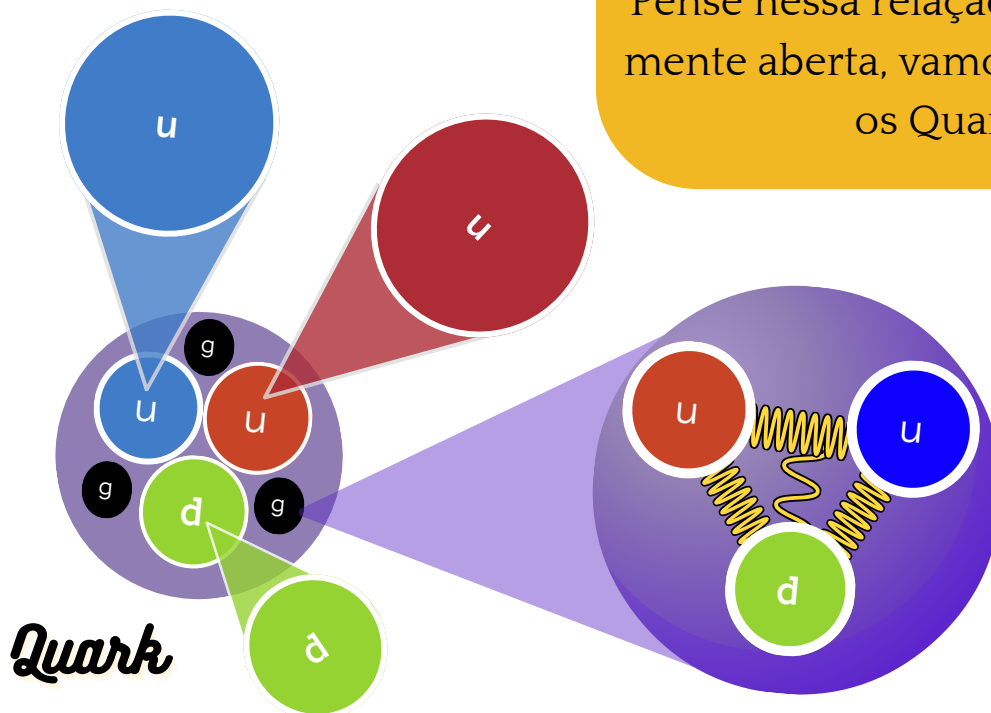


Os Quarks nunca aparecem isoladamente, eles sempre surgem unidos com outros quarks em combinações de cores que resultem em uma cor neutra, o branco.



Sabe aqueles amigos que vivem grudados?

Pense nessa relação e mantenha a mente aberta, vamos te apresentar os Quarks!



Essas partículas fundamentais são constituintes da matéria.

Os Quarks são os formadores de toda matéria existente no Universo. No entanto, eles estão presos às partículas que formam. Por exemplo, um próton é formado por dois Quarks Up e um Quark Down, o que torna seu conjunto um uud (Up-Up-Down) preso à partícula.

Existem seis tipos, conhecidos como sabores, de quarks:

	I	II	III
massa	$\cong 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\cong 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\cong 173.1 \text{ GeV}/c^2$
carga	$2/3$	$2/3$	$2/3$
spin	$1/2$	$1/2$	$1/2$
	u up	c charm	t top
Quarks	$\cong 4.8 \text{ MeV}/c^2$	$\cong 96 \text{ MeV}/c^2$	$\cong 4.18 \text{ GeV}/c^2$
	$-1/3$	$-1/3$	$-1/3$
	$1/2$	$1/2$	$1/2$
	d down	s strange	b bottom

Esse conjunto uud, nunca poderá ser fragmentado e a força que rege os Quarks não permitiria tal façanha, ela é chamada Força Nuclear Forte (FNC) e é transmitida através de partículas, chamadas de Glúons.



Para facilitar, colocamos as iniciais de cada partícula. Ou seja, o Quark Up é um Quark u.

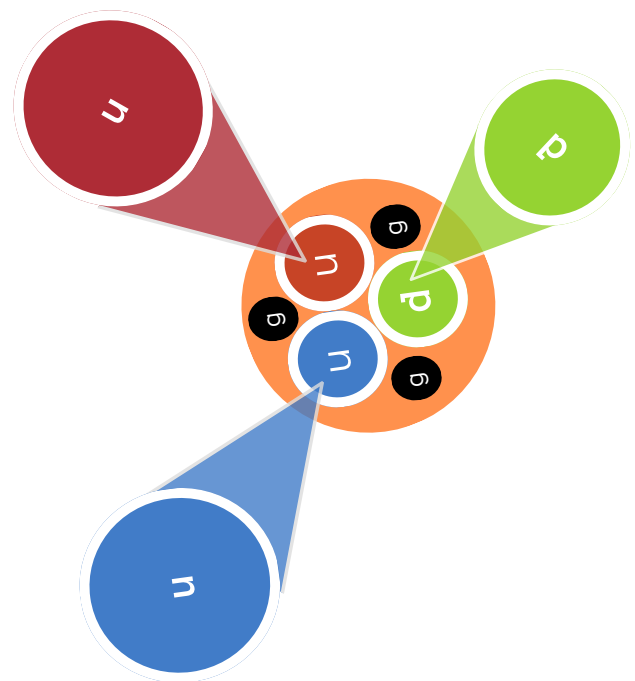
Para facilitar o entendimento, assim como cargas elétricas são positivas ou negativas, os quarks têm **cargas de cor**.

Os quarks possuem como característica única as cargas de cor: **vermelho**, **verde** ou **azul**. As cores em nada tem a ver com a luz que enxergamos com nossos olhos, são apenas nomes dados para identificar suas cargas.

A outra característica dos Quarks é chamada de **sabor**. Também em nada tem a ver com o sabor de alimentos (são apenas nomes para diferenciá-los).

Existem seis sabores de quarks agrupados em três gerações: up e down; charm e strange; top e bottom.

A esse estudo dá-se o nome de cromodinâmica quântica (QCD) e rendeu o Prêmio Nobel de Física de 2004.



DE ONDE VEIO TUDO ISSO?

Em 1961, Murray Gell-Mann (b. 1929) propôs o caminho óctuplo para classificar partículas subatômicas, e em 1964, ele propôs a hipótese dos quarks, que afirma que prótons, nêutrons e outros hádrons são, na verdade, compostos de partículas ainda menores chamadas quarks.

Onde entram os Quarks na Física Quântica?

Cada um dos **6 tipos de quarks** tem seu próprio conjunto de **números quânticos**, e suas massas são muito diferentes, com os quarks up e down sendo os menos massivos, e o quark top sendo o mais pesado com uma massa 61.000 vezes maior que o quark up.

Na teoria da física quântica, o comportamento dos quarks é governado por um modelo chamado cromodinâmica quântica, ou QCD para abreviar. O "cromo" no nome refere-se a "cor" - não como em vermelho, verde ou azul, mas o nome dado a um número quântico específico que os quarks possuem.

Pense na cor como desempenhando o mesmo papel na força forte que a carga elétrica desempenha na força eletromagnética. Assim, cores semelhantes se repelem e cores diferentes (ou seja, uma cor e sua anticor) se atraem, formando pares estáveis de quarks e, como outros números quânticos, também devem ser conservados.



Tudo isso tem sido estudado no CERN (Organização Europeia para Pesquisa Nuclear), mas essa história fica lá para frente!

Antipartícula

Existe um "anti-eu"?



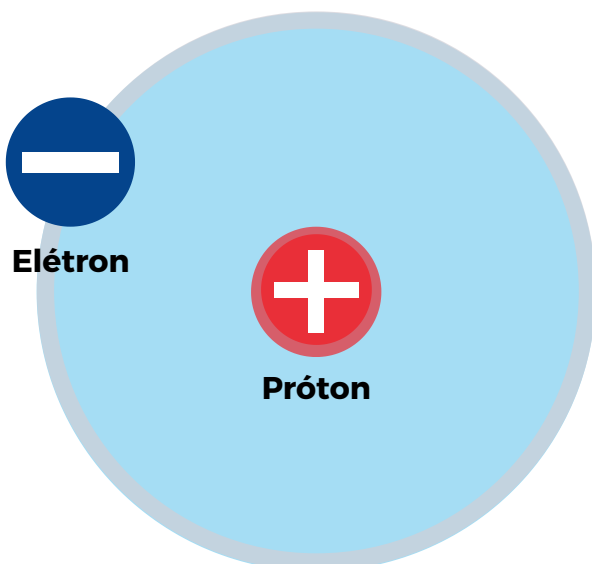
Existe algo além da matéria que conhecemos?

SIM!

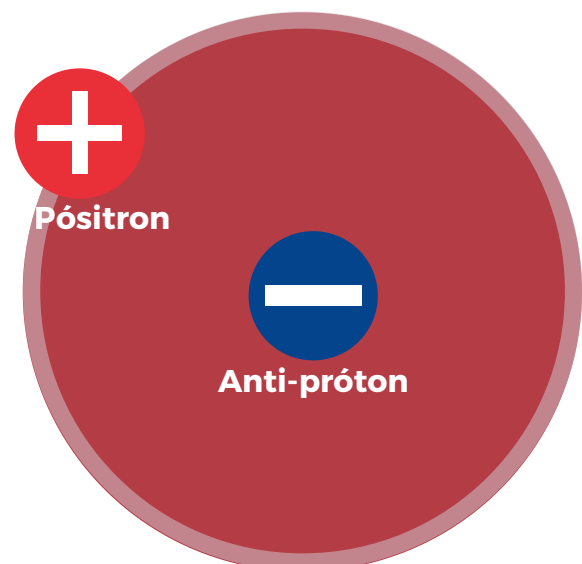
É a antimatéria.

A antimatéria é igual à matéria comum, exceto que tem a carga elétrica oposta.

**ÁTOMO DE
HIDROGÊNIO**



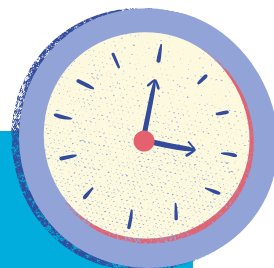
**ÁTOMO DE
ANTI-HIDROGÊNIO**



A antipartícula do **elétron** é chamada de **pósitron**;
a antipartícula do **protón** é o **antipróton**...

Existe algo além da matéria que conhecemos?

As antipartículas são produzidas naturalmente, feitas esporadicamente em todo o universo. Mas quando a matéria e a antimatéria se encontram, elas se aniquilam e produzem energia, o que significa que em um cosmos dominado pela matéria como o nosso, a antimatéria não dura muito tempo.



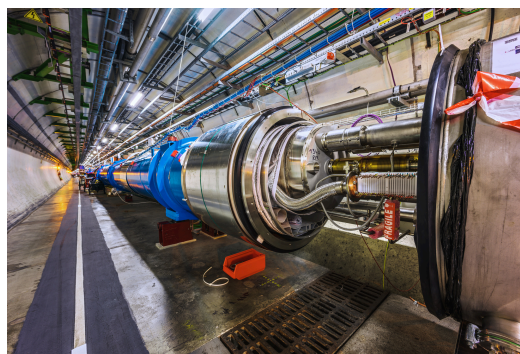
Curiosidade!

Os físicos se perguntaram se com blocos de antimatéria seria possível construir um antinúcleo.

A resposta foi sim!

Em 1965, um antinúcleo de hidrogênio contendo um antipróton e um antinêutron foi criado. Logo em 1995, conseguiram criar o antiátomo de hidrogênio.

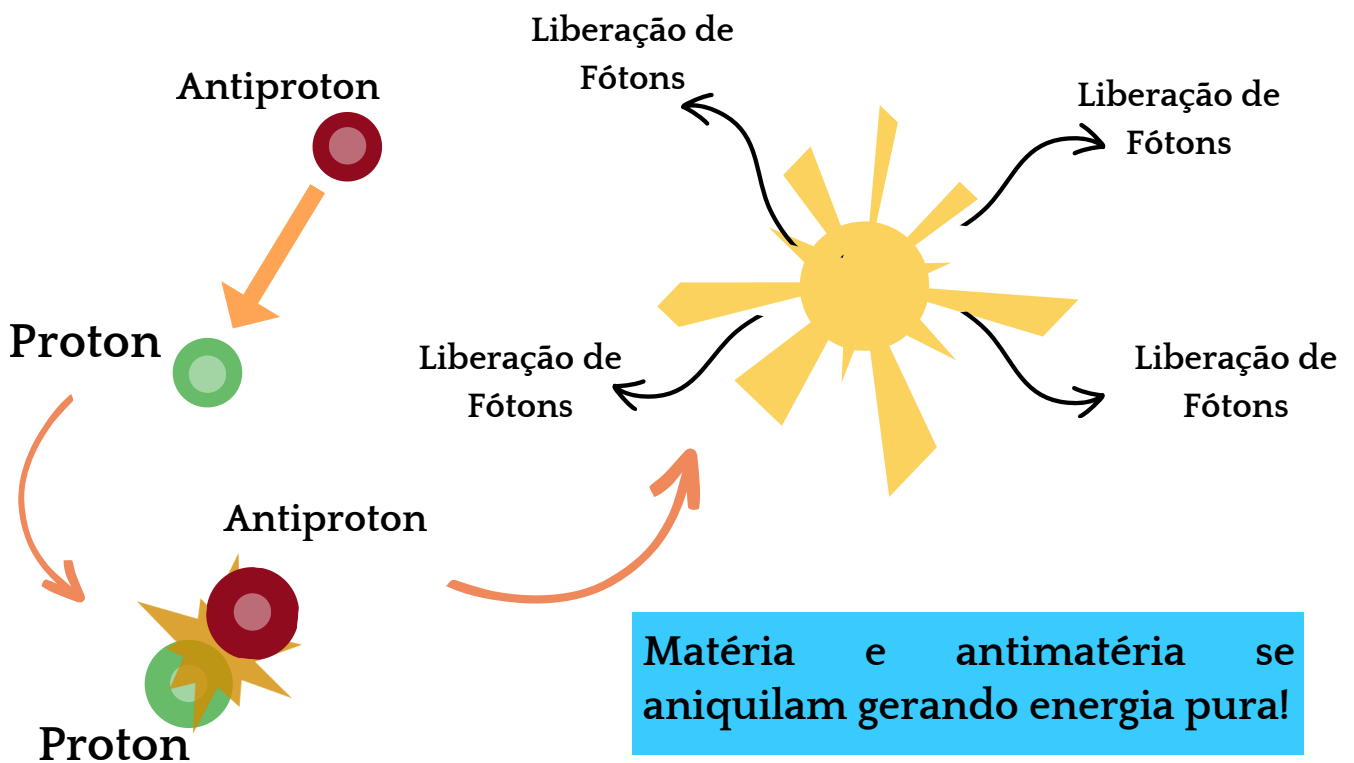
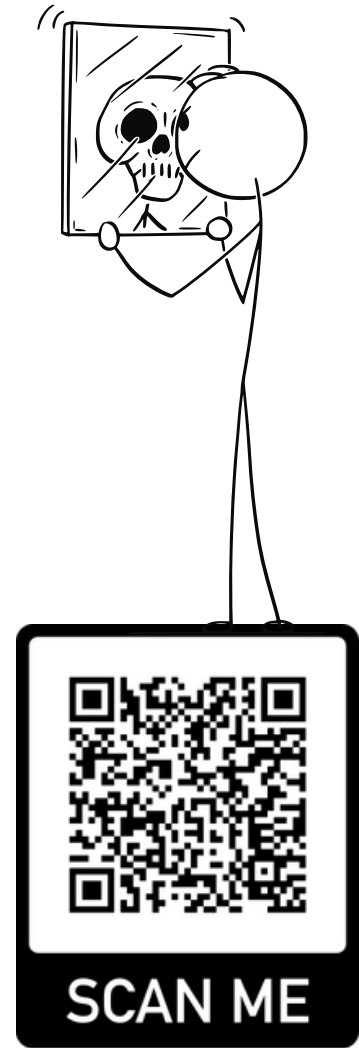
Pesquisadores do CERN criaram partículas de antimatéria usando colisões de velocidade ultra-alta no enorme acelerador de partículas, como o Large Hadron Collider (LHC), como é o caso de vários experimentos para criar o antihidrogênio.



O Anti-Eu

Existindo, apenas, filosoficamente, o anti-eu seria sua antimatéria. E pode esperar que seria um encontro explosivo!

A ideia de antimatéria fascinou e continua fascinando os cientistas desde o surgimento desse conceito, que ocorreu em meados da década de 1930, logo depois da descoberta experimental do pósitron, a antipartícula do elétron. Quer conhecer a oficina de antimatéria do CERN? Scaneia o QRcode ao lado!



E o que a Física Quântica tem a ver com isso tudo?

O físico britânico Paul Dirac previu a antimatéria em 1928 ao tentar unificar a mecânica quântica, que descreve as partículas subatômicas, e a teoria da relatividade de Einstein. Dirac estava procurando soluções para uma equação que descreveria o movimento de um elétron viajando próximo à velocidade da luz.

Pensava-se assim:

Tal como uma equação de 2º grau pode ter duas soluções possíveis, a equação de Dirac poderia ter duas soluções, uma para um elétron com energia positiva e outra para um elétron com energia negativa.

The diagram shows the equation $X^2 = 4$ on the left. Two arrows branch out from it: one pointing up and right to $X = 2$, and one pointing down and right to $X = -2$.

Logo, para a antimatéria, a partícula neste caso seria "X", sendo "2" e "-2", respectivamente, matéria e antimatéria.

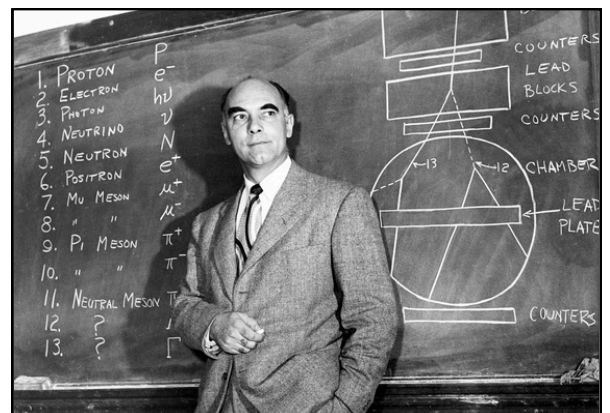


Paul Dirac

No início, Dirac hesitou em compartilhar suas descobertas. Mas, eventualmente, ele as “abraçou” e disse que cada partícula no universo deveria ter uma partícula de imagem espelhada que se comportasse como ela, mas tivesse uma carga oposta.

Os pósitrons foram descobertos alguns anos depois pelo físico do Instituto Americano de Tecnologia da Califórnia Carl Anderson, que estudava raios cósmicos altamente energéticos que vêm do espaço e atingem a atmosfera da Terra, produzindo uma chuva de outras partículas.

