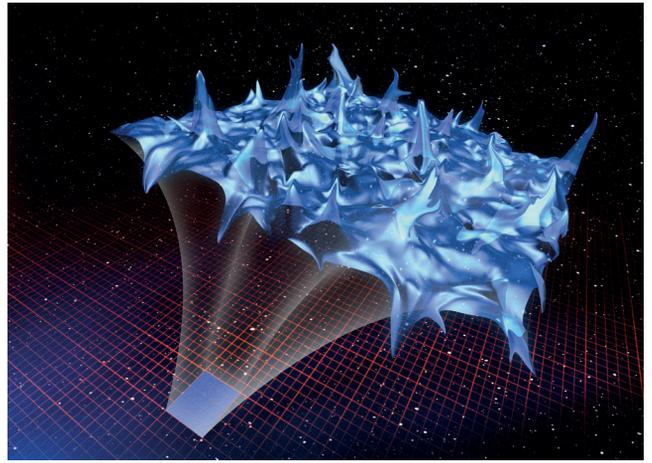
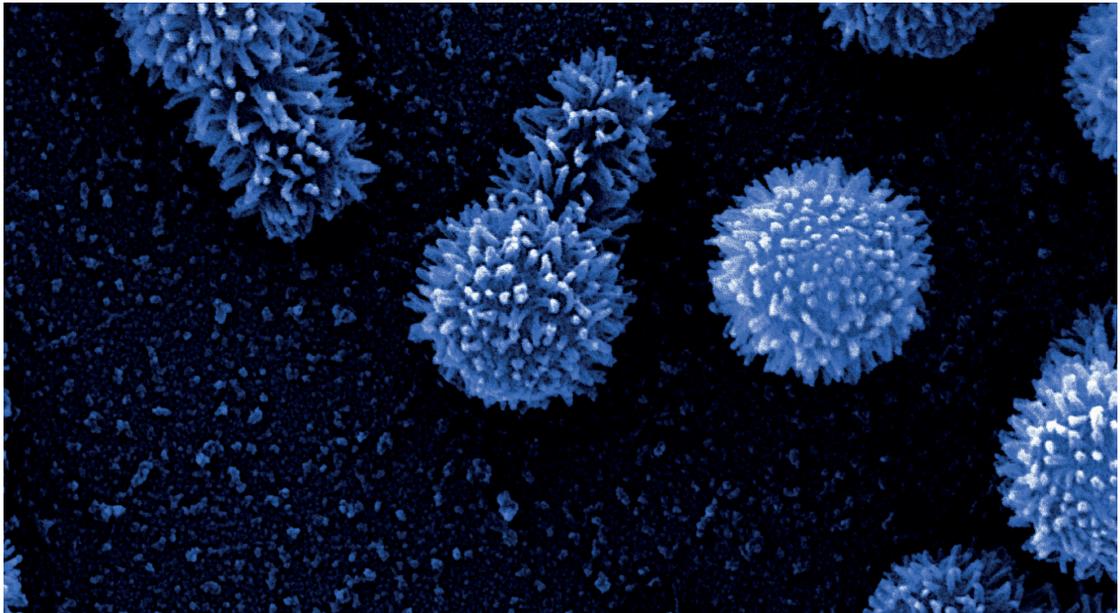


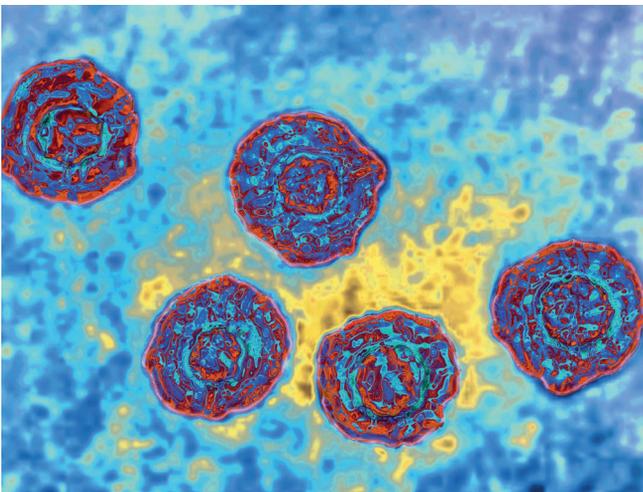
Imagem de um evento de neutrino na câmara de bolhas (p. 8). [Science Photo Library]



Representação artística do espaço na escala quântica de Planck (p. 9). [Science Photo Library]

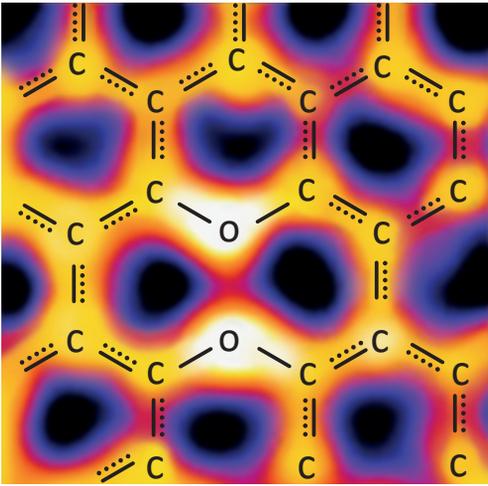


Tupanvírus ampliado 50.000 vezes, com detalhes de até $0,1 \mu\text{m}$ (100 nm) (p. 18). [Microbe TV]



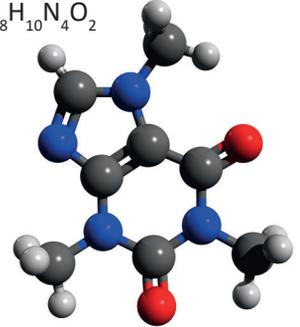
Getty Images

Vírus da hepatite C visto por um microscópio eletrônico de transmissão. O diâmetro real do vírus é de cerca de 22 nm (p. 18).