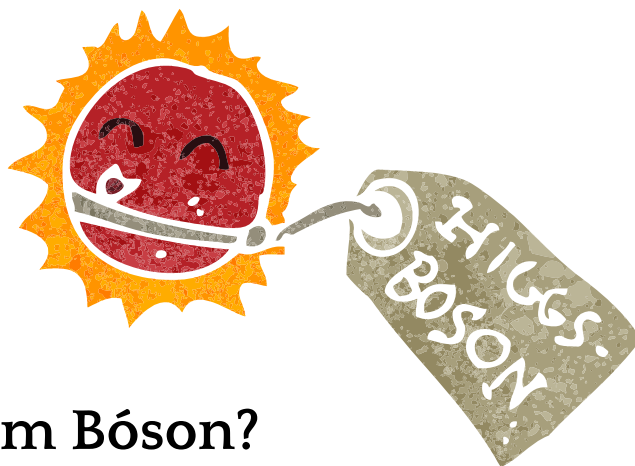
Em seu detector, Anderson testemunhou um traço de algo com a mesma massa de um elétron, mas com uma carga positiva. Por seu trabalho nesta descoberta, Dirac e Anderson receberam o Prêmio Nobel de Física - Dirac em 1933 e Anderson em 1936.



Carl Anderson



Bóson de Higgs



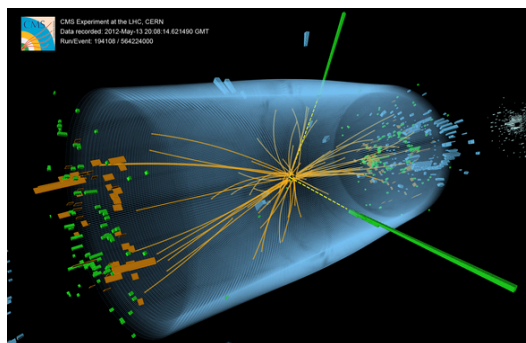
Primeiramente, o que faz um Bóson?

Os Bósons são partículas que transportam energia e forças por todo o universo.

O que torna o Bóson de Higgs especial?

O bóson de Higgs foi postulado* por Peter Higgs em 1964 como uma maneira de dar inércia a partículas. Ele se agarra a transmissores de forças, como os bósons W e Z, e quebra a simetria entre a força fraca e o eletromagnetismo. Um mecanismo que se aplica a todas partículas elementares.

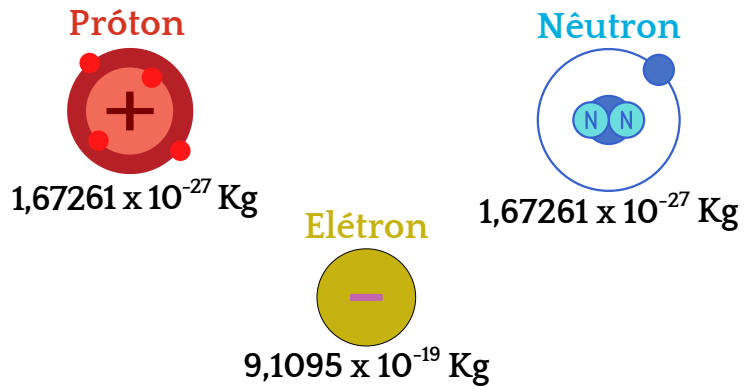
O bóson de Higgs tem uma enorme importância para o entendimento da matéria e do próprio Universo. A comprovação da existência desse bóson mudou a forma como os físicos entendiam o modelo-padrão da física de partículas.



* Um "postulado" é uma afirmação ou proposição fundamental que é aceita sem a necessidade de uma prova ou demonstração, sendo a base sobre a qual uma teoria ou sistema é construído. No contexto da física de partículas e da teoria padrão da física de partículas, o "postulado do Bóson de Higgs" não se refere a um postulado no sentido tradicional. Em vez disso, ele se refere a uma hipótese ou uma premissa teórica que foi proposta para explicar a origem da massa das partículas subatômicas.

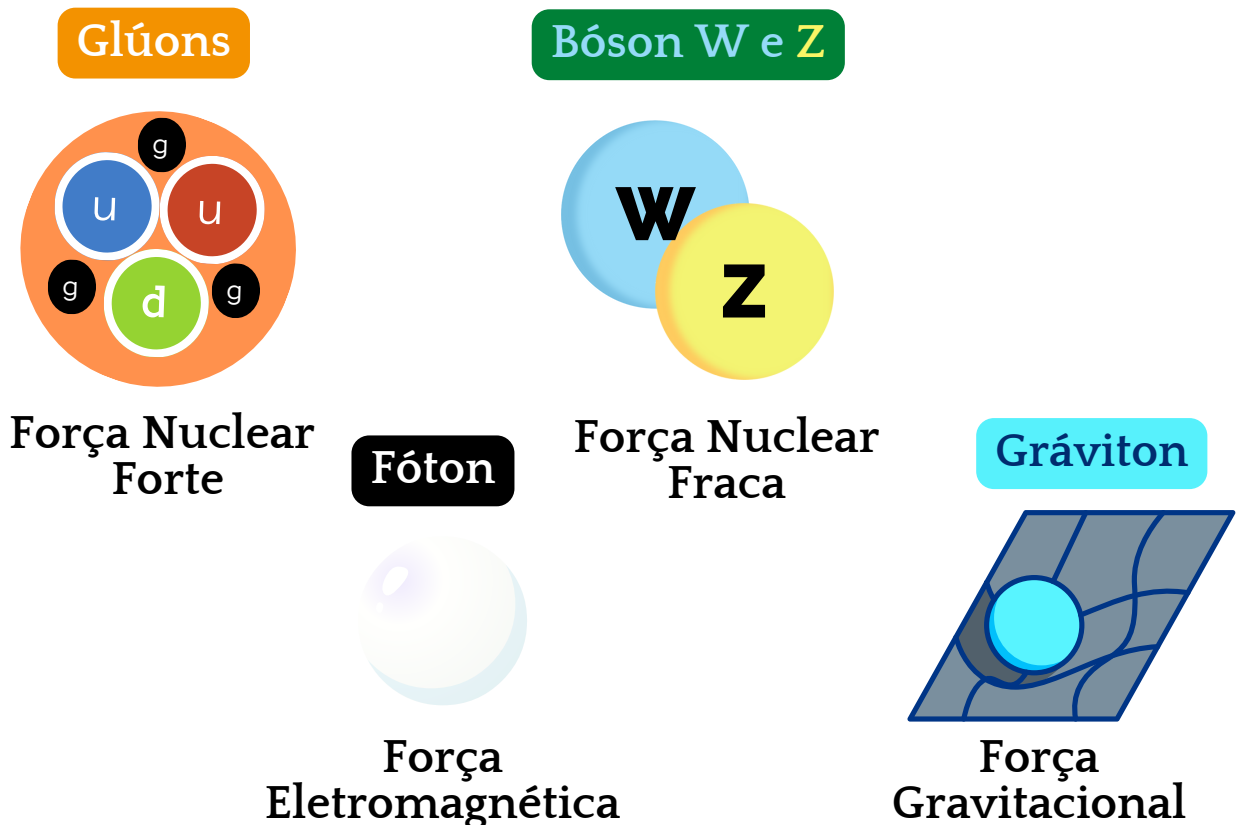
A grande questão:

Por que algumas partículas têm mais massa que outras?



O próton e o nêutron têm massas aproximadamente iguais, enquanto o elétron é significativamente mais leve.

Nos anos 1960, já se sabia que as quatro forças fundamentais eram transmitidas por diferentes partículas. Conforme as representações abaixo, glúons conectam quarks pela força nuclear forte, os bósons W e Z carregam a força nuclear fraca, os fótons medeiam interações eletromagnéticas. Mas, como explicar que diferentemente de fótons, que não têm nenhuma massa, os bósons W e Z são maciços, pesando quase cem vezes mais que um próton?

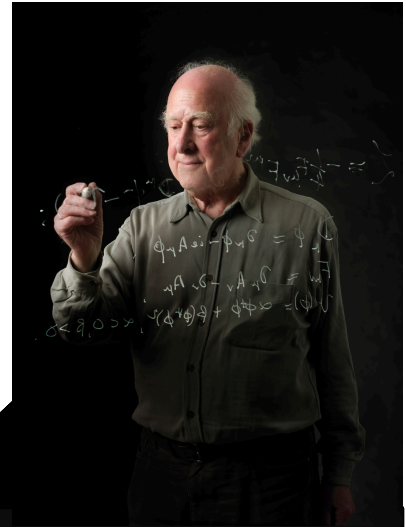


Uma enxurrada de estudos surgiu na busca por uma explicação.

Ganharam notoriedade três equipes!

A primeira equipe: Robert Brout e François Englert; Segunda equipe: Peter Higgs; Terceira equipe: Gerald Guralnik, Tom Kibble e Carl Hagen.

O físico britânico Peter Higgs na Universidade de Edimburgo - se antecipou em descrever o mecanismo em termos de um bóson - o **bóson de Higgs**.



O mecanismo descrito por eles hoje é chamado de **Mecanismo de Higgs**.

O modelo padrão tinha dificuldade de explicar porque algumas partículas possuem massa e a interação com o Bóson de Higgs conseguiu explicar.

Vamos exemplificar: imagine uma celebridade chegando a um coquetel.

A estrela mal conseguiria atravessar a porta se fosse cercada de fãs, que tornariam mais lento seu movimento ao longo do salão. Os bósons W e Z (celebridade) são partículas com apelo de estrelato: o campo de Higgs (multidão) age mais fortemente sobre eles do que sobre os fótons, portanto eles parecem ser mais pesados.



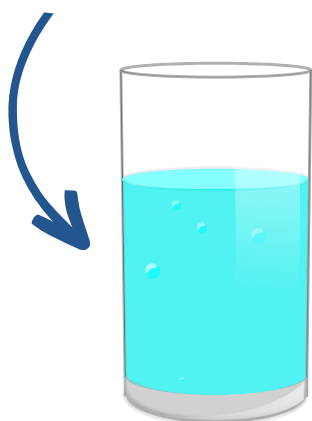
Mecanismo de Higgs

Higgs imaginou os bósons W e Z sendo desacelerados ao passarem por um campo de força de fundo.

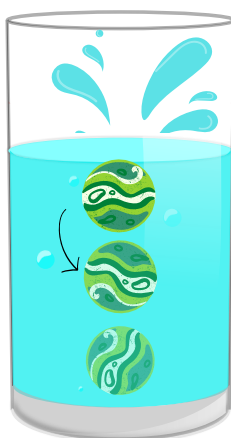
O Mecanismo de Higgs, é justamente a física do campo de higgs. O Bóson de Higgs é uma partícula que intermedeia a força que o campo de higgs exerce sobre as outras partículas elementares do universo.

Pensemos...

IMAGINE UM COPO DE ÁGUA!



AGORA, JOGUE UMA BOLA DE GUDE NELE



Uma bola de gude despejada sobre um copo de água cai mais devagar ali do que no ar.

É como se a bola tivesse mais massa dentro da água – a gravidade leva mais tempo para arrastá-la através do líquido. A bola pode afundar ainda mais devagar em um copo de xarope.



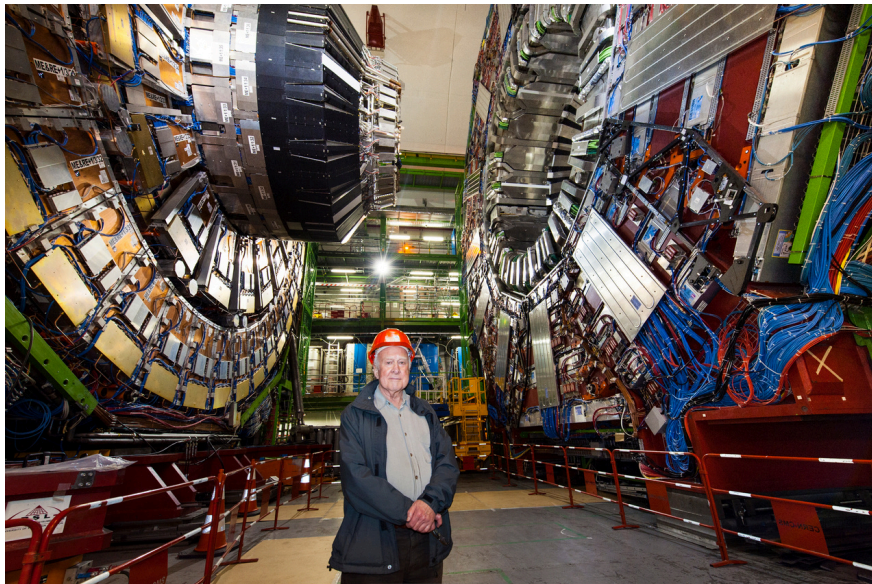
O campo de Higgs age da mesma maneira.

A comprovação:

A comprovação dessa partícula vinha sendo perseguida desde 1964, até que, em 4 de julho de 2012, cientistas do CERN anunciaram que, ao fim de 50 anos de investigação, foi descoberta uma nova partícula: o bóson de Higgs.

A dificuldade em observar o bóson é enorme: ele só aparece em níveis de energia realmente altos e se transforma em outras partículas muito rapidamente.

A identidade da partícula precisa ser confirmada por outras medições, mas sua aparição é um marco. Além de ser mais uma confirmação para o Modelo Padrão, ela abre uma série de novas questões para físicos de partículas explorarem.



Peter Higgs no Large Hadron Collider (LHC), máquina que comprovou sua teoria, no CERN, na Suíça.

4 DE JULHO DE 2012



A screenshot of a tweet from the official CERN Twitter account. The tweet text reads: "#CMS: 'we have observed a new boson with a mass of 125.3 ± 0.6 GeV at 4.9 sigma significance.' Thunderous applause. #Higgs #ICHEP2012". The tweet is dated "4:53 AM · Jul 4, 2012" and has received 615 likes. Below the tweet are icons for "Reply" and "Copy link", and a button that says "Read 44 replies". The CERN logo and name are visible at the top left of the tweet, and a close icon is at the top right.

#CMS: "nós observamos um novo bóson com a massa de 125.3 ± 0.6 GeV com 4.9 de significância estatística." Uma salva de palmas. #Higgs #ICHEP2012

Dois grupos de pesquisadores, das experiências ATLAS e CMS, anunciaram a descoberta de uma partícula, com massa entre 125 e 126 GeV, que possui propriedades semelhantes às aquelas previstas para o Higgs do modelo padrão.



E O QUE FIZERAM COM OS
CONCEITOS?

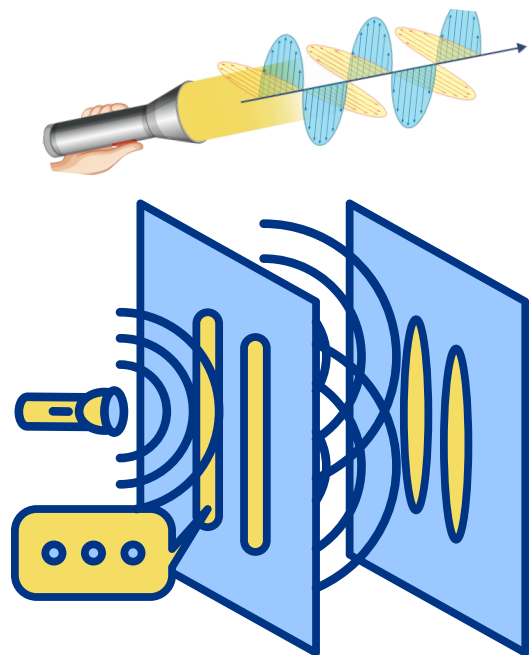
3 Experiências



A experiência mais bonita da física Quântica

Na virada do século XX, a ideia de que a luz e a eletricidade eram transmitidas como ondas e que a matéria sólida era feita de partículas veio abaixo. Experimentos revelaram que elétrons e fótons sofriam difração e interferência – assim como as ondas. Ondas e partículas são dois lados da mesma moeda.

Imagine que você tem uma lanterna que emite um feixe de luz (fótons). Você coloca uma parede à frente da lanterna com uma fenda e uma segunda parede com duas fendas estreitas. Essas fendas permitem que a luz passe através delas, criando um comportamento ondulatório e na sequência um comportamento corpuscular.



QUE ONDA
É ESSA,
MERMÃO?

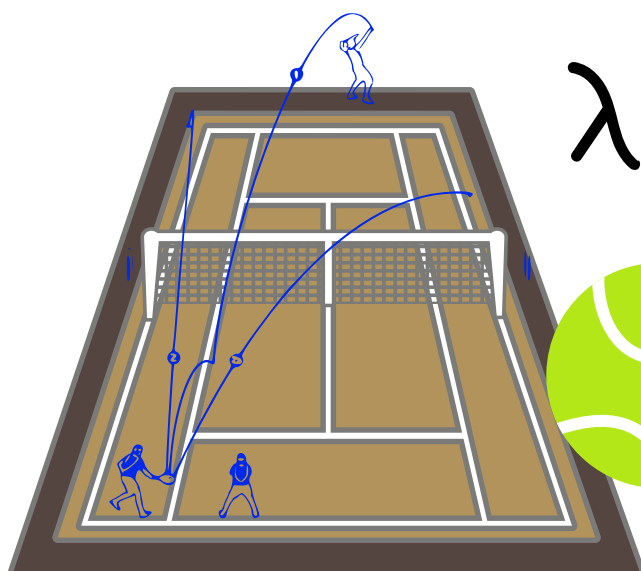


A proposta feita por Einstein em 1905 de que a energia da luz era transmitida como pacotes de energia – fótons –, e não como ondas contínuas, era tão controversa que foram necessárias quase duas décadas e muitos testes adicionais até que fosse aceita.

No início, ela pareceu reabrir o debate polarizado do século XVII sobre do que era feita a luz. Na realidade, ela anunciava uma nova compreensão da relação entre matéria e energia.

Onda de Matéria

A dualidade onda-partícula não se aplica apenas à luz. Em 1924, Louis-Victor de Broglie sugeriu que partículas de matéria – ou qualquer objeto – também podem se comportar como ondas. Ele designou um comprimento de onda característico para todos os corpos, grandes ou pequenos. Quanto maior o objeto, menor o comprimento de onda. Uma bola de tênis, por exemplo, que voa sobre uma quadra tem comprimento de onda de 10^{-34} metros. Muito menor do que a largura de um próton. Como objetos macroscópicos têm comprimentos de onda minúsculos, pequenos demais para enxergarmos, não podemos flagrá-los comportando-se como ondas.

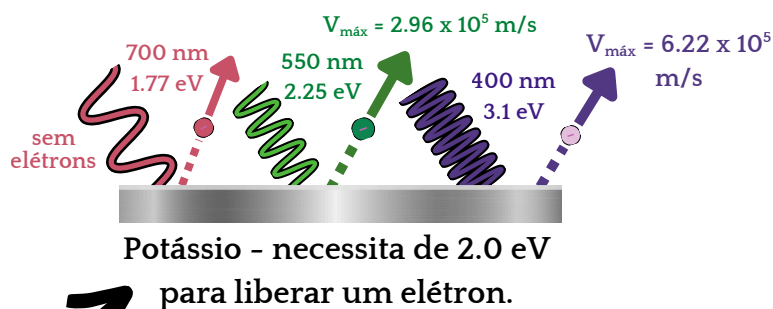


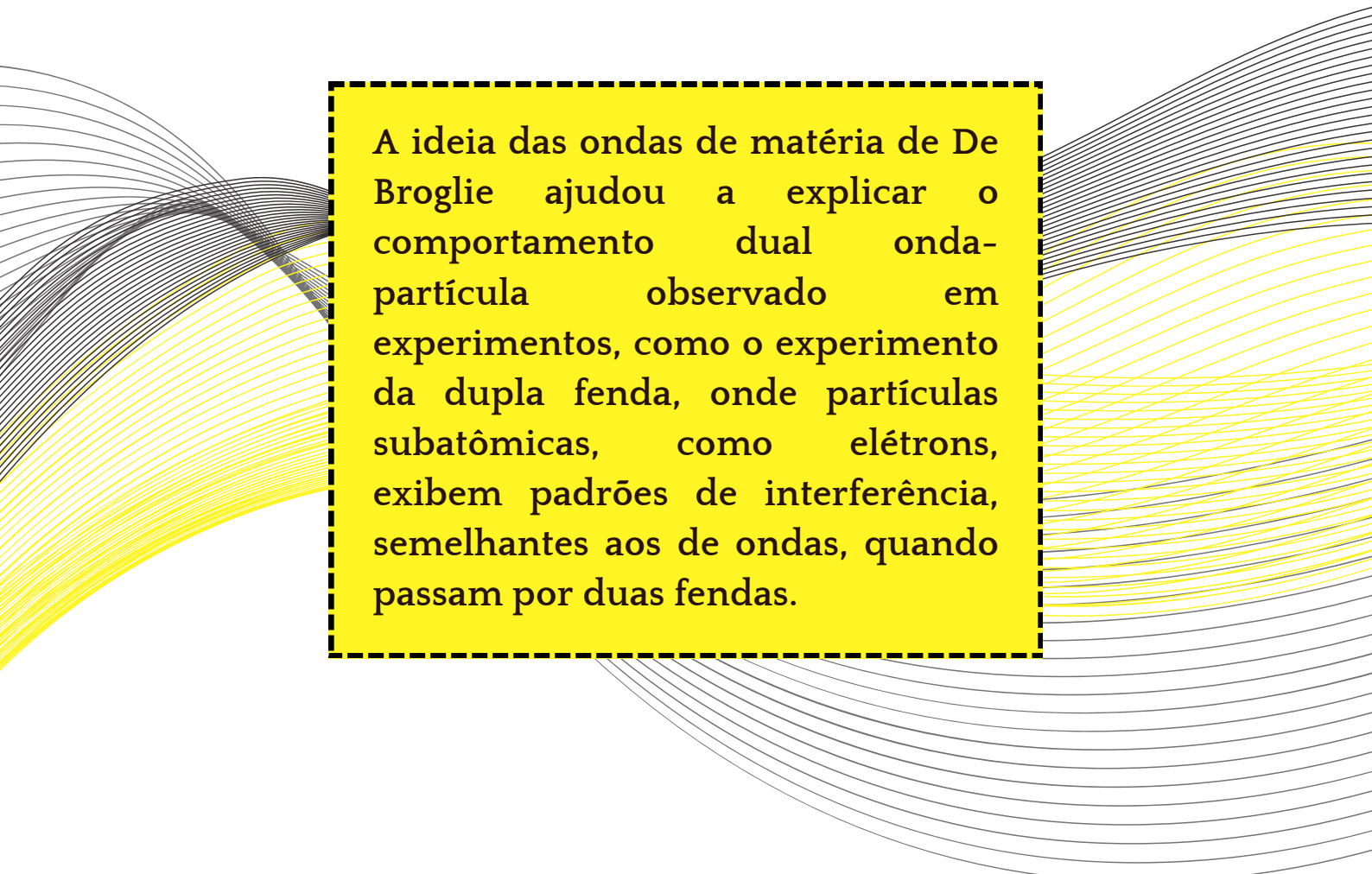
$$\lambda = \frac{h}{p}$$



Louis de Broglie

Não conseguimos observar objetos macroscópicos se comportando como onda por causa dos seus comprimentos de onda minúsculos.




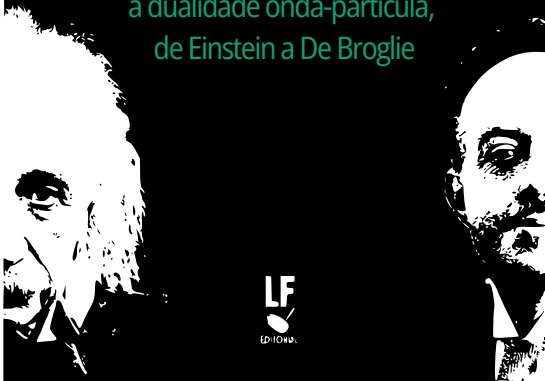


A ideia das ondas de matéria de De Broglie ajudou a explicar o comportamento dual onda-partícula observado em experimentos, como o experimento da dupla fenda, onde partículas subatômicas, como elétrons, exibem padrões de interferência, semelhantes aos de ondas, quando passam por duas fendas.

Roberto de Andrade Martins
Pedro Sérgio Rosa

História da teoria quântica


a dualidade onda-partícula,
de Einstein a De Broglie



Toda essa história foi tratada com rigor nesse livro.

Fica a dica de leitura!!

Aqui vamos contar apenas alguns recortes.



O que é a luz ?

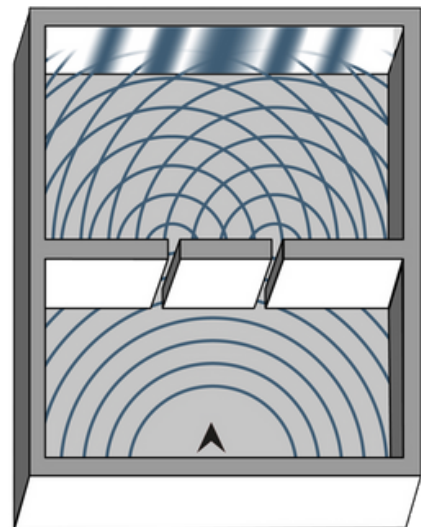
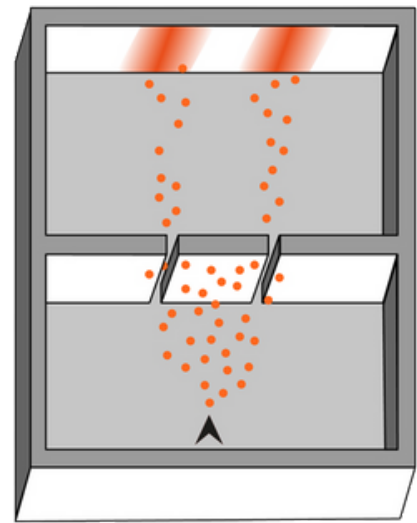


O astuto comportamento de um fenômeno cotidiano.

Nos anos 1600, Isaac Newton argumentou que a luz deveria se constituir de partículas, pois viajava em linhas retas, refletia-se organizadamente e desacelerava em materiais “refratários” como o vidro.

Christiaan Huygens e, depois, Augustin-Jean Fresnel mostraram que a luz deveria ser uma onda, em razão do modo com que contornava obstáculos, difratava, refletia e entrava em interferência.

James Clerk Maxwell consolidou a teoria ondulatória nos anos 1860 com suas quatro equações, resumindo o eletromagnetismo.

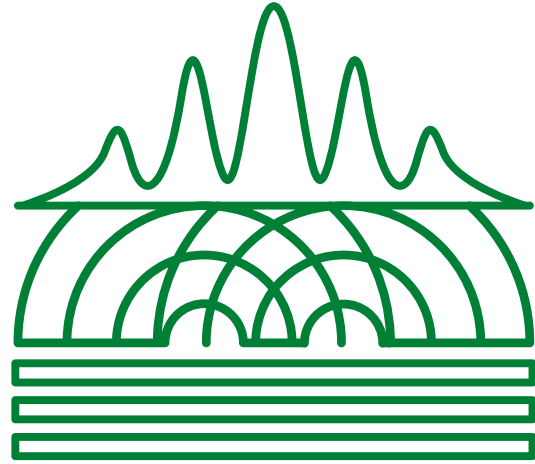


Assim, a luz não é onda ou partícula?

AMBOS!

E o mesmo vale para outros fenômenos eletromagnéticos.

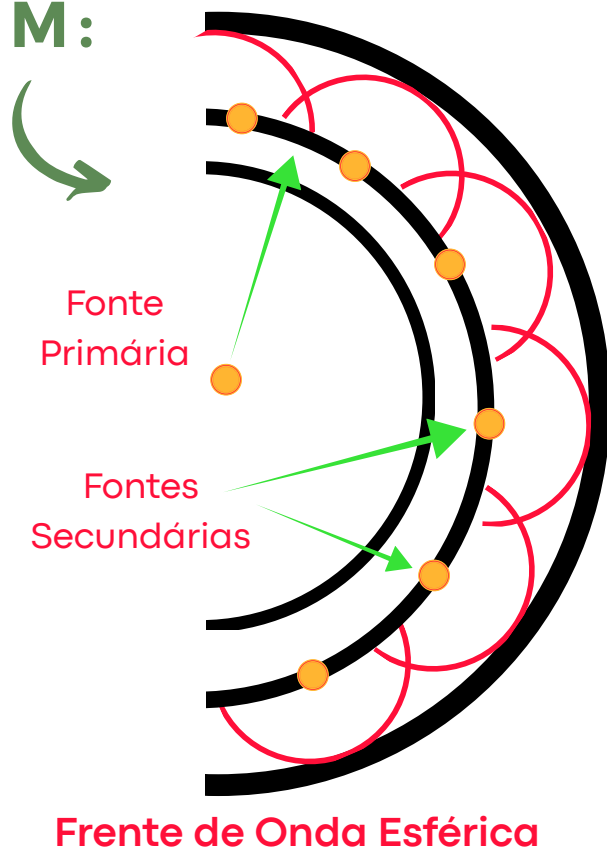
Voltando ao
experimento
das duas fendas
para luz:



No experimento de Young, ele fez a luz passar por duas fendas, como na imagem acima, com o objetivo de apoiar a teoria de que a luz era uma onda e rejeitar a teoria de que a luz era composta por partículas. Posteriormente, este experimento foi considerado na física quântica para demonstrar o comportamento ondulatório de partículas muito pequenas, na escala dos átomos.

ASSIM:

Young usou o Princípio de Huygens que determina que QUALQUER ONDULAÇÃO CIRCULAR pode gerar uma nova onda.



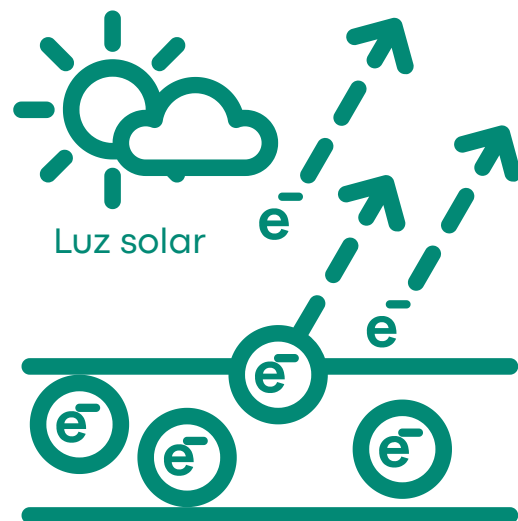
Resumindo:

Luz como Partícula: Se você acender a lanterna e observar a luz passando pelas fendas, verá que ela atua como partículas individuais, chamadas fótons. Os fótons passarão pelas fendas e atingirão uma tela de detecção atrás delas, formando um padrão de pontos na tela.

Luz como Onda: Agora, você decide fechar uma das fendas e acender a lanterna novamente. Dessa vez, você verá que a luz que passa pela única fenda aberta se espalha e cria um padrão de interferência na tela de detecção. Esse padrão é semelhante ao que se observaria com ondas, como as ondulações em uma superfície de água quando se jogam pedras.

Dualidade Onda-Partícula: Quando ambas as fendas estão abertas, a luz se comporta como uma onda, criando um padrão de interferência. Quando uma das fendas é fechada e a luz passa por uma única fenda, ela se comporta como partículas individuais.

A luz é formada por fótons porque eles são os transmissores da luz e os que fazem que se comporte como onda ou partícula.



No efeito fotoelétrico, se comporta como partícula.

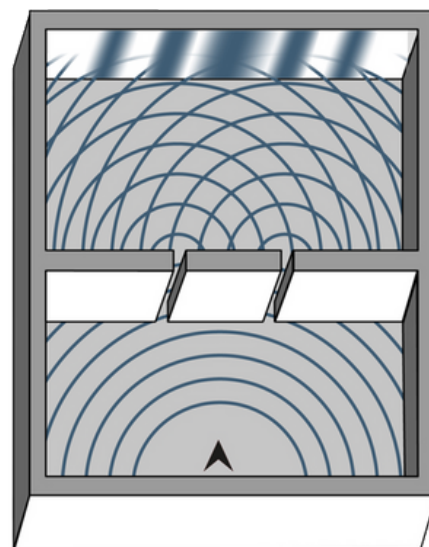
No experimento de Young, se comporta como onda.

E o Fóton?

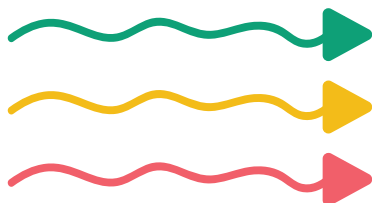
O fóton se comporta como se estivesse passando simultaneamente pelas duas fendas. Se você tenta localizá-lo, digamos, posicionando um detector em uma delas, o padrão de interferência desaparece estranhamente. O fóton se torna uma partícula quando você o trata como tal.

Observe que a entrada da luz pelas duas fendas produz um padrão do outro lado da parede que as ondas de luz se combinam, ou se cancelam ao atravessarem as fendas!

Em todos os casos testados pelos físicos, as franjas de interferência aparecerão ou desaparecerão de acordo com o tratamento dado aos fótons.



Fóton



"Para a matéria, bem como para a radiação, em particular a luz, precisamos introduzir ao mesmo tempo o conceito de corpúsculo e o conceito de onda."

Louis De Broglie, 1929.

Princípio da Incerteza

A medida modifica o estado da partícula?

Em 1927, Werner Heisenberg se deu conta de que algumas propriedades do mundo atômico eram inerentemente incertas.



Ele percebeu que:

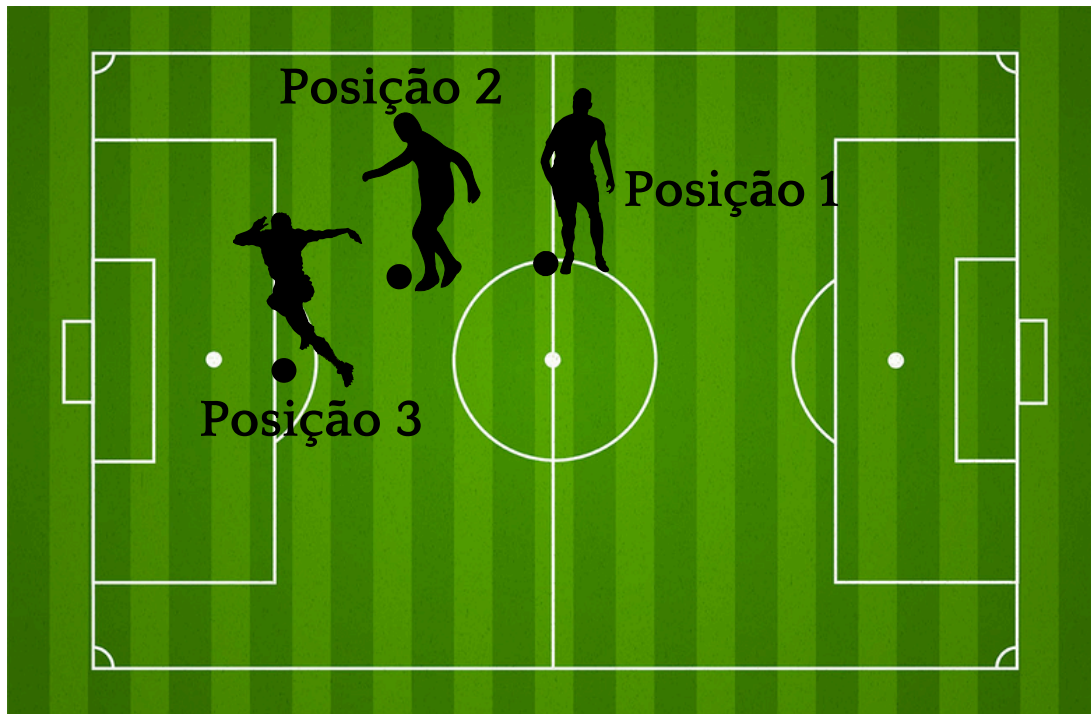
Se você sabe a posição de uma partícula, então não pode saber simultaneamente seu momento linear. Se você sabe em que momento uma partícula fez algo, não pode determinar sua energia exata.

Em 1927, Werner Heisenberg se deu conta de que algumas propriedades do mundo atômico eram inerentemente incertas.

É contraintuitivo entender esse tipo de premissa considerando que estivemos sempre acostumados aos moldes da Física Clássica.

Estamos tão acostumados com a Física Clássica que, por exemplo, conseguimos fazer estimativas sobre **velocidade x deslocamento** de um jogador durante uma partida de futebol.

Por exemplo, quando você vê um jogador correndo em direção ao gol e já consegue imaginar que ele vai chegar lá somente velocidade em que ele está se locomovendo



Você observa a velocidade que ele se move e já consegue assumir se ele vai conseguir chegar lá ou não!

Mas,

e se eu te dissesse que no **MOMENTO** em que você observa o jogador, ele **DESAPARECE??**

Achou estranho, né?

De certa maneira é isso que acontece na Mecânica Quântica!