Imagens de átomos de oxigênio numa rede de carbono, vistos por um microscópio de varredura por tunelamento (p. 20).

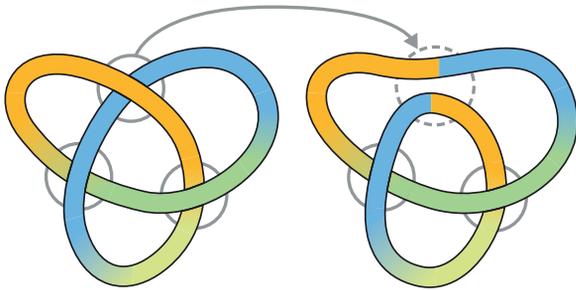
CAFEÍNA
 $C_8H_{10}N_4O_2$



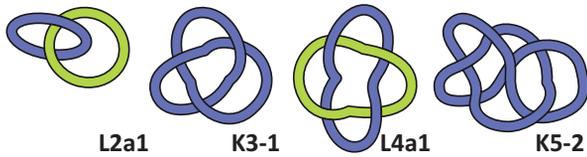
Um modelo moderno de bolas e varetas da molécula de cafeína, com 24 átomos (p. 28).

Shutterstock

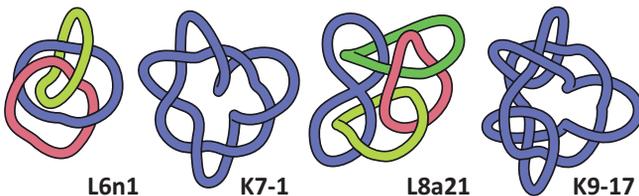
a **Reconexão**



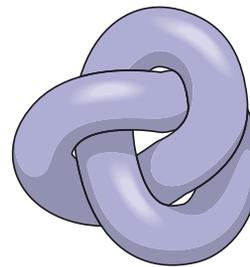
d $n = [1]$ $3[1]$ $4[3]$ $5[3]$



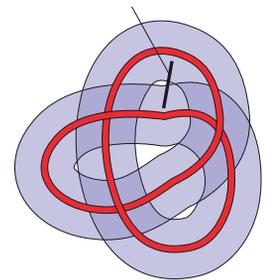
$6[13]$ $7[21]$ $8[81]$ $9[199]$



b **Nó ideal**

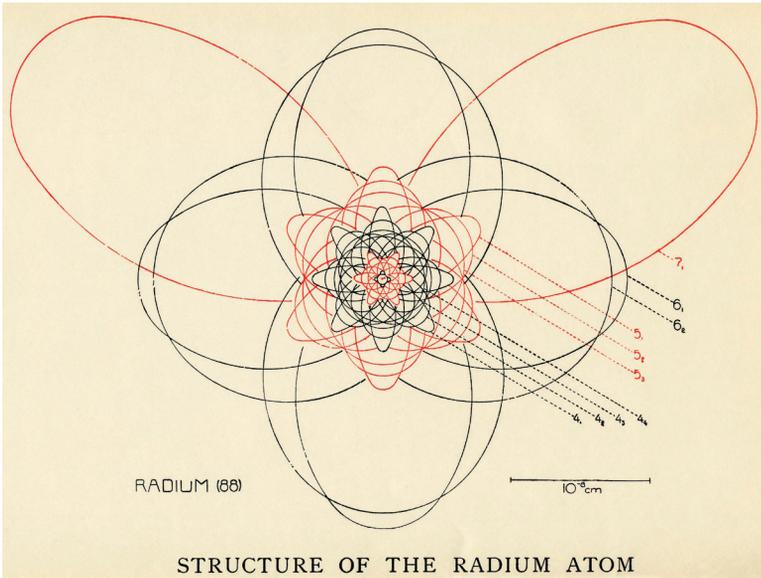


c $r_0 = d_{\text{corda}}$

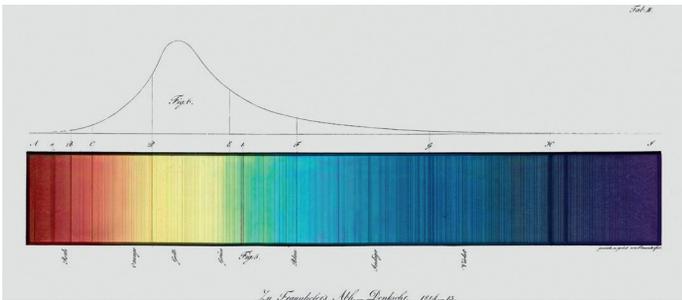


Woodroffe

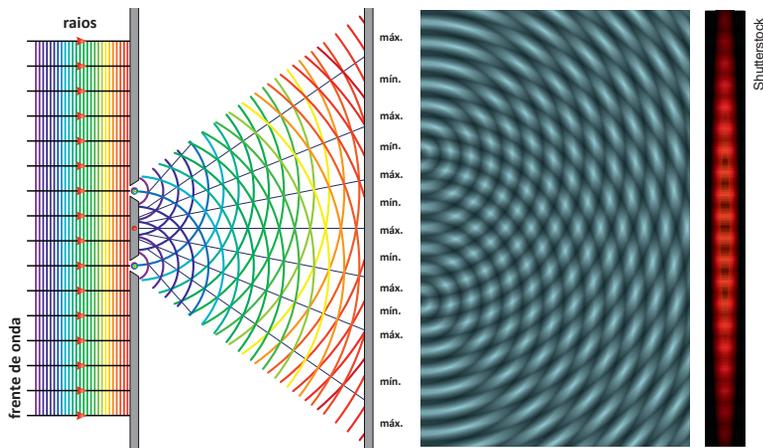
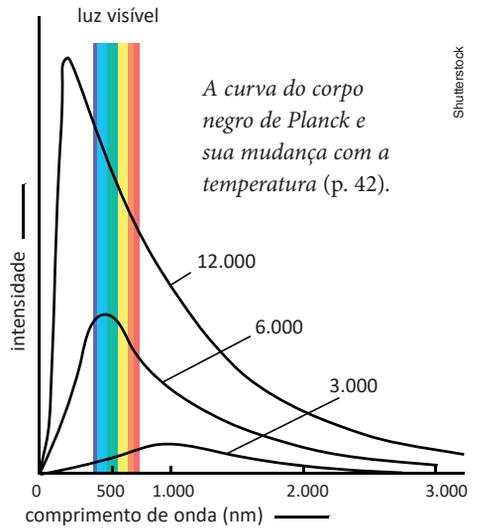
Versão moderna dos nós de vórtices de Lorde Kelvin aplicados a campos magnéticos torcidos (p. 34).