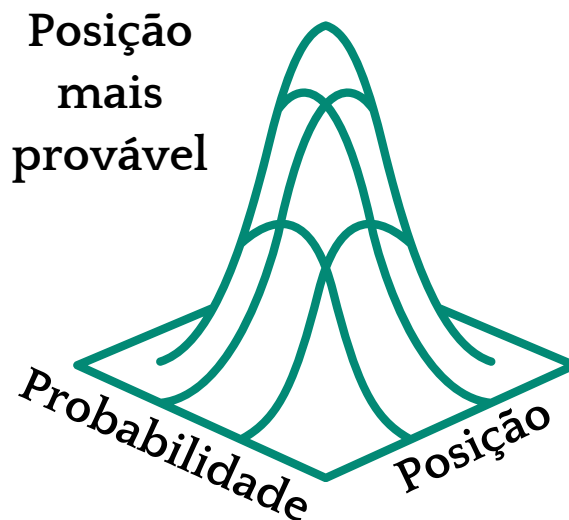
Na física clássica, a partícula tem posição e velocidade bem definidas em cada instante.

Por exemplo, esse carro batendo contra uma árvore!

É esperado que ao bater na árvore, por inércia, o passageiro seja arremessado para frente.

No entanto, na física quântica a situação é bem diferente.

A posição das partículas é feita por funções de onda probabilísticas.



Dizer que a posição das partículas é descrita por "funções de onda probabilísticas" é uma maneira de expressar um dos princípios fundamentais da física quântica, conhecido como Princípio da Incerteza de Heisenberg. Esse princípio afirma que, em escalas subatômicas, como átomos e partículas subatômicas, não podemos conhecer simultaneamente com precisão a posição e o momento (ou velocidade) de uma partícula.

Vamos às probabilidades!

Na física quântica, a medição de um elétron, altera suas coordenadas, então sua velocidade é indefinida. Assim como, determinar a velocidade de um elétron indefine sua localização.

Esse é o gráfico de comportamento - **onda x corpúsculo** - antes do ato de observação.



Aqui é o gráfico de **comportamento da partícula** após **a observação**. O gráfico colapsou porque a partícula assumiu um único comportamento. Antes da observação, havia a possibilidade de ser onda, ou corpúsculo, após a observação ela assumiu apenas um comportamento característico.

O que podemos concluir?

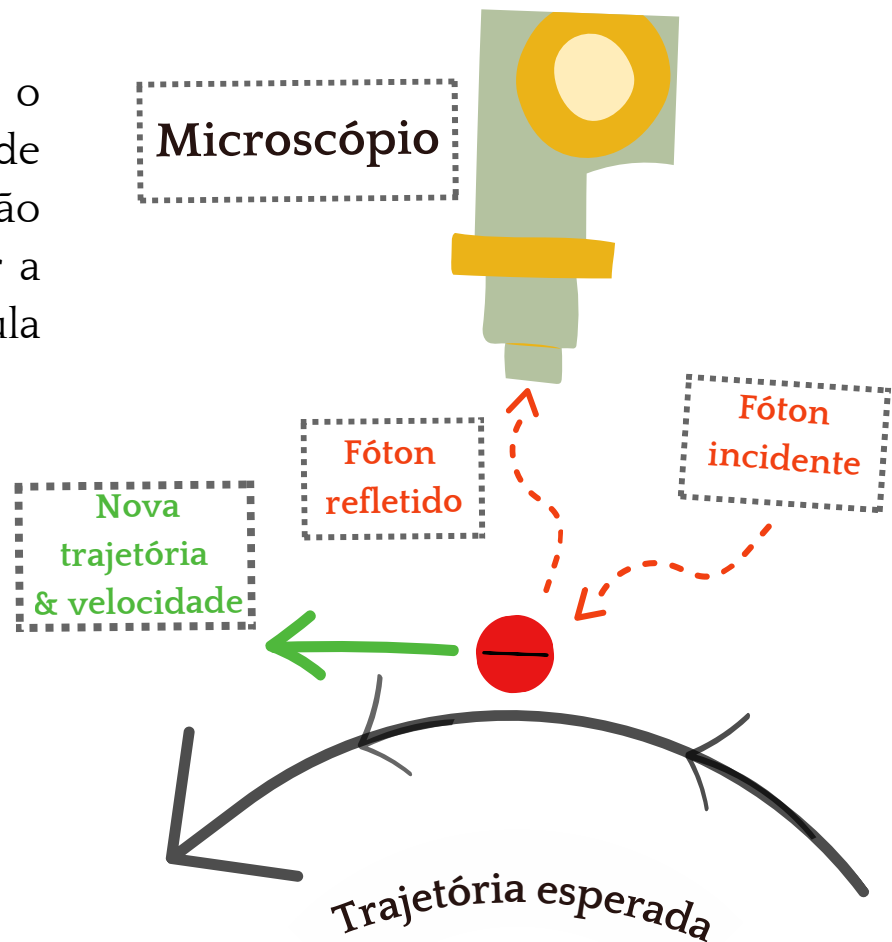
Vimos no post da dualidade onda-partícula da luz que ela possui natureza ondulatória e corpuscular. E é justamente esse comportamento que torna a medição de moléculas num espaço microscópico tão sensível.

Lembrete:

O **fóton** é a partícula que intermedeia a luz, portanto, é essencial para visualização de qualquer medição.

Explicação:

Ao iluminar o elétron, o fóton pode modificar a posição do elétron e tornar a posição da partícula indeterminada!



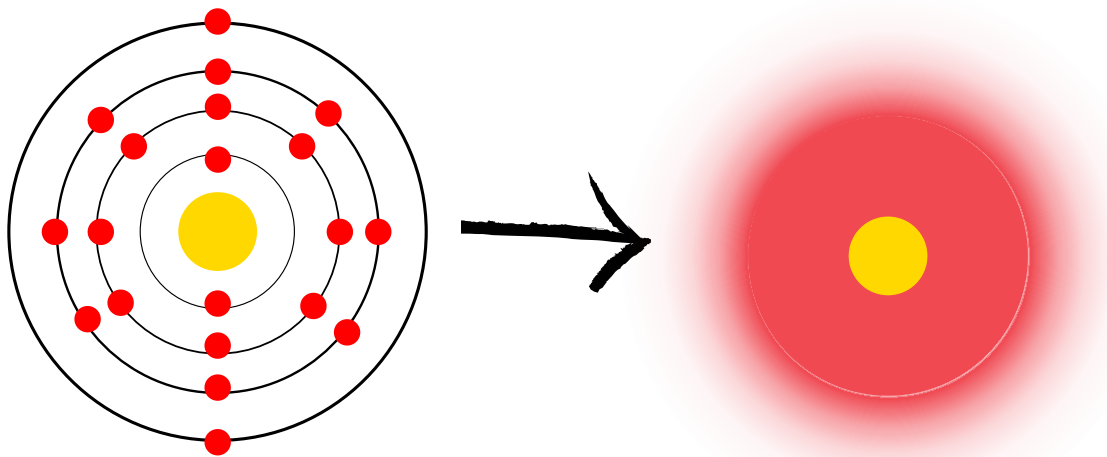
A certeza da incerteza:

As alterações decorrentes da observação altera o mundo (sub)atômico.

É justamente essa particularidade na medição de partículas quânticas que fez Werner Heisenberg se dar conta dessa característica intrínseca da Física Quântica relacionada a probabilidade.

Chegou-se a conclusão que não se tratava problemas dos instrumentos de medição, mas de uma limitação física do mundo das partículas atômicas e subatômicas.

Essa inexatidão foi quantificada por Heisenberg em 1927, o que ele chamou de Princípio da Incerteza!



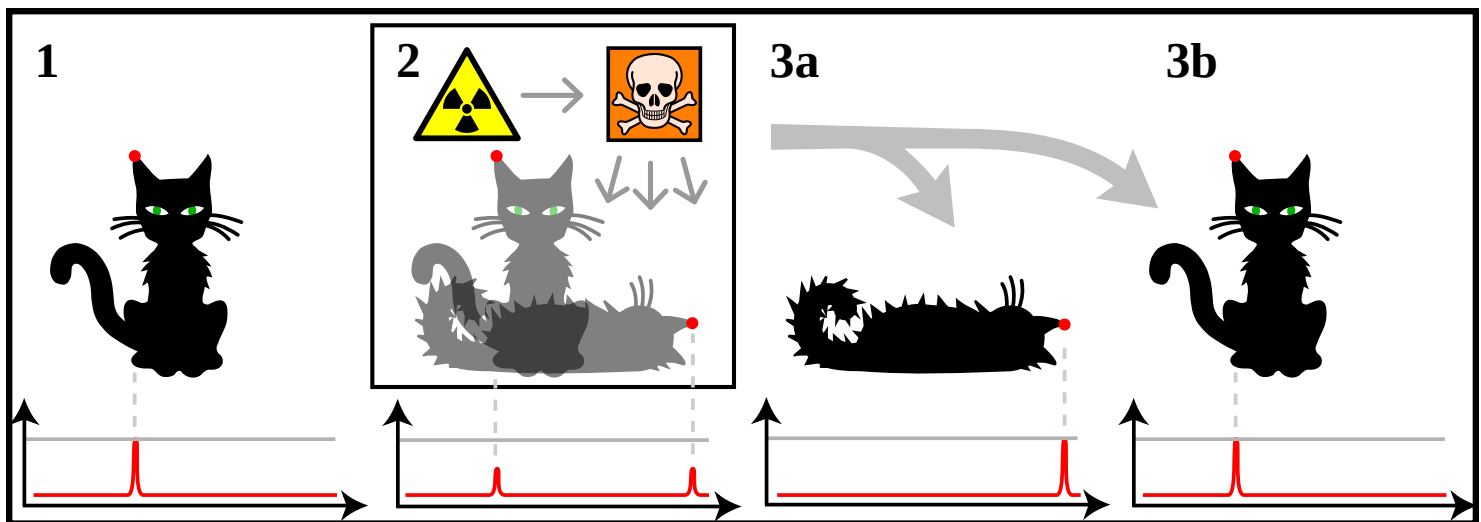
Você não pode medir a **posição e o momento** de uma partícula com certeza absoluta.

A dúvida vida de um pobre gato

Vimos anteriormente no **Princípio da Incerteza** que medidas são apenas probabilidades relacionadas aos possíveis resultados.

Inconformado com a teoria do Princípio da Incerteza, o físico Erwin Schrödinger na tentativa de verificar essa teoria, imaginou uma situação experimental envolvendo um felino, um veneno e uma caixa!

Ilustração:



Erwin
Schrödinger

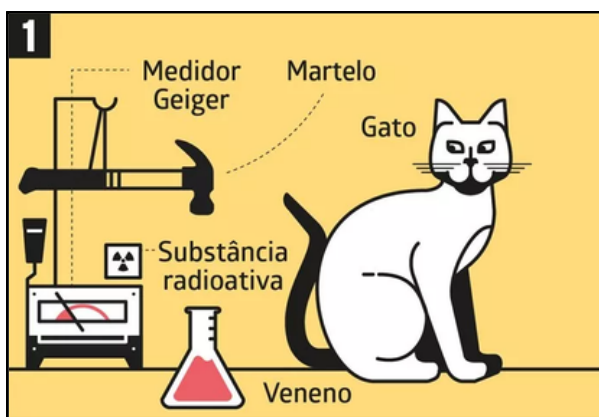


O cenário considerado por Schrödinger é a de um gato trancado numa câmara de aço em conjunto com um dispositivo acionador de um veneno de cianureto de hidrogênio que poderia ser ativado caso acontecesse um fenômeno probabilístico de uma partícula.

Irônico, não? A vida do pobre felino depender da probabilidade de uma partícula atuar, ou não.

Pois esse foi o objetivo de Schrödinger! **Entenda:**

Se a substância radioativa não decair, o medidor não aciona o martelo e não quebra o frasco. O gato vive.



Caso a substância radioativa decaia, o medidor aciona o martelo, que quebra o frasco e mata o gato.



Para quem está fora, o gato pode estar vivo ou morto. Fosse uma partícula, estaria vivo e morto ao mesmo tempo.



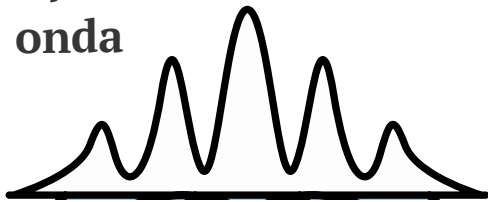
Seria o observador responsável pela vida ou morte do gato?



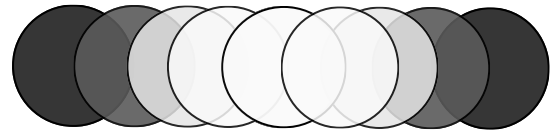
A ironia apresentada por Schrödinger consiste em dizer que, segundo o Princípio da Incerteza, enquanto ninguém observasse o gato ele estaria na condição de estar vivo e morto, um estado chamado de superposição. Assim como a luz, que só se apresenta como onda, ou partícula após ser observada.

O objetivo dessa observação foi assumir que o Princípio da Incerteza era apenas um atalho conveniente para explicar uma peripécia do universo.

**Função de
onda**



Partícula



Para Schrödinger, havia mais do que o comportamento probabilístico e não deveríamos nos limitar a assumir que a partícula sempre muda de comportamento toda vez que a medimos. **Esta afirmação tem duas implicações importantes:**

- **Comportamento Probabilístico:** ao realizar uma medição, o resultado não é determinístico, mas sim probabilístico. Por exemplo, a medição da posição de uma partícula pode dar resultados diferentes em experimentos diferentes, cada um de acordo com a probabilidade especificada pela função de onda.
- **Interpretações da Mecânica Quântica:** Existem várias interpretações da mecânica quântica que tentam explicar o significado dessas probabilidades e do comportamento das partículas. Uma das interpretações mais conhecidas é a interpretação de Copenhague, que defende a ideia de que a partícula realmente muda de comportamento (por exemplo, de uma superposição de estados para um estado definido) cada vez que é medida.

É importante ressaltar que ao longo das décadas, inúmeros experimentos foram realizados, consolidando e validando os conceitos e a teoria da física quântica. Além das situações citadas, abaixo listamos algumas experiências igualmente importantes que contribuíram para a confirmação dos princípios da física quântica.

Experiência do Efeito Fotoelétrico: Esse experimento, realizado por Albert Einstein, mostrou que a luz é composta por pacotes discretos de energia, chamados fótons. Ele confirmou a natureza quântica da luz e estabeleceu a base para a teoria dos quanta.

Experiências com Emaranhamento Quântico: Várias experiências demonstraram o fenômeno do emaranhamento quântico, no qual duas partículas se tornam intrinsecamente ligadas, compartilhando propriedades correlacionadas instantaneamente, independentemente da distância entre elas.


Experimento de Bell: O experimento de Bell foi projetado para testar as desigualdades de Bell e verificar a existência de correlações quânticas entre partículas emaranhadas. Os resultados dessas experiências confirmaram que a natureza é intrinsecamente probabilística e não pode ser explicada por teorias locais ocultas.

Experimento de Stern-Gerlach: Esse experimento demonstrou a quantização do momento angular de partículas subatômicas, como elétrons e átomos. Ele revelou a natureza discreta das propriedades quânticas e a existência de estados de spin.

FISICA QUÂNTICA NO SEU
COTIDIANO!

4 Aplicações

LABORATÓRIO DE EDUCAÇÃO STEAM MAKER

 @física_contextualizada

 <https://getupscience.com/>

Laboratório de Educação

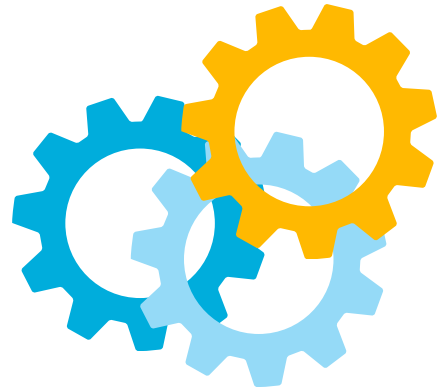
STEAM
maker

54

Aplicações tecnológicas da Física quântica

A Física Quântica está presente no seu cotidiano e na Indústria!

Não é como se partículas subatômicas estivessem sendo comercializadas ou existissem fábricas industriais no universo quântico.

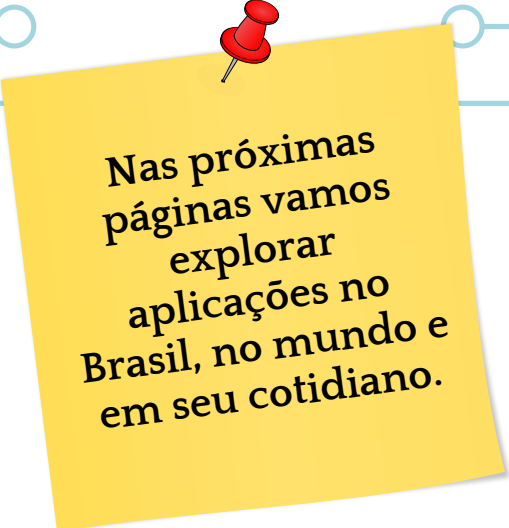


Pode-se dizer que a Física Quântica não é, a exemplo da Física Clássica, uma teoria bem “acabada”. Muitas pesquisas ainda estão sendo realizadas atualmente na tentativa de compreender mais sobre o universo quântico. Entretanto, essa área já é extremamente importante no que diz respeito às aplicações tecnológicas envolvendo os fenômenos estudados pela mesma.

A Física Quântica está presente em várias áreas do cotidiano, mesmo que muitas vezes não percebamos diretamente sua influência. A seguir estão alguns exemplos de como a Física Quântica impacta nossa vida diária.

São exemplos de aplicações que baseiam-se nos princípios da Física Quântica:

- LDR - sigla em inglês para Light Dependent Resistor, que traduzido significa resistor dependente de luz - e a iluminação pública
- Produção de raios X e suas aplicações
- Tecnologia do Laser
- Microscópios de Varrimento por Túneis e Nanotecnologia
- As áreas de desenvolvimento, em particular, como:
 - novos computadores com alta capacidade computacional
 - sistemas de simulação
 - comunicação e sensores de nova geração
 - semicondutores



Nas próximas páginas vamos explorar aplicações no Brasil, no mundo e em seu cotidiano.

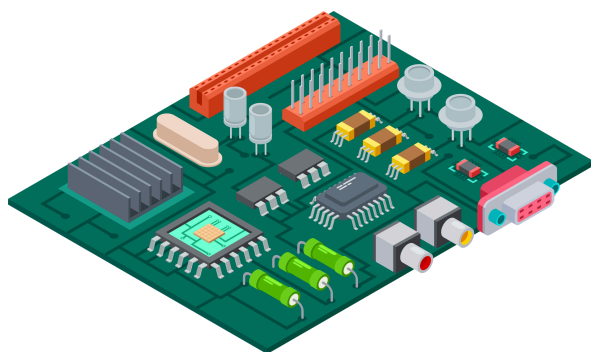
Tem tecnologia quântica no Brasil?