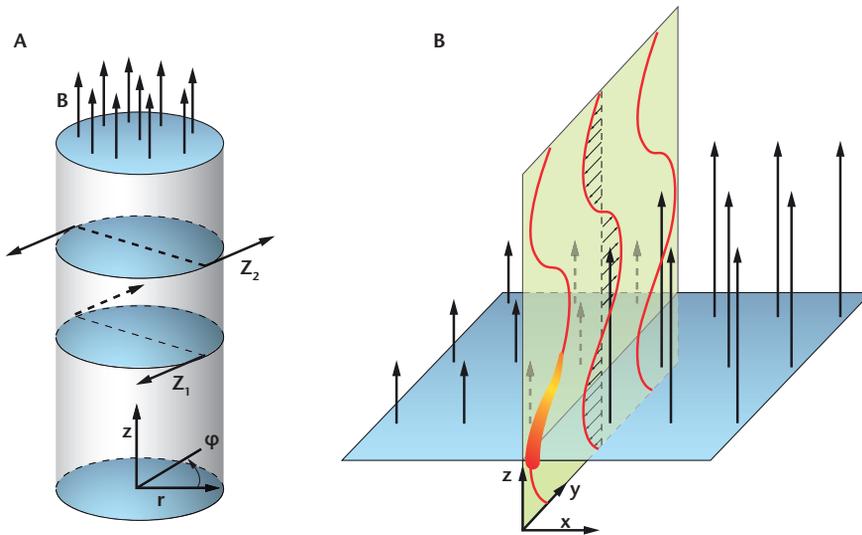
O átomo de rádio de Bohr-Sommerfeld (p. 35).



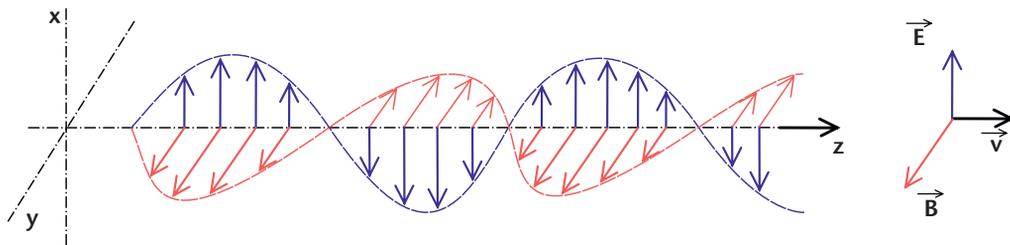
As linhas espectrais escuras de Fraunhofer, com base num diagrama de seu livro de 1814 (a imagem original foi colorizada) (p. 40).



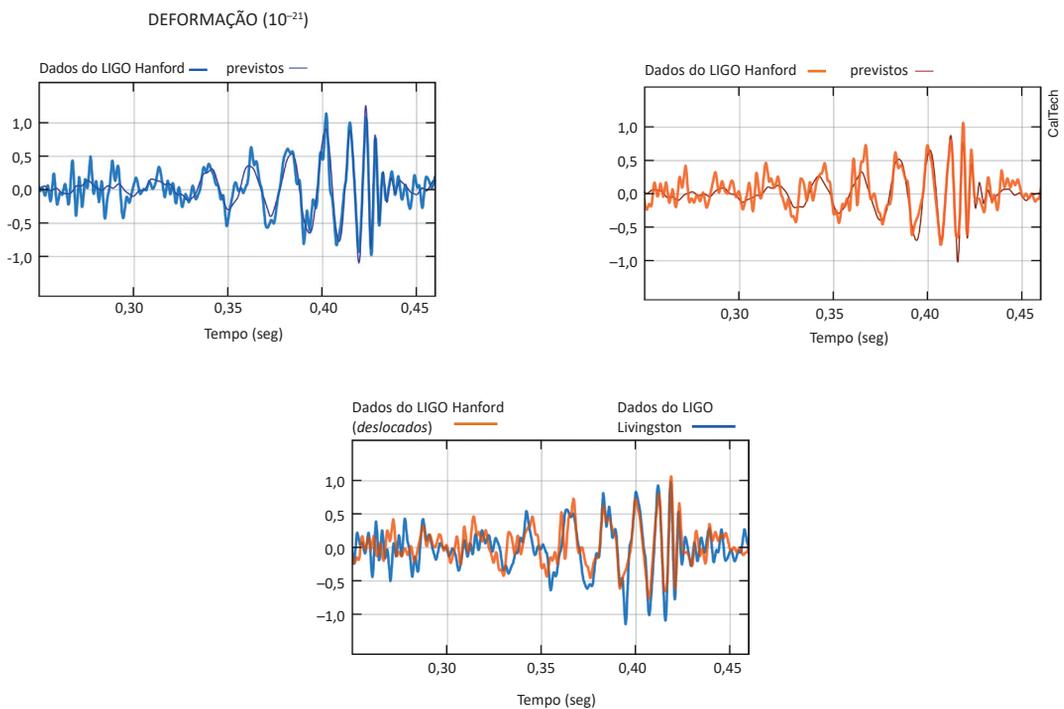
As ondas da água no experimento das duas fendas mostra a interferência ondulatória (p. 44).