Sim e não!

Tal como em outros países emergentes, existe tecnologia quântica. Mas, infelizmente, nada que tenha sido desenvolvido com pesquisa para ser comercializado externamente.

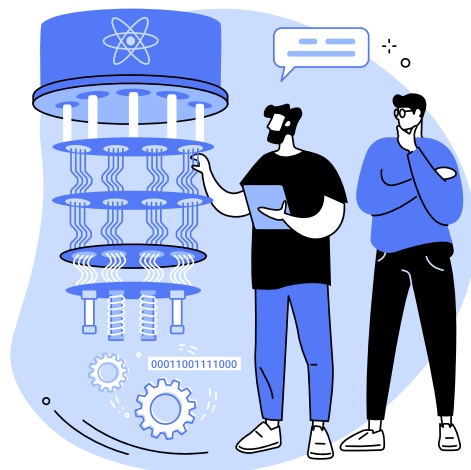
Para compreender melhor, dividimos essa questão em termos de duas gerações:

Primeira geração:



Minúsculos semicondutores que possibilitam sistemas mais compactos de funcionamento.

Segunda geração:



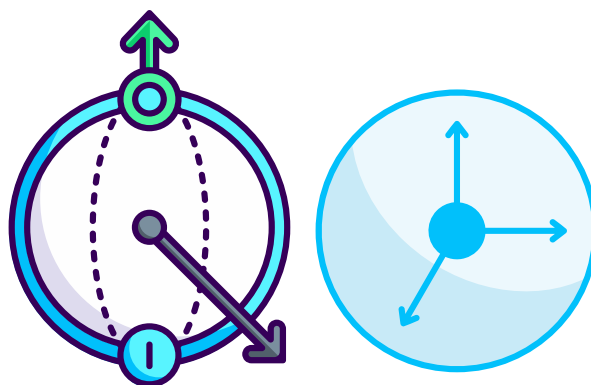
Computação e comunicação quântica entre os dispositivos eletrônicos.

A **primeira geração** lida mais com nosso cotidiano e a evolução tecnológica que criou essa **nova era da informação**.

Enquanto, a **segunda geração** lida mais com a ideia de que os **objetos podem ser regidos por um comportamento ondulatório** ou considerando a superposição de estados, ao invés da geração clássica que lida com o código binário.

101001100010111
000111010111001
011010101001010
110110110101010
101010101001010

Código binário



Representação de um Qubit



Dispositivos da primeira geração

Como está no Brasil?

O trabalho realizado por cientistas brasileiros está mais relacionado com um serviço à sociedade através de pesquisas e investimento na área.

Por exemplo, um grande contribuinte para área de pesquisa é o INCT-IQ.



INCT-IQ

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Informação Quântica

Vinculado ao INCT-IQ são realizadas várias pesquisas na área da Física Quântica, em diversas universidades abrangendo o território nacional.

- Teoria da Informação Quântica
- Ciência da Computação
- Óptica e Óptica Quântica
- Criptografia e Comunicação Quânticas
- Física do Estado Sólido
- Física Atômica

E tem mais!

Temos nosso próprio **Acelerador de Partículas!**

O nome dele é Sirius e está localizado em Campinas, interior de São Paulo, junto ao CNPEM.

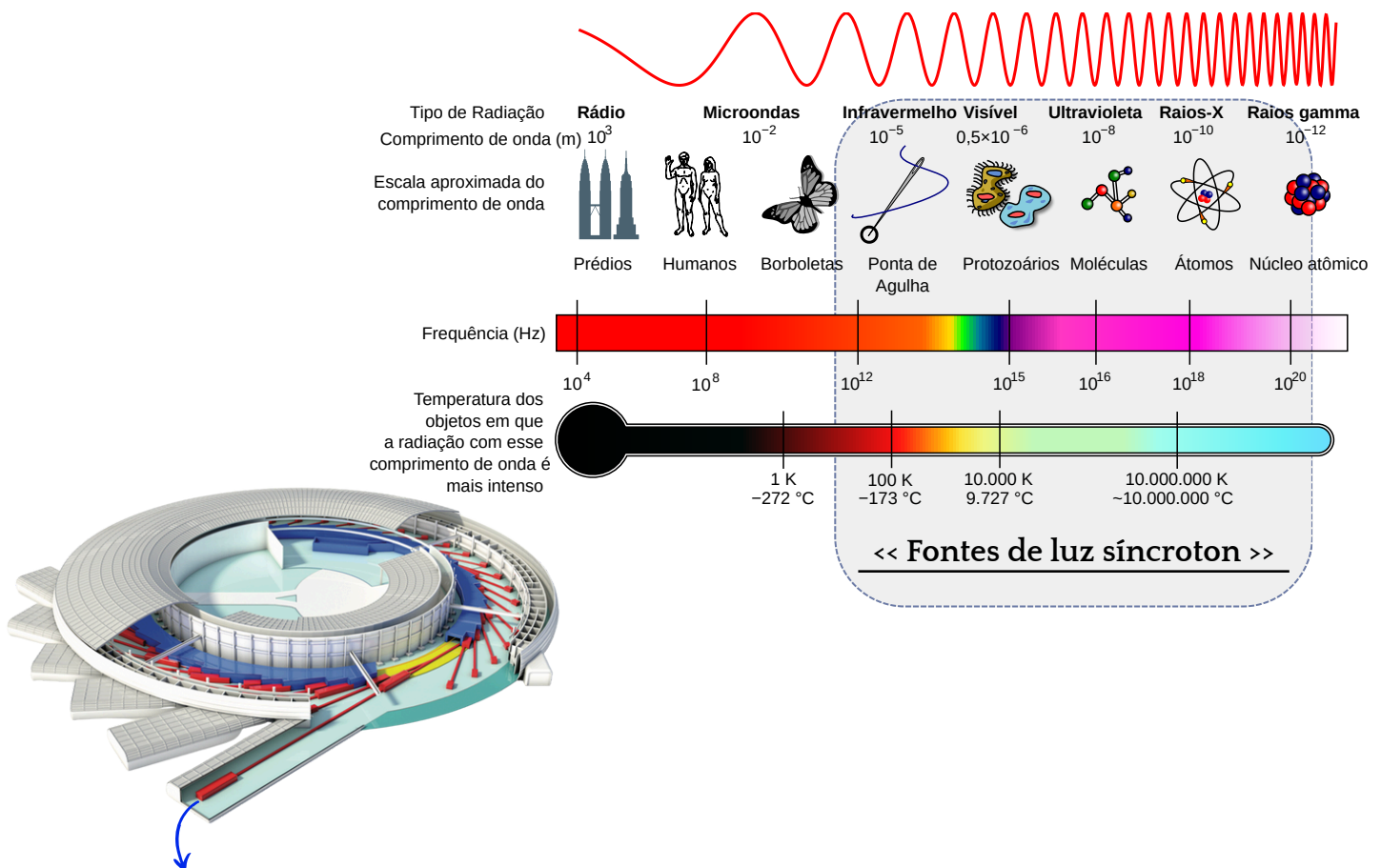


CNPEM
Centro Nacional de Pesquisa
em Energia e Materiais

Como funciona o Sirius?

Através da Luz Síncrotron!

É o tipo de luz - do infravermelho aos raios gama - que o acelerador de partículas utiliza para capturar os elétrons que estão acelerados no anel de armazenamento e utiliza diversas linhas de luz para diferentes experimentos.



As linhas de luz são como microscópios complexos que acondicionam e focalizam a radiação síncrotron, para que ela ilumine as amostras dos materiais em estudo e permita a observação de seus aspectos microscópicos.

O Sirius foi projetado para abrigar instrumentação científica avançada, adequada para solucionar as áreas estratégicas para o desenvolvimento brasileiro. Ele poderá abrigar até 38 linhas de luz, seis das quais têm entre 100 e 150 metros de comprimento, estendendo-se para fora do hall experimental do edifício.

Abaixo são apresentadas as **informações técnicas** e o status de cada uma das linhas de luz e de outras instalações que fazem parte da fonte de luz síncrotron Sirius (dados de agosto de 2025).

Linha de Luz	Técnica Principal	Faixa de Energia	Status
Ariranha	Instrumentação de Raios X	5 - 25 keV	Projeto
Carnaúba	Nanosopia de Raios X	2,05 - 15 keV	Aberta
Cateretê	Espalhamento Coerente de Raios X	3 - 24 keV	Aberta
Cedro	Dicroísmo Circular	3 - 9 eV	Aberta
Ema	Espectroscopia e Difração de Raios X em Condições Extremas	2,7 - 30 keV	Aberta
Hibisco	Microtomografia <i>in vivo</i> por Contraste de Fase de Raios X Duros	16 - 45 keV	Projeto
Imbuia	Micro e Nanoespectroscopia de Infravermelho	70 - 400 meV	Aberta
Ipê	Espalhamento Inelástico Ressonante de Raios X e Espectroscopia de Fotoelétrons	100 - 2000 eV	Aberta
Jatobá	Espalhamento Total de Raios X e Análise de PDF	40 - 70 keV	Montagem
Manacá	Micro e Nanocristalografia Macromolecular	5 - 20 keV	Aberta
Mogno	Micro e Nanotomografia de Raios X	22	67,5 keV
Paineira	Difração de Raios X em Policristais	5 - 30 keV	Aberta
Pitanga	Fotoemissão de Raios X em Pressão Próxima ao Ambiente	250 - 2000 eV	Projeto
Quati	Espectroscopia de Raios X com Resolução Temporal	4,5 - 35 keV	Comissionamento
Quiriquiri	Difração de Raios X em Monocristais	5 - 50 keV	Projeto
Sabiá	Espectroscopia de Fotoemissão e Absorção de Raios X Moles de Alto Fluxo	100 - 2000 eV	Aberta
Sapê	Espectroscopia de Fotoemissão Resolvida em Ângulo	8 - 70 eV	Montagem
Sapucaia	Espalhamento de Raios X a Baixos Ângulos	6 - 17 keV	Comissionamento
Sibipiruna	Crionanotomografia por Contraste de Absorção de Raios X Moles	0,30 - 0,75 keV	Projeto
Sussuarana	Difração de Raios X e Imageamento em Alta Energia	30 - 200 keV	Projeto
Tatu	Nanoespectroscopia de Terahertz	12 - 62 meV	Montagem
Teiú	Microscopia de Raios X	1 - 10 keV	Projeto
Timbó	Crionanotomografia por Contraste de Fase de Raios X Coerentes	5 - 20 keV	Projeto

O Sirius tem contribuído para pesquisas e o desenvolvimento de novos medicamentos e tratamentos em doenças, melhores fertilizantes, espécies mais resistentes às condições ambientais, melhor aproveitamento de fontes renováveis e estudos em melhores processos de extração do petróleo.

Descubra os usos da tecnologia quântica em nosso dia a dia

1 LDR

Já esteve passando por um poste e percebeu ele ligando sem motivo algum aparente?

A iluminação pública utiliza um conceito de física quântica para operar!

Trata-se da utilização do LDR. Em inglês, Light Dependent Resistor, ou em português, resistor dependente de luz. Essa fotorresistência utiliza o Efeito Fotoelétrico para controlar a ativação da lâmpada. As partículas de luz, os fótons, quando incidem sobre superfície do LDR, permitem que os elétrons do material semicondutor sejam liberados.



Poste de iluminação pública.



Componente eletrônico, LDR.

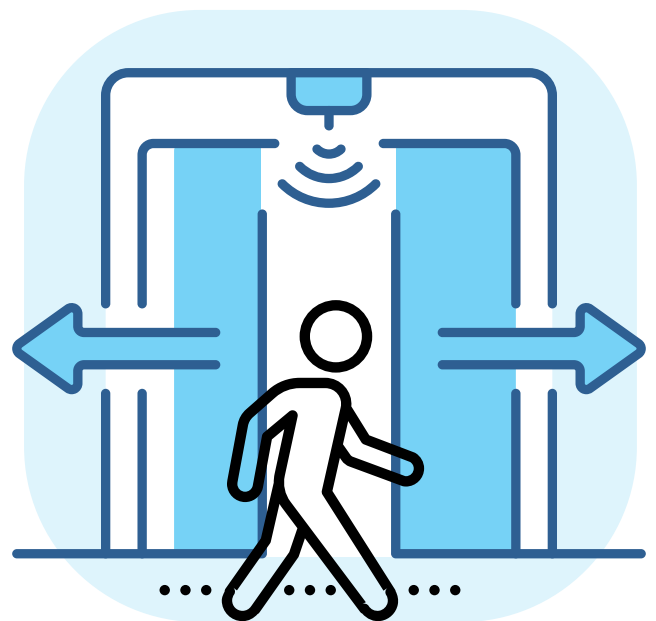
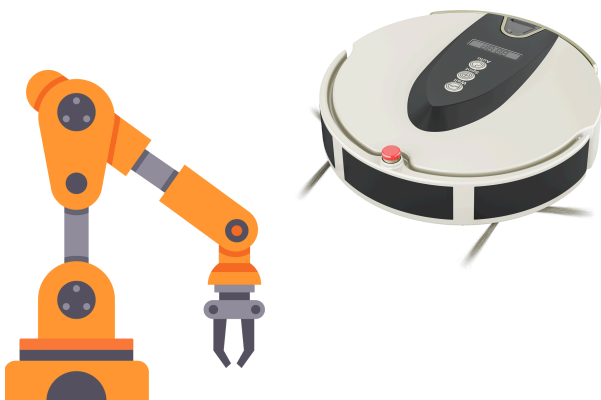
1 LDR

Quanto maior a incidência de luz, menor a resistência do LDR. Assim, através de um sistema de chaveamento, quando se aproxima a noite, a diminuição de corrente elétrica desmagnetiza uma bobina e posiciona um relé* permitindo a passagem de corrente para lâmpada.

Esse sistema de chaveamento permitiu vários dispositivos terem funcionamento a partir da intensidade de partículas de luz que atingem o LDR.

Por exemplo:

- Abertura automática de portas de shopping;
- Sensor de presença;
- Robôs seguidores de linha;
- Monitoramento de agricultura por iluminação.



* Os relés basicamente são dispositivos elétricos que tem como função produzir modificações súbitas, porém predeterminadas em um ou mais circuitos elétricos de saída.

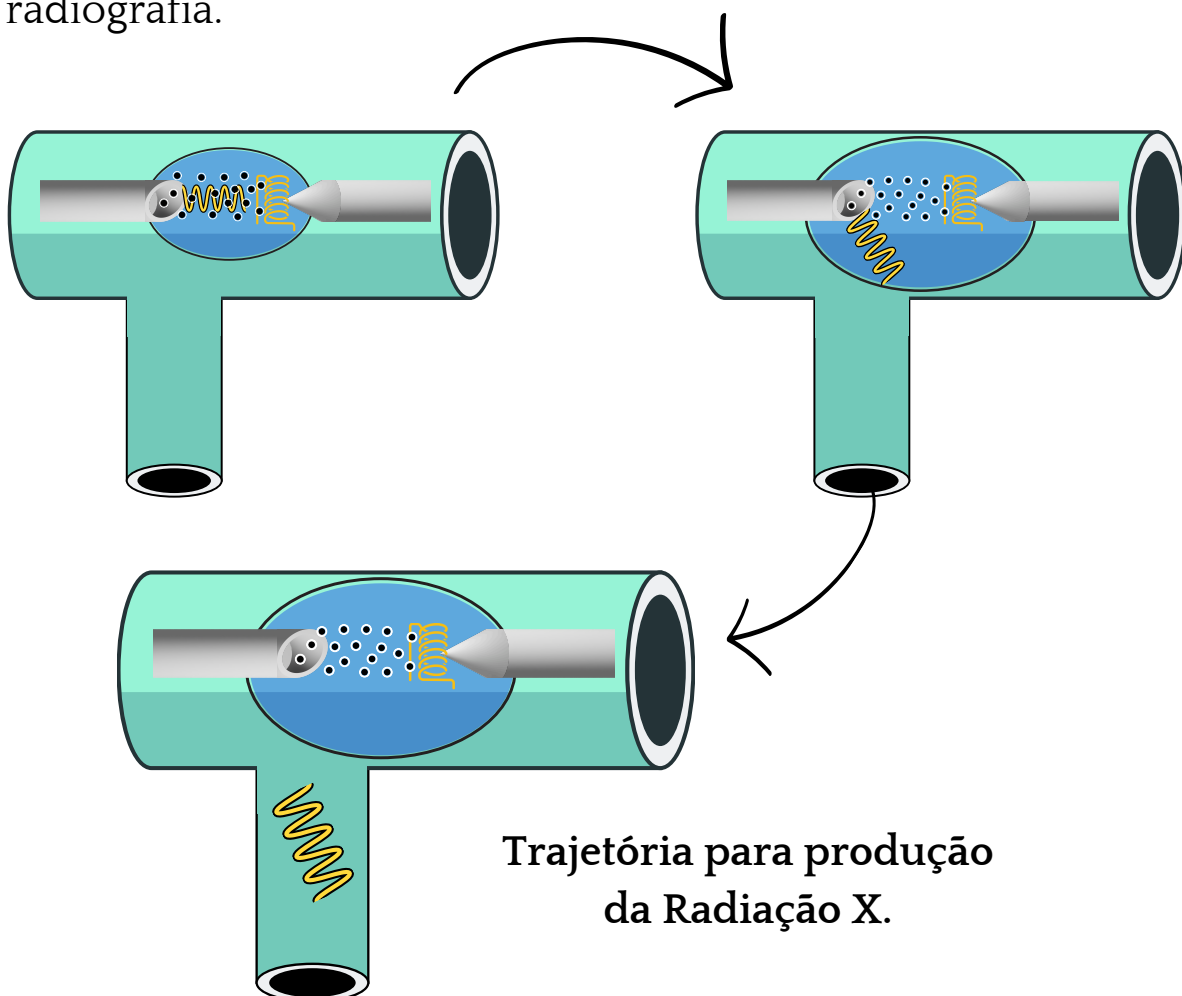
2 Produção de Raios-X

A produção de Raios-x também está relacionada com a Física Quântica!

Ocorre a aceleração de elétrons com o objetivo de que se choquem para perder energia e manifeste o espectro de raios-x.

Os elétrons são submetidos a uma diferença de potencial da ordem de KiloVolts para que se choquem com o Anodo e criem fótons Raio-x.

A radiação produzida consegue atravessar o corpo humano e quando se depara com átomos mais densos e um filtro fotográfico consegue produzir contraste e gerar a famosa radiografia.



2 Produção de Raios-X

Através dos Raios-X várias áreas conseguiram se desenvolver para ajudar a sociedade!

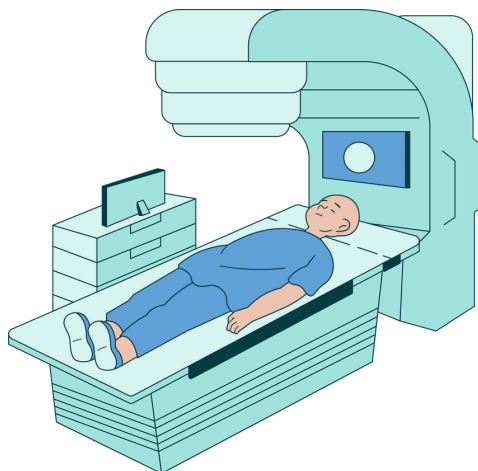


Radiologia



Através dela foi possível criar a **radioterapia**

Radiologia é uma especialidade da medicina que utiliza as radiações para realizar diagnósticos, controle e tratamento de doenças. A radioterapia é um tratamento que utiliza radiações* ionizantes para destruir células do tumor, ou impedir uma proliferação. O curto comprimento de onda das radiações permite que elas atinjam a unidade fundamental da vida - as células!



Representação de uma estação de radioterapia.

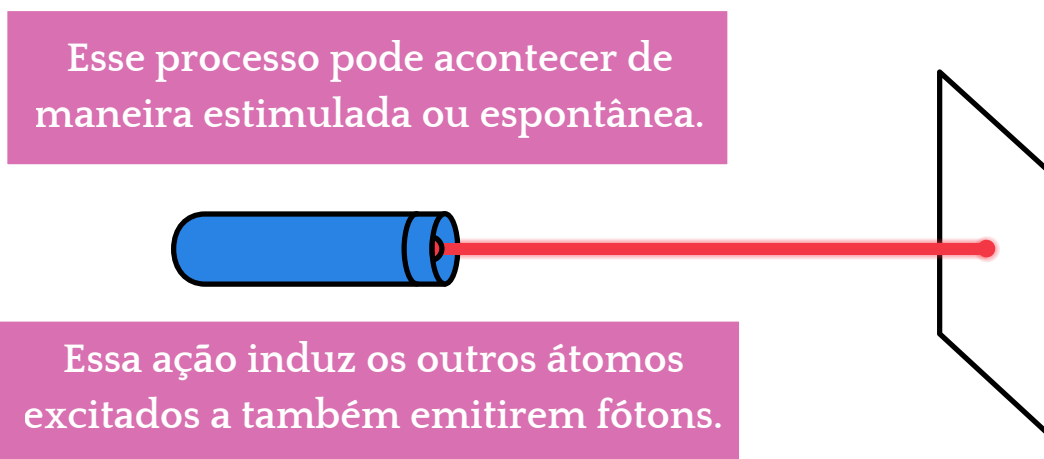
* Radiação é um processo físico de emissão (saída) e de propagação (deslocamento) de energia por meio de partículas ou de ondas eletromagnéticas em movimento.

3 Lasers

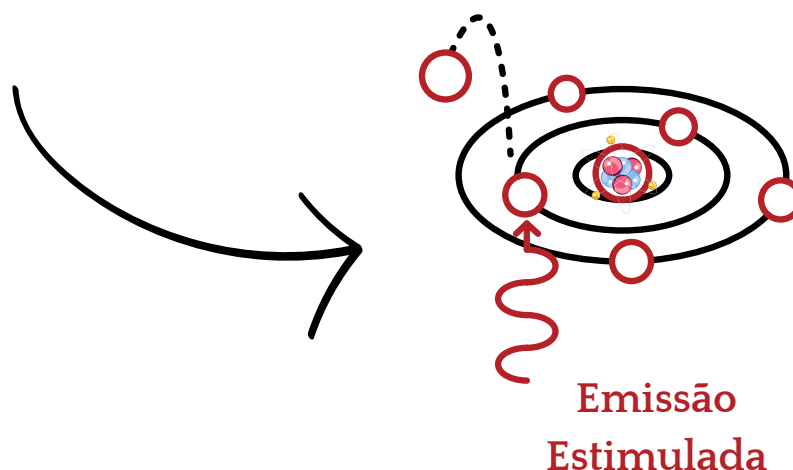
Amplificador de Luz por Emissão de Radiação Estimulada

O nome já diz, a emissão de fótons (partículas de luz) por excitação de átomos é o funcionamento fundamental de qualquer laser.

A interação de um fóton com um elétron na órbita de um átomo que faça com que ele saia de uma camada fundamental para outra, significa que esse átomo tornou se excitado.



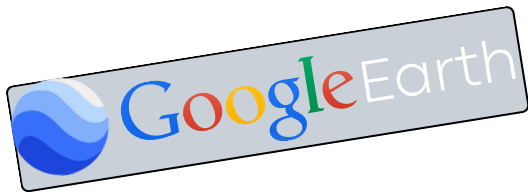
Na forma estimulada, que é a que nos interessa, um fóton incidente estimula um átomo excitado a emitir dois fótons idênticos ao que o atingiu.



4 GPS

Sistema de Posicionamento Global (GPS)

Hoje em dia, a maioria dos dispositivos móveis possuem GPS!



Google Maps



Atualmente, os satélites GPS usam relógios atômicos tradicionais, que são baseados em transições eletrônicas em átomos de césio ou rubídio. Esses relógios atômicos são notavelmente precisos e são essenciais para o funcionamento preciso do sistema GPS. Eles fornecem marcas de tempo extremamente precisas para os sinais de rádio transmitidos pelos satélites.

No entanto, há estudos que buscam implementar os relógios quânticos por apresentar maior potencial de desempenho e precisão. Os relógios quânticos são uma nova geração de relógios atômicos que exploram fenômenos quânticos, como transições atômicas ultrafrias e interferência quântica, para alcançar níveis de precisão ainda maiores do que os relógios atômicos tradicionais. Eles têm o potencial de melhorar ainda mais a precisão do sistema GPS.

Existem vários tipos de relógios quânticos, incluindo relógios de íons presos, relógios de átomos frios, relógios de redes ópticas, entre outros. Cada um deles explora propriedades quânticas específicas para medir o tempo com precisão.

5 LEDs

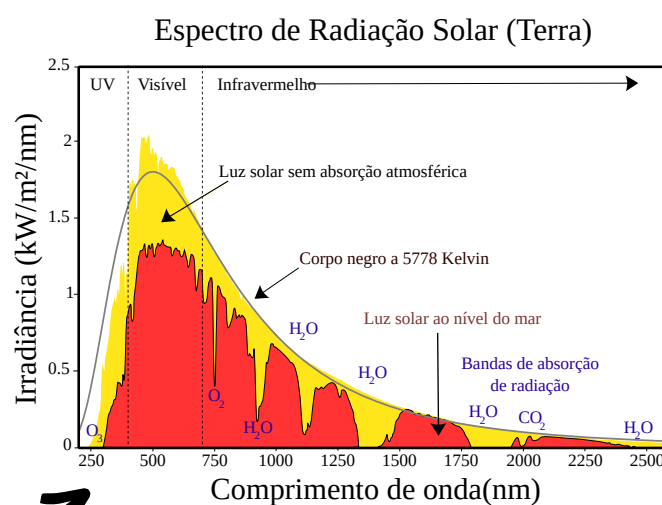
Diodo emissor de luz (LED)

Lembra da constante de Planck?

No século 19, havia uma problemática na Física Clássica que envolvia a explicação do porque objetos muito quentes emitem uma cor vermelha específica. Max Planck sugeriu uma expressão matemática que explicava o espectro de emissão de energia do corpo negro.

Corpo negro na Física Clássica:

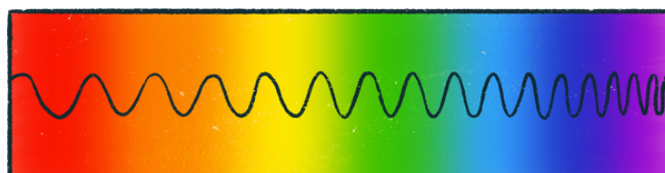
Meio ou substância que absorve toda energia incidente sobre ele.



Cada LED é composto de um cristal e através da constante de Planck é possível entender o comportamento característico dos elétrons ao passarem por esses cristais, porque assim pode-se determinar o espectro da luz visível liberado pelo elétron.

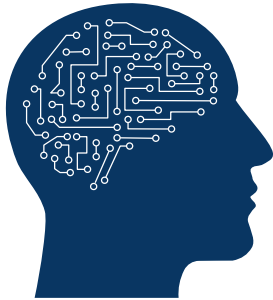
Lâmpadas de LED se baseiam em saltos quânticos para emitir luz e conseguem produzir luz em faixas de frequência bem definidas gerando cores específicas ao espectro que contribuem para criação do RGB.

RGB é a sigla de um sistema de cores aditivas em que o **Vermelho**, o **Verde** e o **Azul** são combinados de várias formas de modo a reproduzir um largo espectro cromático.

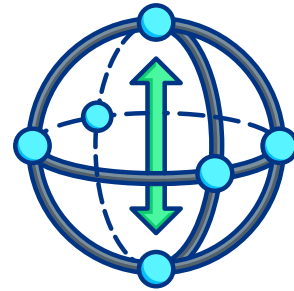


Tem mais...

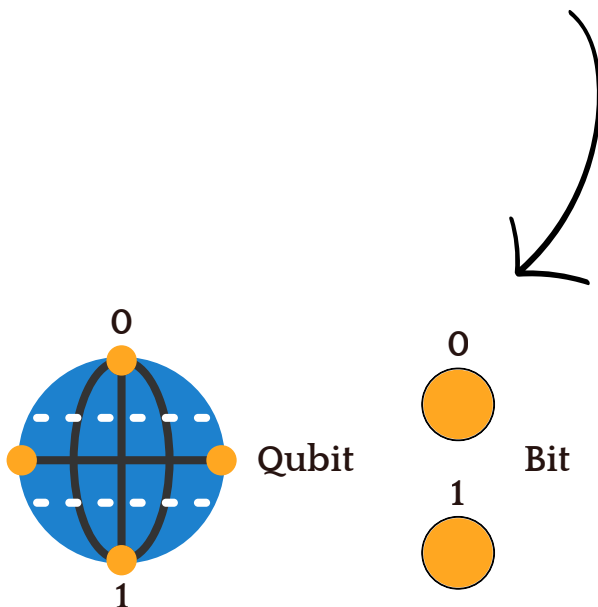
Computadores quânticos



```
010 0101001
010 1111101
101 0101010
0100100101001
1110101111101
0100100101001
```



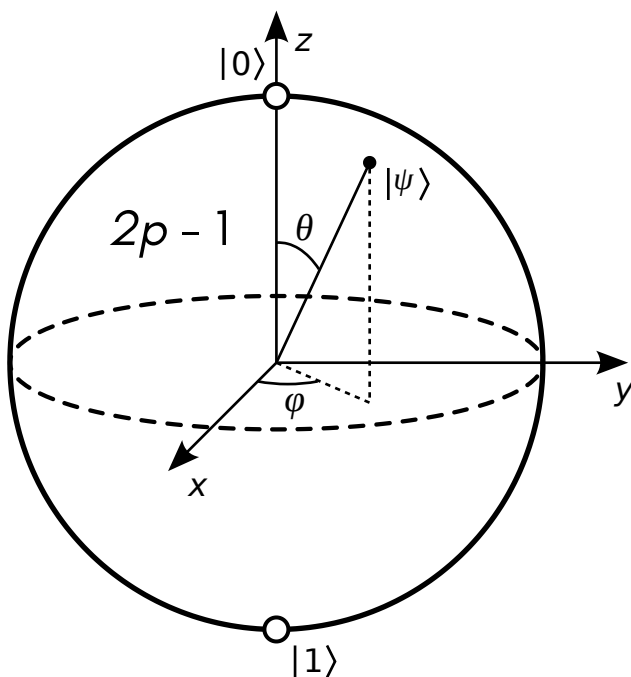
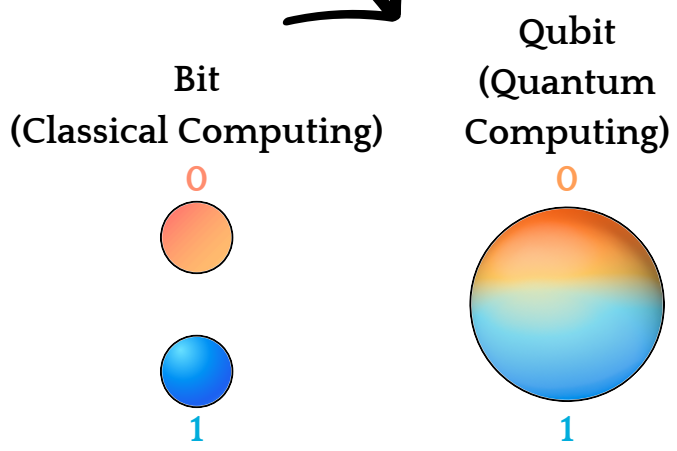
Você já deve ter ouvido falar da linguagem binária, neste caso, da chamada Computação Clássica. Os bits da Computação Clássica apresentam apenas dois valores de processamento, o zero e o um. No caso da Computação Quântica a métrica para transmissão de informação é baseada em qubits, ou bits quânticos.



Essa é a questão limitante, os valores de processamento. Os Qubits conseguem processar mais informações em determinadas situações.

A vantagem dos **Qubits**, nesse caso, é que eles estão em estado de superposição e podem processar mais informações do que o sistema binário da Computação Clássica.

A superposição, como vimos no post do Gato Schrödinger é um estado que partículas subatômicas adotam quando não estão sob observação.

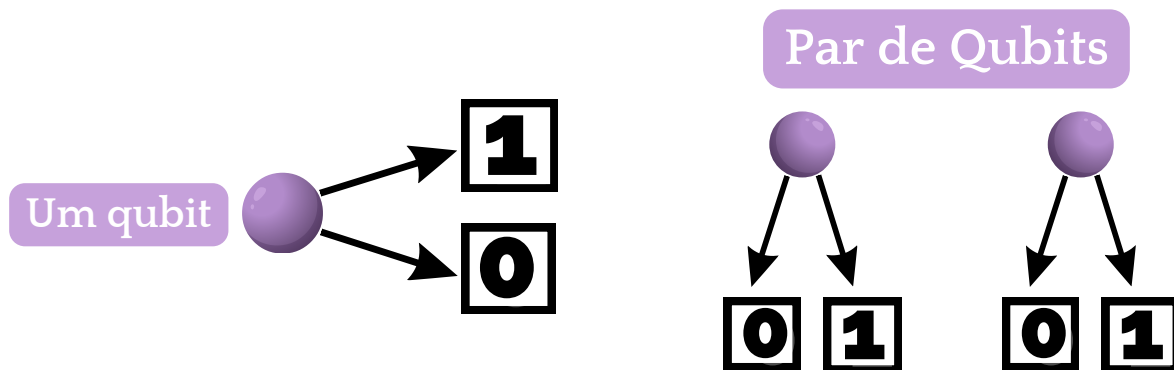


Qubits podem ser íons presos, fótons, átomos artificiais ou reais e quase-partículas.

Os Qubits podem representar zero (0), um (1) ou qualquer proporção desse mesmo valor.

Um Qubit pode conter uma quantidade infinita de informações. Mas sua informação é extraída após sua medição, sempre que um Qubit é medido o resultado é algo na ordem de 0 a 1.

A relação que define o desempenho do **qubit (bit quântico)** em relação ao **bit clássico** é conhecida como o “princípio de superposição” e o “princípio de entrelaçamento” e são responsáveis pelas capacidades computacionais avançadas dos qubits em comparação com os bits clássicos.



Aqui está uma explicação sucinta:

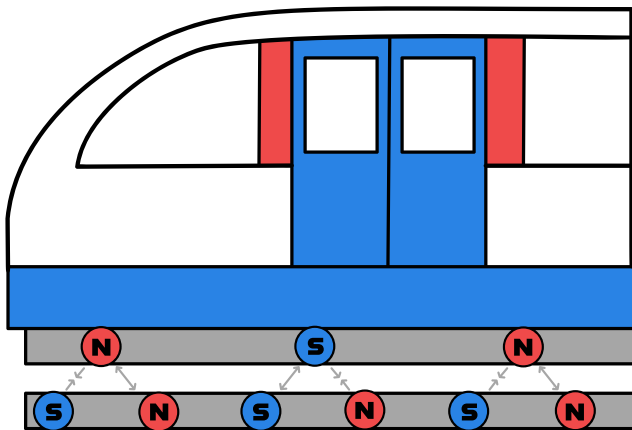
- O princípio de superposição permite que um qubit exista em uma superposição de múltiplos estados ao mesmo tempo. Isso significa que, ao contrário de um bit clássico, que pode estar em um estado 0 ou 1, um qubit pode estar em um estado $|0\rangle$, um estado $|1\rangle$ ou uma combinação linear dos dois estados, representada como $\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$, onde α e β são números complexos. Isso permite que um qubit realize cálculos em paralelo, aumentando dramaticamente sua capacidade computacional.
- O princípio de entrelaçamento estabelece que dois qubits podem estar correlacionados de tal forma que o estado de um qubit esteja intrinsecamente ligado ao estado do outro, mesmo que estejam separados por grandes distâncias. Essa propriedade permite a criação de sistemas quânticos complexos, como qubits entrelaçados, que têm aplicações importantes em comunicação quântica e computação quântica.

Esses princípios permitem que os qubits realizem cálculos mais poderosos e tenham um potencial revolucionário para resolver certos problemas computacionais de forma muito mais eficiente do que os bits clássicos. Isso é o que torna a computação quântica tão promissora para uma ampla gama de aplicações, incluindo criptografia, simulação de sistemas quânticos, otimização e muito mais.

Supercondutores

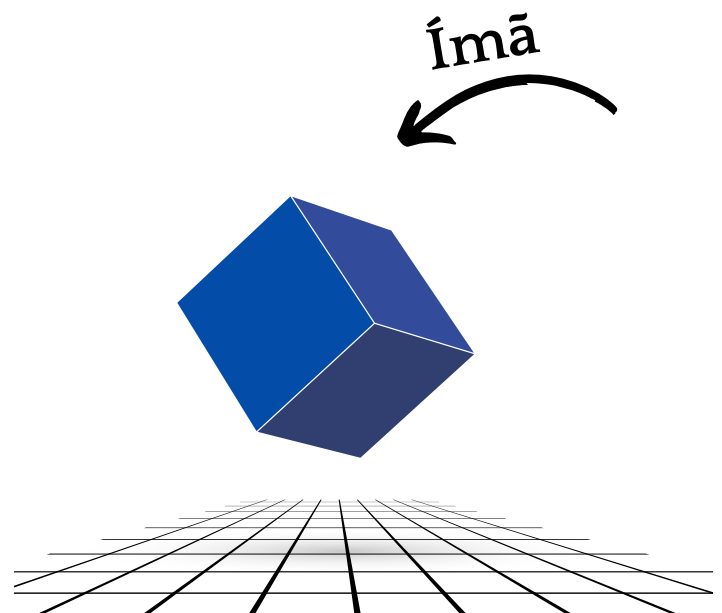
Já ouviu falar dos trens de levitação magnética?