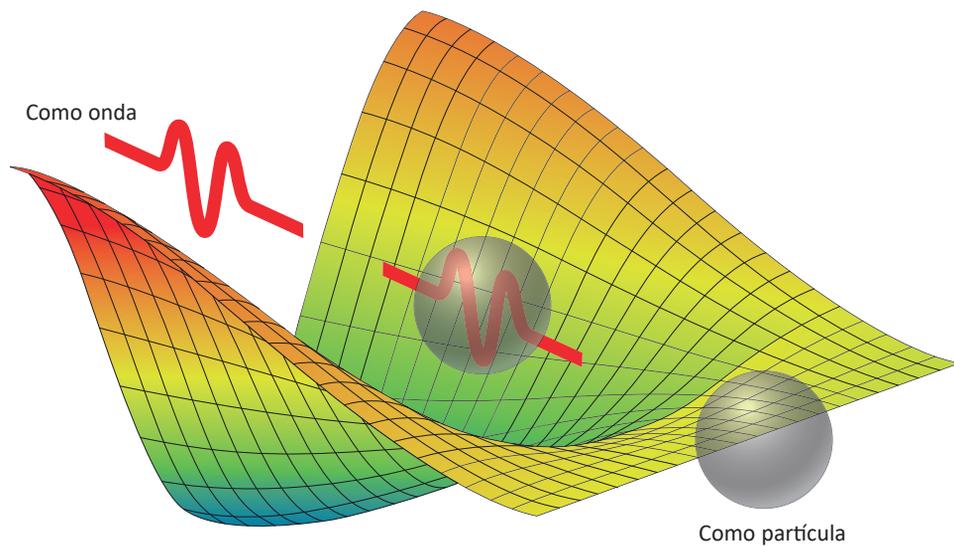
A onda de magnetismo chamada onda de Alfvén viaja ao lado de uma linha de força magnética (p. 52).



Na onda eletromagnética, a mudança do campo elétrico produz mudança do campo magnético, e ambos percorrem o espaço em planos diferentes e perpendiculares (p. 53).

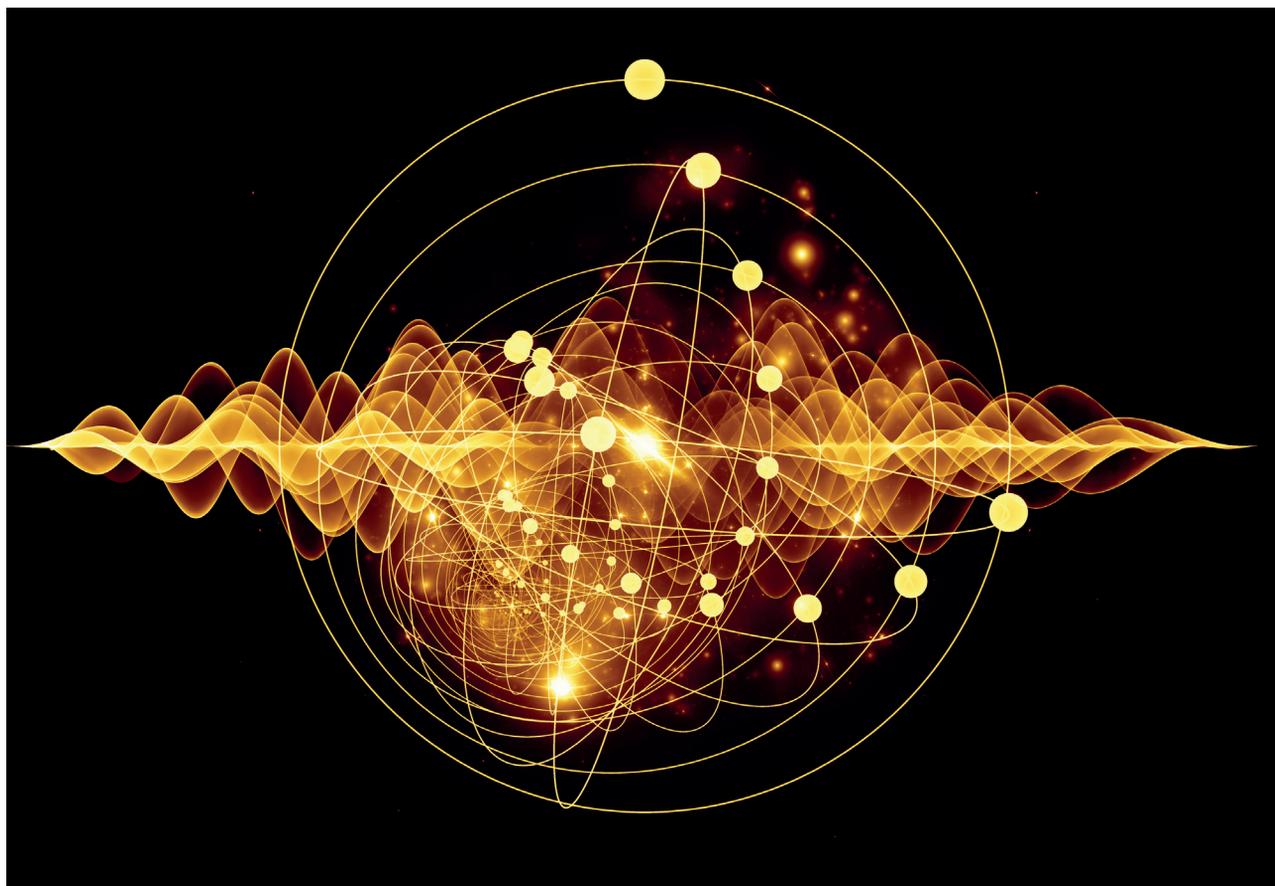


A onda de gravidade faz a distância entre objetos mudar com o tempo de maneira bem definida (p. 55).

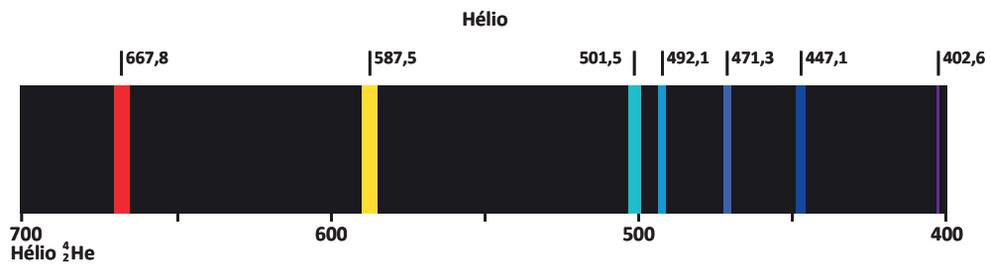


David Woodraffe

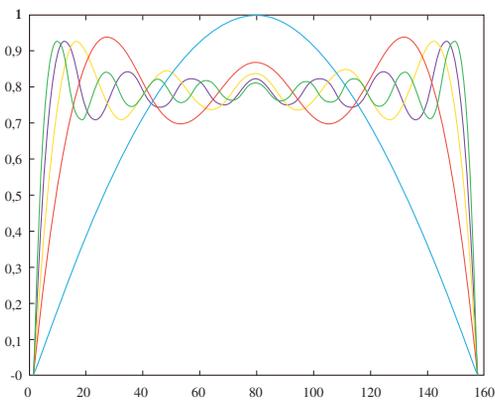
Modelo hipotético das ondas piloto de De Broglie conduzindo um elétron (p. 62).



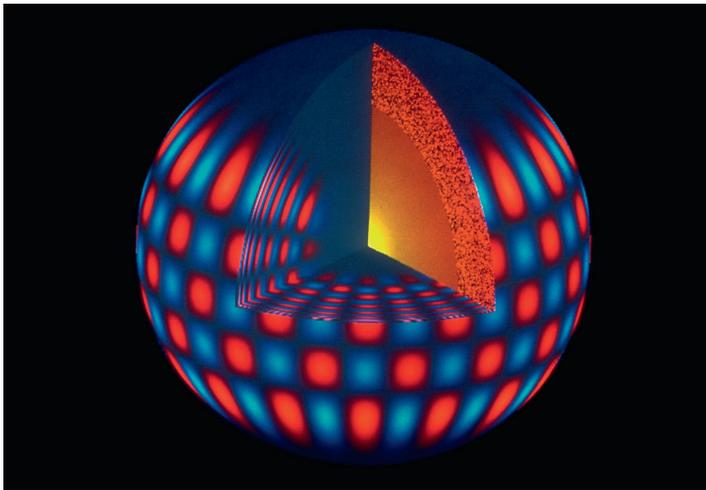
Representação artística da onda quântica (p. 64). [Shutterstock]



A diferença entre os espectros do hidrogênio e do hélio não podia ser explicada pelo modelo de Bohr-Sommerfeld de 1915 (p. 66).

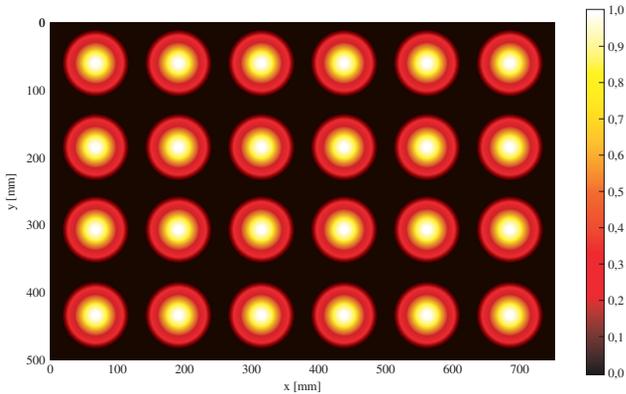


O sinal que não é zero acima da faixa de instantes de 0 a 160 pode se reduzir a uma soma de ondas senoides numa série de Fourier (p. 84).

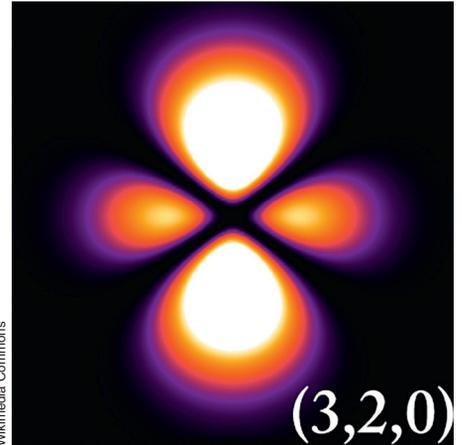


Ondas estacionárias na superfície solar causadas por ondas sonoras do interior que chegam à superfície e a fazem se mover para cima e azul e para baixo vermelho (p. 91).

NOAO

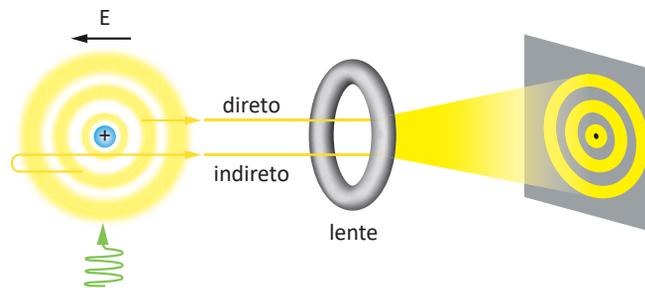


Ondas estacionárias eletromagnéticas dentro de um forno de micro-ondas (p. 92).