Vamos te explicar como eles se envolvem com a Física Quântica!



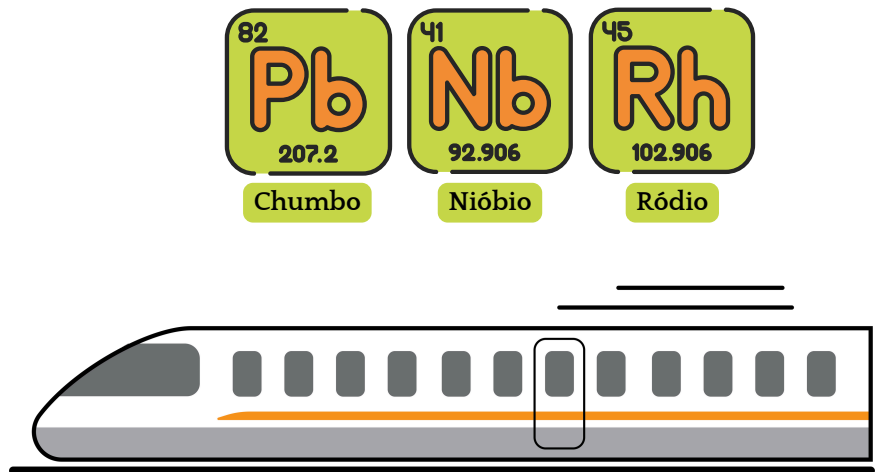
Supercondutores são materiais que sob certas circunstâncias próximas ao zero absoluto apresentam resistência nula e deixam de possuir perdas por calor no transporte de energia.

O campo magnético do ímã faz com que o supercondutor crie seu próprio campo magnético, essa repulsão mútua produz o efeito de levitação.



Efeito de levitação

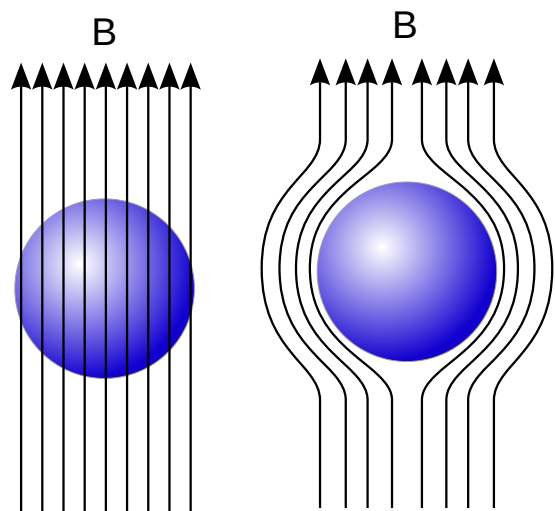
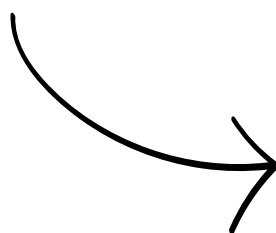
Comumente, chamados de Maglev, esses trens utilizam princípios quânticos para atingir altas velocidades (600 km/h).



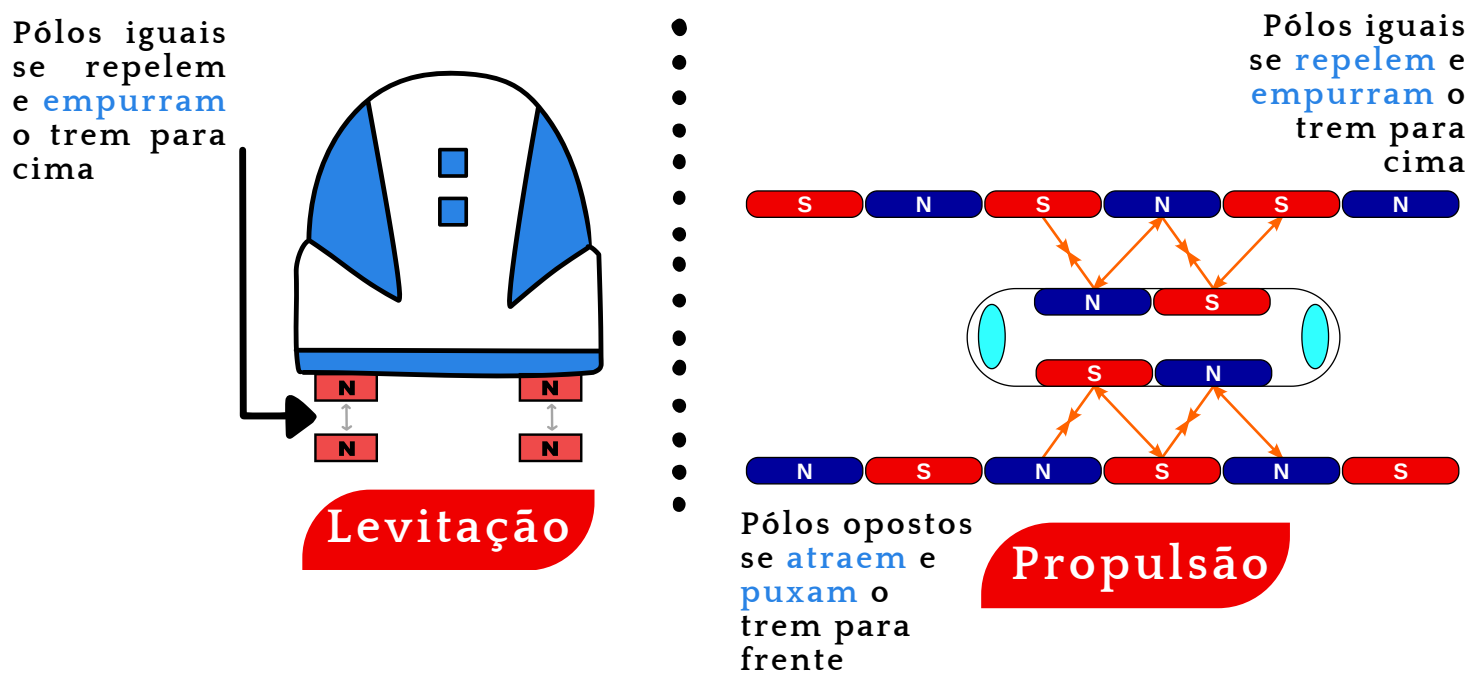
Vamos entender?

Metais são feitos de íons carregados positivamente cercados de elétrons. Mas os elétrons livres para formar corrente precisam vencer forças que se opõem ao seu movimento, neste caso, vibrações de íons oscilantes que geram a resistência elétrica.

Nos supercondutores, os elétrons se unem para passar pelos íons carregados positivamente



A explicação vem do comportamento das partículas em temperaturas próximas ao zero absoluto, alterando o estado da matéria - e envolve o condensado de Bose-Einstein.



Condensado de Bose-Einstein

É um estado da matéria obtido quando um gás é submetido a temperaturas muito próximas do zero absoluto e que produz comportamentos incomuns à matéria - resistência nula, no caso dos supercondutores. No caso do MAGLEV, utiliza-se Nitrogênio líquido à 77 K (-196,15°C).

Esses são apenas alguns exemplos de como a Física Quântica permeia nossa vida cotidiana. Apesar de muitas vezes não estarmos cientes disso, essa teoria tem contribuições significativas em várias áreas da ciência e tecnologia, desempenhando um papel fundamental em nosso mundo moderno.

Armadilhas camufladas de ciência



Física Quântica *versus* Pseudociência

A Física Quântica é uma teoria científica bem estabelecida, baseada em princípios matemáticos sólidos e comprovada por uma ampla gama de experimentos.

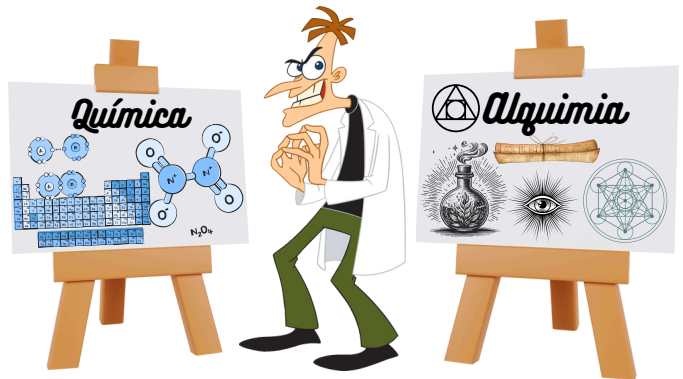
Por outro lado, a pseudociência é uma forma de conhecimento que se apresenta como científica, mas que não segue os princípios e métodos científicos. A pseudociência geralmente carece de base empírica sólida, não é testável, não passa por revisão por pares e não é sustentada por evidências científicas. Ela pode ser baseada em crenças, ideias infundadas ou até mesmo fraudes.

A pseudociência gera armadilhas em diversas áreas. Portanto, é essencial manter um olhar crítico e cético em relação a alegações pseudocientíficas que utilizam conceitos da Ciência de maneira errônea.

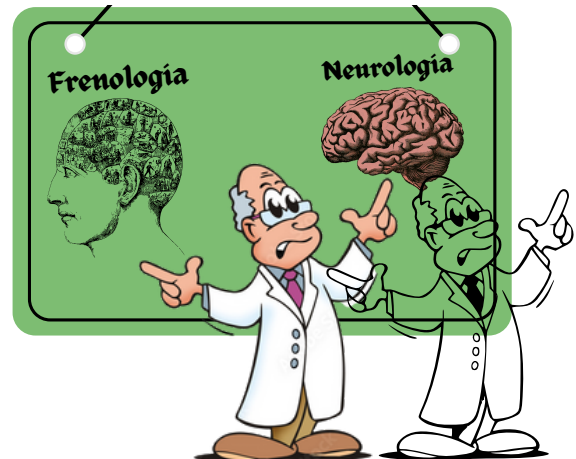
Astrologia x Astronomia



Química x Alquimia



Frenologia x Neurologia



Charlatanismo Quântico

Primeiramente, o que é o charlatanismo?

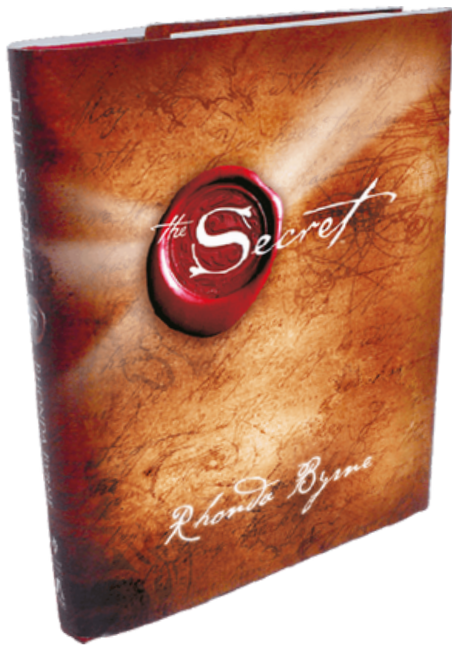
Por definição, o charlatão é:

Aquele que se utiliza da boa-fé de alguém, geralmente, fingindo atributos e qualidades que não possui, para obter (dessa pessoa), quaisquer vantagens. Quem comercializa medicamentos, supostamente, milagrosos, enganando o público.

O charlatanismo é a prática do charlatão

Infelizmente, essa prática tem se tornado muito mais recorrente com a popularização dos meios de comunicação. Oportunamente, no caso da Física Quântica, distorce os fenômenos e princípios para explicar questões existencialistas humanas de maneira irresponsável.





O livro "The secret - O Segredo" escrito por Rhonda Byrne, se tornou mundialmente conhecido por apresentar conceitos da física quântica para autoajuda. O livro promove a ideia de que os pensamentos positivos e a visualização podem atrair sucesso, felicidade e bem-estar para a vida das pessoas. No entanto, muitos físicos e cientistas têm críticas sérias em relação às afirmações feitas no livro, principalmente devido à falta de embasamento científico e à interpretação errônea de conceitos da física.

Um exemplo de citação do livro é:

"Os físicos quânticos nos dizem que todo o Universo surgiu de pensamento!" (p.15) "A física quântica ... diz que você não pode ter um universo sem a mente entrar nele, e que a mente é realmente moldada a mesma coisa que é percebida." (p.20) "O trabalho incrível de descobertas dos físicos quânticos ao longo dos últimos 80 anos, trouxe-nos uma maior compreensão do poder incomensurável da mente humana para criação." (p. 21)

Seria uma filosofia do **Princípio da Incerteza**?

Pode até ser!

Mas, a partir do momento que utiliza teorias quânticas como embasamento para ideias existencialistas aleatórias, torna sua divulgação irresponsável!

Explicaremos as consequências desses embasamentos teóricos para situações cotidianas que não condizem com a realidade a seguir!

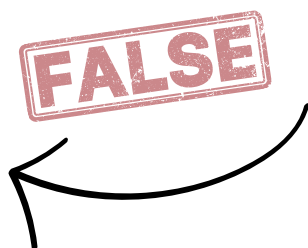
Como o Charlatanismo nos afeta?

Em muitos casos através do que consumimos!

Com objetivo do lucro, diversas marcas utilizam teorias quânticas para embasar seus produtos. O problema é que, muitas vezes, acabam por perpetuar a **desinformação**.



Por exemplo, numa pesquisa rápida encontramos esse produto que promete **vibrar em determinada frequência e trazer algo para sua vida**, como prosperidade, felicidade ou dinheiro!



E o que ocorre na realidade?

Sabemos que a Física Quântica trabalha com frequência, ondas e até mesmo vibração das partículas, mas afirmar que uma combinação de substâncias vibrarão para alterar um estado de espírito em sua vida de algum modo é no mínimo, enganoso. Trata-se de estratégias de marketing para ganhar dinheiro.

É como se o consumidor final não soubesse o que está comprando porque a descrição é baseada em desinformação!

Veja mais uns exemplos de produtos vendidos com a lógica charlatã!

1



Gel quântico para harmonização da energia imunológica e adrenal

Intitulado como "modulador freqüencial floral"

2

"Floral Quântico" que promete neutralizar frequências para harmonização

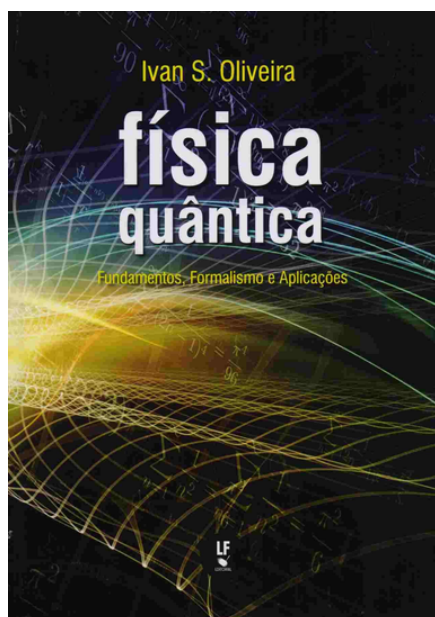


Perceba que é sempre a alteração de alguma frequência ou correção de algo errado.

Beleza!

Mas como conseguir fontes confiáveis sobre a Física Quântica?

Algumas referências para consulta:



Física Quântica.
Fundamentos,
Formalismo e Aplicações
por Ivan S. Oliveira



50 ideias de física
quântica que você
precisa conhecer
por Joanne Baker



O mistério quântico
por Andrés Cassinello



Você também pode conferir as referências utilizadas no nosso E-book.



Créditos

✓ **INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA (IFBA).**

Esta pesquisa incorpora o projeto de Iniciação Científica (IC) do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica para o Ensino Médio (PIBIC-EM) aprovado no edital nº Edital nº 02/2022/PRPGI/IFBA, com o título "Divulgação científica em rede social: uma prática no Instagram para entender a mecânica quântica".

✓ **WORLD QUANTUM DAY**

Realizamos a 2ª edição da Semana Quântica com credenciamento do evento global World Quantum Day. A 2ª Edição da Semana Quântica surgiu como a primeira incorporação desta Iniciação Científica. O evento teve como objetivo propagar conhecimentos de Física Quântica de maneira ilustrada e menos complexa de modo a tornar os conteúdos mais acessíveis por meio do Instagram.

✓ **REVISÃO EDITORIAL**

Madãya dos Santos Figueiredo de Aguiar. Bacharel, licenciada, mestre em Física e doutora em Ensino, Filosofia e História das Ciências. Professora da Universidade Federal da Bahia.

✓ **CONHEÇA AS PUBLICAÇÕES
REFERENTES AS QUATRO
EDIÇÕES DA SEMANA
QUÂNTICA (2021-2025)**

getupscience



PRPGI
Pró-Reitoria de Pesquisa,
Pós-Graduação e Inovação



INSTITUTO FEDERAL
Bahia

Referências:

BAKER, J. **50 ideias de física quântica que você precisa conhecer**; tradução Rafael Garcia. - 1. ed. - São Paulo: Planeta, 2015.

COOPER, K. **Quarks: What are they?** Space, Nova York, 01, nov. 2022. Disponível em: <https://www.space.com/quarks-explained>. Acesso em: 27, dez. 2022.

HOSTI, B. P. **Entendendo o Modelo Padrão e as partículas fundamentais**. <https://www.espacotempo.com.br/modelo-padroo-particulas-fundamentais/> acesso 23 de março de 2023.

MANN, Adam. **What is antimatter?** Live Science, 14, dez. 2021. Disponível em: <https://www.livescience.com/32387-what-is-antimatter.html>. Acesso em: 28, dez. 2022.

MOREIRA, M. A. **A física dos quarks e a epistemologia**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 2, p. 161-173, 2007.

MOREIRA, M. A. **O Modelo Padrão da Física de Partículas**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 31, n. 1, 1306 (2009).

NETO, O.; DE, J. V. **As aplicações da física quântica no cotidiano: uma análise dos livros de física do ensino médio**. memoria.ifrn.edu.br, 30 jul. 2019. Acesso em: 8 abr. 2023

OLIVEIRA, I. S. **Física Moderna: para iniciados, interessados e aficionados**, volume 1/Ivan S. Oliveira. P. 159-160. — São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005.

PIMENTA, J. J. M. et al.; **O bóson de Higgs**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 35, n. 2, 2306 (2013).