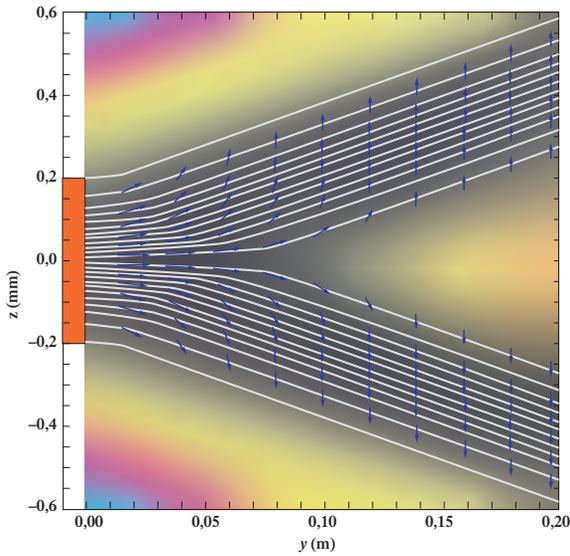


Wikimedia Commons

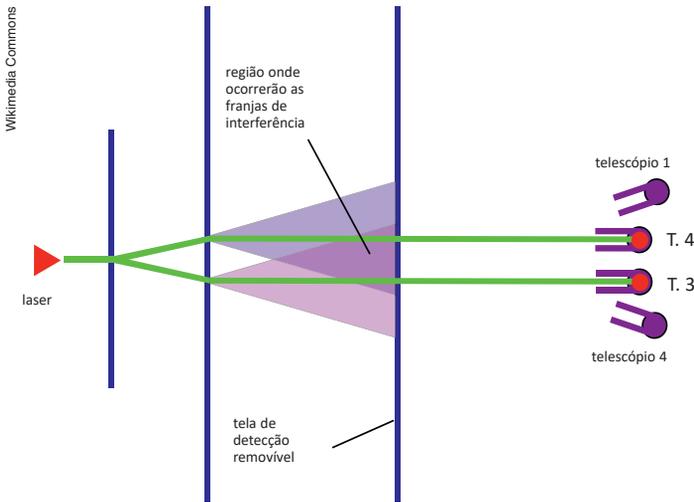
Representação gráfica das funções de onda de menos energia do átomo de hidrogênio. As áreas mais claras representam a probabilidade mais alta de encontrar o elétron. O valor dos números quânticos n, l, m está expresso na imagem (n, l, m) (p. 92).



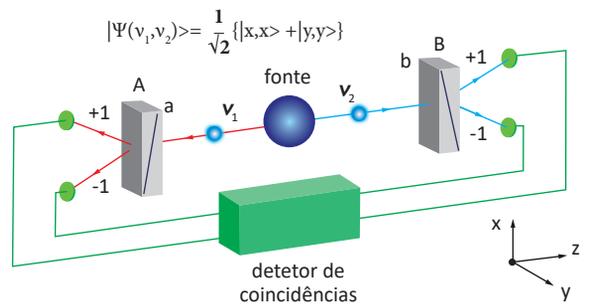
O microscópio de fotoionização permite a observação direta do orbital do elétron de um átomo de hidrogênio. O átomo é colocado num campo elétrico e excitado por pulsos de laser. O elétron ionizado consegue escapar do átomo por trajetórias diretas e indiretas em relação ao detetor. A diferença de fase entre essas trajetórias causa um padrão de interferência (extrema direita), ampliado pela lente eletrostática (p. 94).



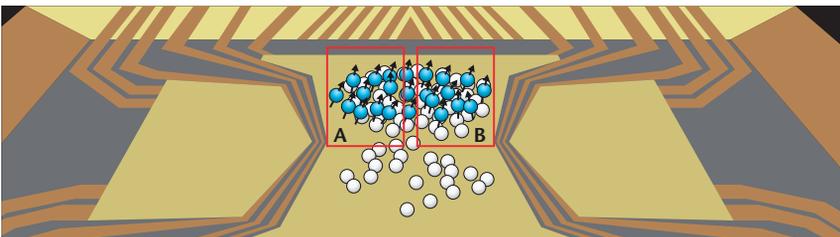
As trajetórias quânticas de elétrons individuais num experimento de Stern-Gerlach mostram como a orientação do spin (setas azuis) evolui de forma homogênea ao longo de cada trajetória. O comportamento médio de cada ramo é calculado a partir da equação de Schrödinger (p. 97).



Experimento da Escolha Retardada de John Wheeler (p. 104).

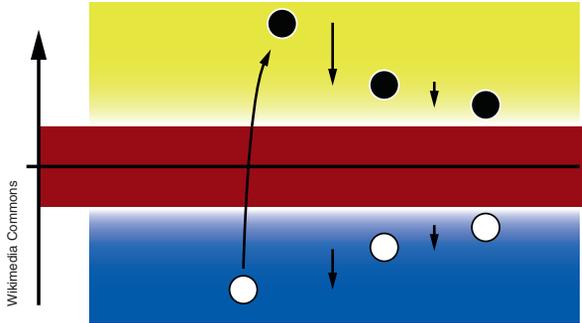
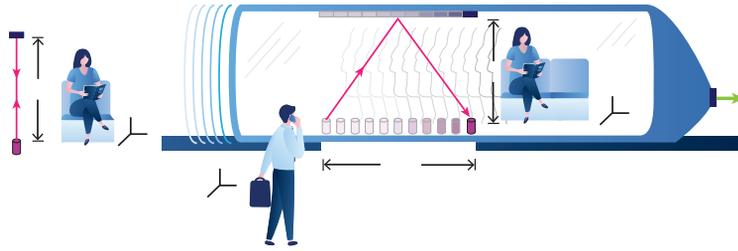


Aparelho para realizar o teste de Bell (p. 108).



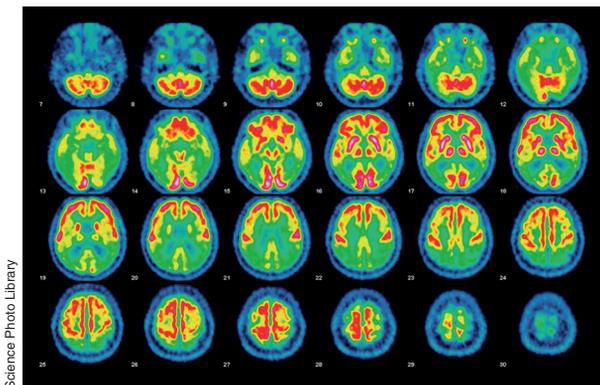
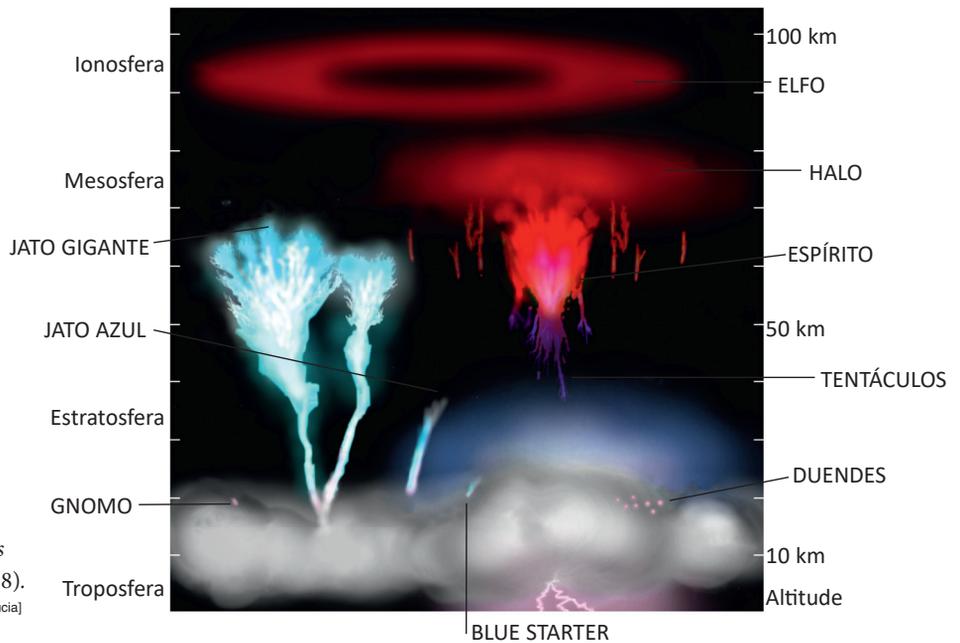
Físicos da Universidade de Basileia observaram pela primeira vez o paradoxo de Einstein-Podolsky-Rosen da Mecânica Quântica num sistema com várias centenas de átomos em interação (p. 109). [David Woodroffe]

Para o observador na plataforma, o tempo passa mais depressa do que para o observador no trem (p. 112).

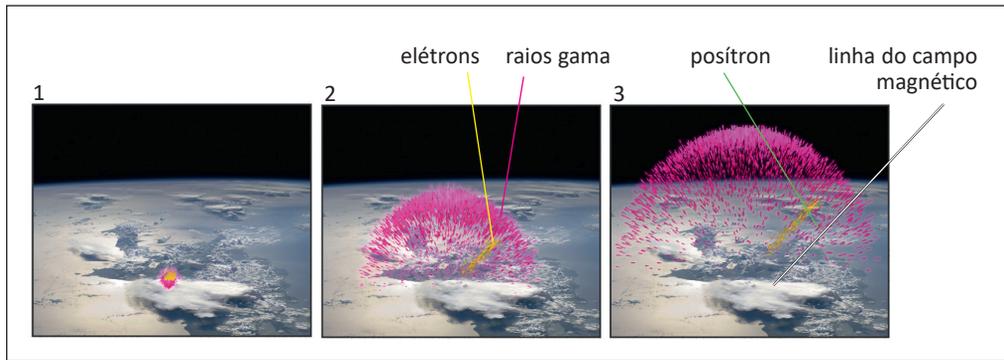


O mar de energia negativa de Dirac (embaixo) pode conter as partículas que faltam, os chamados buracos, que seriam como elétrons com carga elétrica oposta: pósitrons (p. 115).

Tipos de eventos luminosos transientes ou transitórios (p. 118).
[Instituto de Astrofísica de Andalucía]



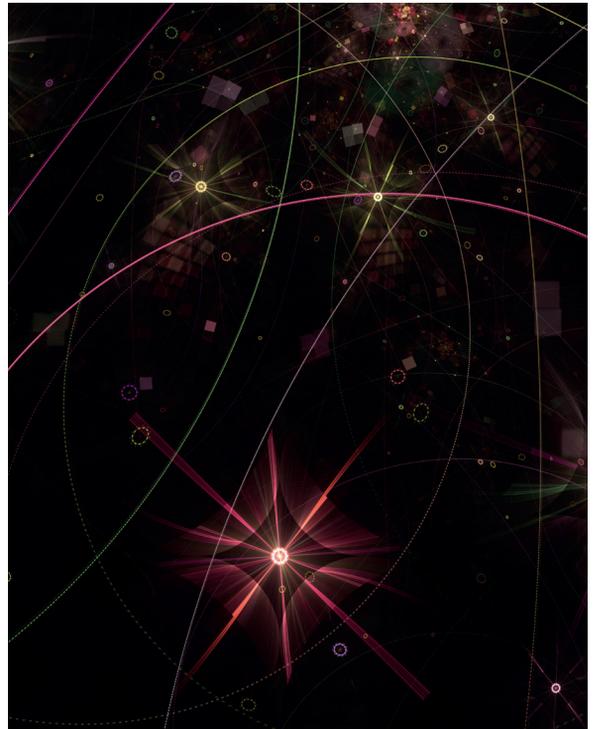
PET-TC de um cérebro em que a doença de Alzheimer aparece como áreas escuras de redução do metabolismo da glicose (p. 119).



Modelo computadorizado de uma rajada de raios gama da aniquilação elétron-pósitron vista acima de uma intensa tempestade de raios na Namíbia pelo Telescópio Espacial Fermi de Raios Gama, da Nasa. Mais de 10 trilhões de pósitrons estavam envolvidos (p. 119).