PRÁSS, P. A. R. **Os Raios X**. Disponível em: <https://www.fisica.net/mecanica-quantica/efeito-fotoeletrico/os-raios-x.php>. Acesso em: 8 abr. 2023.

SINTRA, R. **Tendo como base os qubits - eis o Computador Quântico**. Disponível em: <https://www2.ifsc.usp.br/portal-ifsc/tendo-como-base-os-qubits-o-computador-quantico/>. Acesso em: 8 abr. 2023.

5 ocasiões do seu dia a dia em que a física quântica está presente. Disponível em: <https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/noticia/2021/07/5-ocasioes-do-seu-dia-dia-em-que-fisica-quantica-esta-presente.html>. Acesso em: 8 abr. 2023.

Aula 7.2 - Princípio de dualidade onda-partícula de De Broglie/ Propriedades da Luz. Disponível em: <https://noic.com.br/materiais-fisica/cursos/aula-7-2-principio-de-dualidade-onda-particula-de-de-broglie-propriedades-da-luz/>. (Acessado em: 08/04/2023)

Charlatão. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/busca?id=GOPY>. Acesso em: 8 abr. 2023.

Como funciona o Sirius? - LNLS. Disponível em: <https://lnls.cnpem.br/sirius/como-funciona-o-sirius/>. Acesso em: 8 abr. 2023.

Confira 5 usos da tecnologia quântica em nosso dia a dia. Disponível em: <https://www.showmetech.com.br/5-usos-tecnologia-quantica/>. Acesso em: 8 abr. 2023.

Explore o bóson de Higgs com mais detalhes e descubra por que ele é tão especial com o CERN. <https://home.cern/science/physics/higgs-boson>. Acesso em 8 de abril de 2023.

Física quântica será ainda mais presente no cotidiano. Disponível em: <https://jornal.usp.br/atualidades/fisica-quantica-sera-ainda-mais-presente-no-cotidiano/>. Acesso em: 8 abr. 2023.

INCT IQ - Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Informação Quântica. Disponível em: <https://inctiq.ifufrj.br/>. Acesso em: 8 abr. 2023.

LDR - O que é e como funciona! - Manual da Eletrônica. Disponível em: <https://www.manualdaeletronica.com.br/ldr-o-que-e-como-funciona/>. Acesso em: 8 abr. 2023.

O computador quântico do futuro: uma construção simples e inovadora com a tecnologia existente. Mistérios do Universo, [s.d.]. Acesso em: 8 abr. 2023.

O que é uma partícula. Artigo traduzido da Symmetry Magazine. Autor: Matthew R. Francis. Acesso em: 8 abr. 2023.

O supermaterial que promete uma revolução energética. BBC News Brasil, [s.d.]. Acesso em: 8 abr. 2023.

Produção de Raios X. Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/fismod/mod05/m_s01.html. Acesso em: 8 abr. 2023.

Radioterapia. Disponível em: <https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/cancer/tratamento/radioterapia>. Acesso em: 8 abr. 2023.

REPRODUÇÃO, U. SITE DA P. N. F. C. J. C. © 2022 T. O. D. R. P. A CÓPIA OU et al. **IBM acaba de revelar o primeiro computador quântico comercial do mundo**. Disponível em: <https://www.jornalcincia.com/ibm-acaba-de-revelar-o-primeiro-computador-quantico-comercial-do-mundo/>. Acesso em: 8 abr. 2023.

Lista de ilustrações:

Representação da experiência de Dupla Fenda - <https://energywavetheory.com/explanations/double-slit-experiment/> - p. 8.

Comparação da Função de Onda de Schrodinger com deslocamento da partícula - Baker, Joanne 50 ideias de física quântica que você precisa conhecer / Joanne Baker; P. 62. Tradução: Rafael Garcia. - 1. ed. - São Paulo: Planeta., 2015. - p. 9.

Representação da detecção do Bóson de Higgs - <https://home.cern/resources/image/physics/higgs-collection-images-gallery> - p. 10.

Relação do Modelo Padrão - http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/00/Standard_Model_of_Elementary_Particles.svg/819px-Standard_Model_of_Elementary_Particles.svg.png - p. 10.

Trem Maglev - <https://techdrive.co/japan-gifts-5b-to-u-s-to-build-its-first-maglev-train/> - p. 11.

Remédio Quântico com nome da marca escondida - <https://www.lojaquanticlife.com.br/linha-neutralizacao/detox/metal-detox-ii> - p. 11.

Representação teórica do Gráviton - <https://www.writework.com/essay/graviton-research-paper-theoretical-particle> - p. 11

Fotografia de Richard Feynman - <https://medium.com/starts-with-a-bang/how-richard-feynman-convinced-the-naysayers-60-years-ago-that-gravitational-waves-are-real-4235ae895ee9> - p. 12.

Quadrinho do artigo "O que é uma Partícula" da Symmetry Magazine - Fonte: <https://www.symmetrymagazine.org/article/what-is-a-particle> - p. 13.

Representação da Força Eletromagnética, partícula do Fóton e do Elétron - <https://www.writework.com/essay/graviton-research-paper-theoretical-particle> - p. 13.

Representação da estrutura do átomo - <https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/protons.htm> - p. 14.

Representação do Bóson W e Z - <https://www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/particle-physics/content-section-8.1> - p. 18.

Representação da menor estrutura Quark - https://www.fnal.gov/pub/today/archive/archive_2012/today12-03-09_NutshellReadMore.html - p. 19.

Imagem das crianças abraçadas - <https://www.seedskills.edu.au/industry-partners/residential-care/> - p. 21.

Representação do Quark e suas forças de interação - <https://www.anl.gov/phy/3d-structure-of-protons-and-neutrons> - p. 21.

Representação do Quark UUD - https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Proton_quark_structur.e.svg - p. 21.

Logo do CERN - <https://vectorlogoseek.com/cern-vector-logo-svg/> - p. 24.

Foto do Large Hadron Collider (LHC) - <https://www.universtructure.com/residency> - p. 26.

Foto de explosão para ilustração dos Fótons - <https://www.gratispng.com/png-n33qto/> - p. 27.

Foto de simulação do choque de Proton e Antiproton - <https://www.gratispng.com/png-g0bujz/> - p. 27.

Imagem do homem observando a energia escura - https://indico.cern.ch/event/734712/contributions/3030367/attachments/1663556/2666018/201806_Physics-at-the-LHC.pdf - p. 27.

Retrato de Paul Dirac - <https://www.britannica.com/browse/Physicists> - p. 29.

Retrato de Carl Anderson - <https://www.britannica.com/biography/Carl-David-Anderson> - p. 29.

Foto do "Higgs Boson" - <https://pt.dreamstime.com/imagens-de-stock-part%C3%ADcula-retro-do-higgs-boson-dos-desenhos-animados-image37598184> - p. 30.

Representação do próton, nêutron e elétron como partículas subatômicas - <https://quizlet.com/510637530/unidad-1-estructura-atomica-tabla-periodica-2020-21-flash-cards/> - p. 31.

Retrato de Peter Higgs - <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abq4315> - p. 32.

Representação do Bóson de Higgs com multidão - <http://cds.cern.ch/record/1221471> - p. 32.

Foto do Peter Higgs no Grande Colisor de Hádrons - <https://home.cern/resources/image/physics/higgs-collection-images-gallery> - p. 34.

Postagem online do CERN sobre a observação do boson de higgs - <https://twitter.com/CERN/status/220425130793385985> - p. 35.

Foto dos pesquisadores do CERN - <https://www.science.org/doi/10.1126/science.337.6091.141> - p. 35.

Peter Higgs cumprimentando mulher de vermelho - <https://coraifeartaigh.files.wordpress.com/2008/04/higgs-ucc-20122.ppt> - p.35.

Lista de ilustrações:

Imagem do experimento de dupla fenda - https://photos.com/featured/illustration-of-thomas-youngs-double-slit-experiment-showing-that-light-travels-as-a-wave-and-not-dorling-kindersley.html?utm_source=GettyImages&utm_medium=website&utm_campaign=GettyImagesBuyPrint - p. 37.

Foto da trajetória da bola em campo de tênis - <https://www.nytimes.com/2006/08/20/sports/playmagazine/20facing-federer-2.html> - p. 38.

Retrato do cientista De Broglie - <https://www.sciencephoto.com/media/908180/view/louis-de-broglie-french-physicist> - p. 38.

Ilustração da quantidade de energia necessária sobre uma placa de potássio para expulsar um elétron - <https://sites.ifi.unicamp.br/lfmoderna/conteudos/efeito-fotoeletrico/> - p. 38.

Foto do livro “História da teoria quântica” - <https://www.americanas.com.br/produto/119874881/livro-historia-da-teoria-quantica-a-dualidade-onda-particula-de-einstein-a-de-broglie> - p. 39.

Imagem da Lâmpada - (https://www.pngitem.com/middle/iohmRmh_there-is-a-light-bulb-facing-upwards-light/) - p. 40.

Experimento dupla fenda e comportamento de dualidade onda-partícula - <https://blogs.20minutos.es/ciencia-para-llevar-csic/tag/feynmann/> - p. 40.

Retrato de James Clerk Maxwell - <https://www.timetoast.com/timelines/historia-de-la-fotografia-3a3b8b18-0e8a-45c5-8e8f-a9afa448b635> - p. 40.

Imagem do experimento de dupla fenda Baker, Joanne 50 ideias de física quântica que você precisa conhecer / Joanne Baker; P. 22. Tradução: Rafael Garcia. - 1. ed. - São Paulo: Planeta., 2015. - p. 41.

Representação do Princípio de Huygens - <http://homepage.ufp.pt/biblioteca/Estratigrafia%20Sequencial/Pages/PageP3.html> - p. 41.

Retrato de Werner Heisenberg - <https://www.britannica.com/biography/Werner-Heisenberg> - p. 44

Imagem do campo de futebol - <https://www.vecteezy.com/free-vector/soccer-field> - p. 45.

Homem batendo no hidrante - imagensanimadas.com/imag-acidente-de-carro-imagem-animada-0058-138277.htm - p. 46.

Gráfico do Princípio da Incerteza - <http://www.astro.iag.usp.br/~ronaldo/intrcosm/Glossario/PrinIncert.html> - p. 46.

Ilustração gráfica do Princípio da Incerteza após a observação - Baker, Joanne 50 ideias de física quântica que você precisa conhecer / Joanne Baker; P. 71. Tradução: Rafael Garcia. - 1. ed. - São Paulo: Planeta., 2015. - p. 47.

Ilustração do experimento de Schrödinger - <https://www.saberatualizado.com.br/2016/09/o-misterioso-gato-de-schrodinger.html> - p. 50.

Caricatura do cientista Erwin Schrödinger - <https://universoracionalista.org/schrodinger-um-quantico-atras-do-segredo-da-vida/> - p. 50.

Quadrinho do experimento de Schrödinger - <https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/noticia/2017/09/gato-o-de-schrodinger-entenda-o-que-e-o-experimento.html> - p. 51.

Imagem do computador quântico - <https://olhardigital.com.br/2019/09/18/noticias/ibm-anuncia-o-maior-computador-quantico-com-53-qubits/> - p. 57.

Foto do código binário - <https://extraconfidencial.com/noticias/la-importancia-del-codigo-binario-en-nuestro-dia-a-dia/> - p. 58.

Ilustração do Qubit - <https://www.shutterstock.com/image-vector/quantum-bit-visual-concept-vialization-260nw-1286966338.jpg> - p. 58.

Logo do INCT-IQ - <https://inctiq.if.ufrj.br/> - p. 59.

Foto do Sirius - <https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/noticia/2019/04/apesar-de-cortes-obras-avancam-no-acelerador-de-particulas-sirius.html> - p. 59.

Logo do CNPEM - <https://www.gov.br/mcti/pt-br/arquivos/contratos-de-gestao-organizacaoes-sociais/cnpem.png/view> - p. 59.

Ilustração do espectro da luz - (MUKAI, A. H. C. et al, 2014, p. 23) - p. 60.

Ilustração interna do Sirius e as Linhas de Luz - <https://lnls.cnpem.br/sirius/como-funciona-o-sirius/> - p. 60.

Relação das pesquisas realizadas no Sirius - <https://lnls.cnpem.br/linhas-de-luz/> - p. 61.

Poste de luz - <https://www.gratispng.com/png-fsvzko/> - p. 62.

Componente LDR - <https://www.marinostore.com/componentes/sensor-de-luminosidade-ldr-5mm> - p. 62.

Exemplo de porta automática - <https://vipdoor.com.br/vantagens-portas-automaticas/> - p. 63.

Frames da produção de raios-x - https://www.ifufrgs.br/tex/fis142/fismod/mod05/m_s01.html#:~:text=Raios%20X%20podem%20ser%20produzidos,dir e%20C%3%A7%20C%3%A3o%20a%20um%20alvo%20met%20C%3%A1lic o.&text=O%20choque%20do%20feixe%20de,dois%20tipos%20de%20raios%20X. - p. 64.

Estação de radioterapia - <https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/cancer/tratamento/radioterapia> - p. 65.

Lista de ilustrações:

Raio laser vermelho - <https://www.pngwing.com/pt/free-png-vvzik> - p. 66.

Imagem sobre emissão estimulada dos Lasers - <https://pt.slideshare.net/leinyilson/sistemas-de-telecomunicaes-aula-13-wifi-lifi-e-laser> - p. 66.

Raio laser vermelho - <https://www.pngwing.com/pt/free-png-vvzik> - p. 66.

Imagem sobre emissão estimulada dos Lasers - <https://pt.slideshare.net/leinyilson/sistemas-de-telecomunicaes-aula-13-wifi-lifi-e-laser> - p. 66.

Logo do Google Earth - <https://br.pinterest.com/pin/395964992235455515/> - p. 67.

Logo do Google Maps - <https://logospng.org/logo-google-maps/> - p. 67.

Pessoa segurando celular com Google Maps na tela - <https://www.nextpit.com.br/como-usar-google-maps-offline> - p. 67.

Ilustração do Spin do Elétron - <https://www.quantum-field-theory.net/discovery-electron-spin/> - p. 67.

Ilustração de fogueira acesa - https://br.freepik.com/vetores-premium/icone-de-fogueira-caricatura-queimando-carvao-chama-de-fogueira_39656505.htm - p. 68.

Gráfico de emissão de luz do corpo negro editado - <https://computeel.org/LOM3260/assets/classes/CorpoNegro.pdf> - p. 68.

Qubit representação - <https://www.sciencenews.org/article/quarter-century-ago-qubit-was-born> - p. 69.

Comparação de bit com qubit - <https://eism.eu/quantum-ai/> - p. 70.

Representação Qubit - <https://vitalflux.com/qubit-superposition-states-explained-examples/qubit-superposition-states/> - p. 70.

Imagem de ímã levitando - <https://www.fatosdesconhecidos.com.br/video-mostra-incriveis-experimento-que-faz-ima-levitar/> - p. 72.

Maglev na linha de trem - <http://gazettereview.com/2015/04/japan-maglev-train-breaks-record/> - p. 73.

Partículas em supercondutividade - <https://www.scienceabc.com/pure-sciences/what-are-cooper-pairs-how-are-they-responsible-for-superconductivity.html> - p. 73.

Levitação e Propulsão do Maglev (EDITADO) - <https://aenfer.com.br/2023/03/13/o-que-e-o-trem-maglev-e-como-ele-funciona/> - p. 74.

Desenho de cientista com as duas mãos levantadas - <https://stock.adobe.com/br/images/wissenschaftler/17818962> - p. 74.

Imagem de Cérebro com mapa frenológico - https://revistaadega.uol.com.br/artigo/o-resveratrol-pode-melhorar-memoria-aponta-pesquisa_9867.html - p. 75.

Ilustração do cérebro - <https://campusvirtual.fiocruz.br/portal/?q=palavra-chave-de-documentos/sistema-nervoso> - p. 75.

Imagem de cientista astrônomo - <https://www.pixwordsrespostas.com/respostas/astronomo> - p. 75.

Desenho de mão com símbolos - https://br.freepik.com/vetores-gratis/esboco-branco-lendo-no-conceito-de-palma_8396463.htm#page=16&query=simbolos%20de%20mao&position=8&from_view=keyword&track=ais - p. 75.

Desenhos de ilustrações astronômicas - <https://br.pinterest.com/pin/37365871895253630/> - p. 75.

Imagem de pergaminho - <https://br.pinterest.com/pin/734086807993148961/> - p. 75.

Cavalete para pintura - <https://www.pinterest.pt/pin/611926668092547778/> - p. 75.

Desenho de frascos com substâncias químicas - <https://br.pinterest.com/pin/577938564657355969/> - p. 75.

Ilustração de Benzo(c)phenanthrene em 3d - <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Benzo%28c%29phenanthrene-3D-balls.png> - p. 75.

Desenho do personagem Dr. Doofenshmirtz - https://disney.fandom.com/pt-br/wiki/Heinz_Doofenshmirtz - p. 75.

Desenho do símbolo de alquimia - <https://www.istockphoto.com/br/vetor/o-c%C3%ADrculo-quadrado-glifo-alqu%C3%ADmico-e-s%C3%ADmbolo-gm850920710-139761765> - p. 75.

Imagem escrito "Coach Quântico" - https://static-public.pages.hotmart.com/uploads/media/file/311013/Logo-coaching-qua_ntico-2.png - p. 76.

Mão com celular na mão - https://it.123rf.com/photo_35004292_telefono-in-mano-con-l-icoma-di-affari-da-vicino.html - p. 76.

Foto do livro The Secret - <https://lhxmagazine.mercadoshops.com.br/MLB-2120402721-livro-o-segredo-capa-dura-JM> - p. 77.

Livro Física Quântica. Fundamentos, Formalismo e Aplicações - <https://www.amazon.com.br/F%C3%ADsica-Qu%C3%A2ntica-Fundamentos-Formalismo-Aplica%C3%A7%C3%B5es/dp/8578616278> - p. 80.

Livro 50 ideias de Física Quântica que Você Precisa Conhecer - <https://www.amazon.com.br/ideias-f%C3%ADsica-qu%C3%A2ntica-voc%C3%AA-precisa/dp/8542206045> - p. 80.

Livro O Mistério Quântico - <https://www.amazon.com.br/Mist%C3%A9rio-Qu%C3%A2ntico-Andr%C3%A9s-Cassinello/dp/854221143X> - p. 80.

GABRIEL ADRIANO DE JESUS REIS
RAFAELLE DA SILVA SOUZA

Este Ebook é uma ferramenta valiosa para estudantes, entusiastas da ciência e curiosos que desejam explorar os segredos do universo quântico. Abrace a oportunidade de desvendar as maravilhas da Física Quântica e amplie seus horizontes científicos com uma leitura enriquecedora.

FÍSICA CONTEXTUALIZADA