Colisão das galáxias Arp-Madore 2026-424, localizadas a 704 milhões de anos-luz da Terra (p. 121).



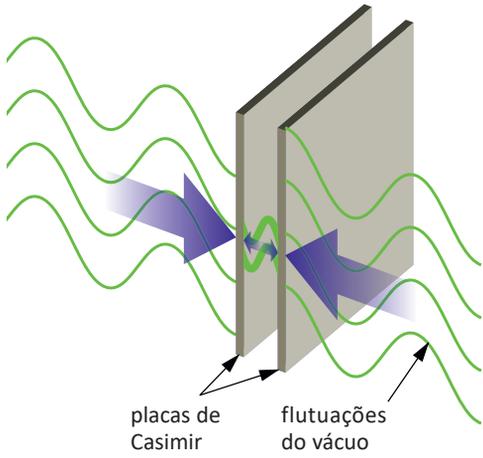
Shutterstock

Representação artística de partículas virtuais no vácuo (p. 122).



Wikimedia Commons

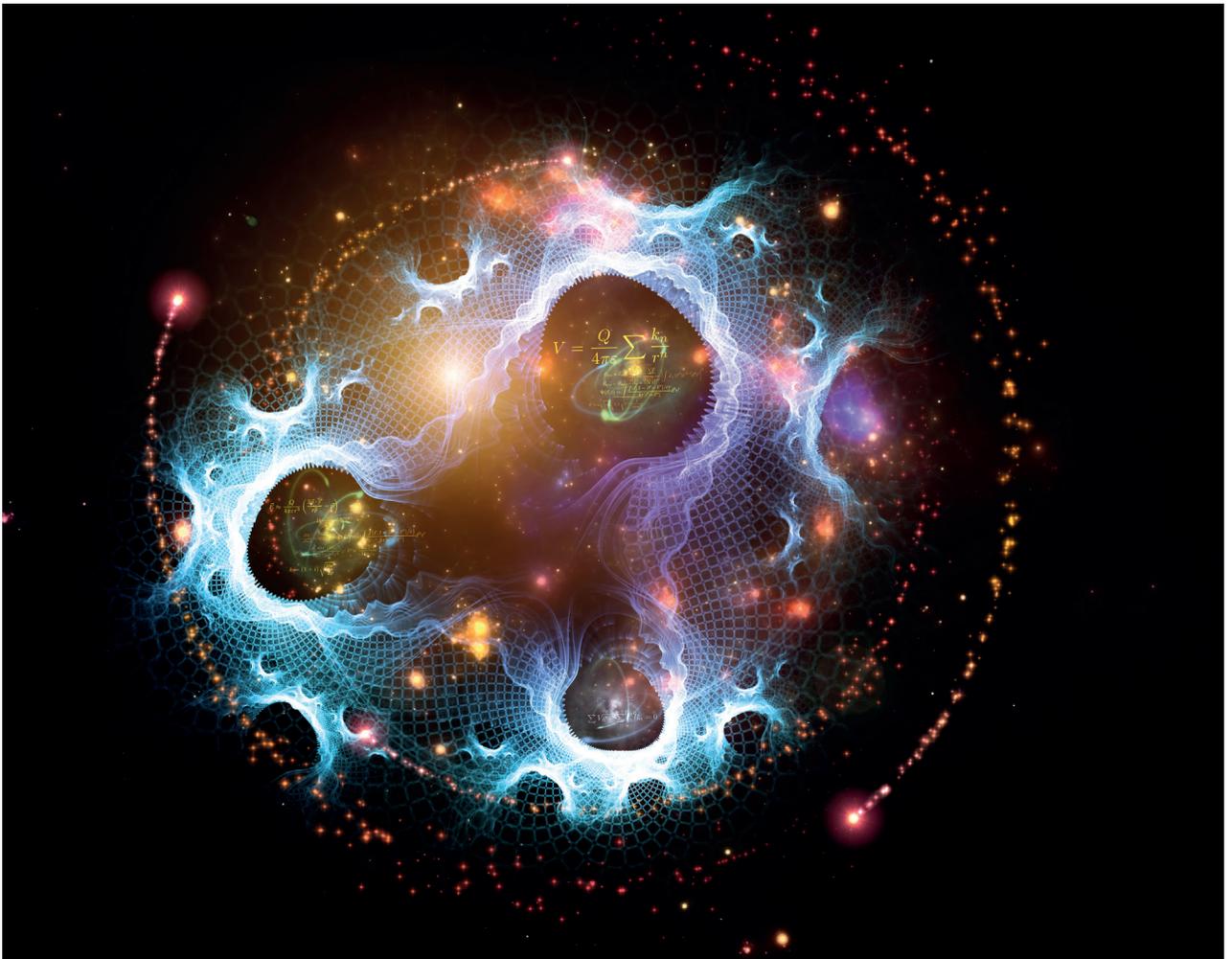
A birrefringência num cristal de calcita. Um raio laser percorre duas trajetórias diferentes, dependendo da polarização (p. 130).



Fótons virtuais com comprimentos de onda longo são excluídos do espaço entre as placas de Casimir causando pressão para dentro (p. 130).



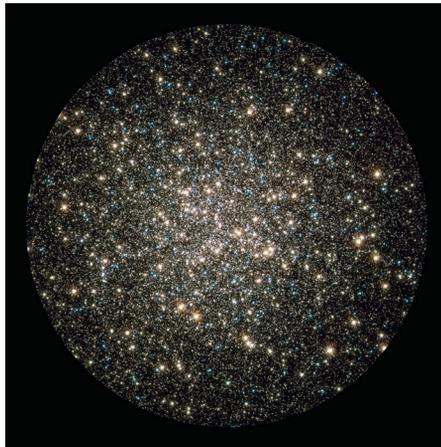
A estrela de nêutrons RX J1856.5-3754 exibe os efeitos da birrefringência do vácuo (p. 131).



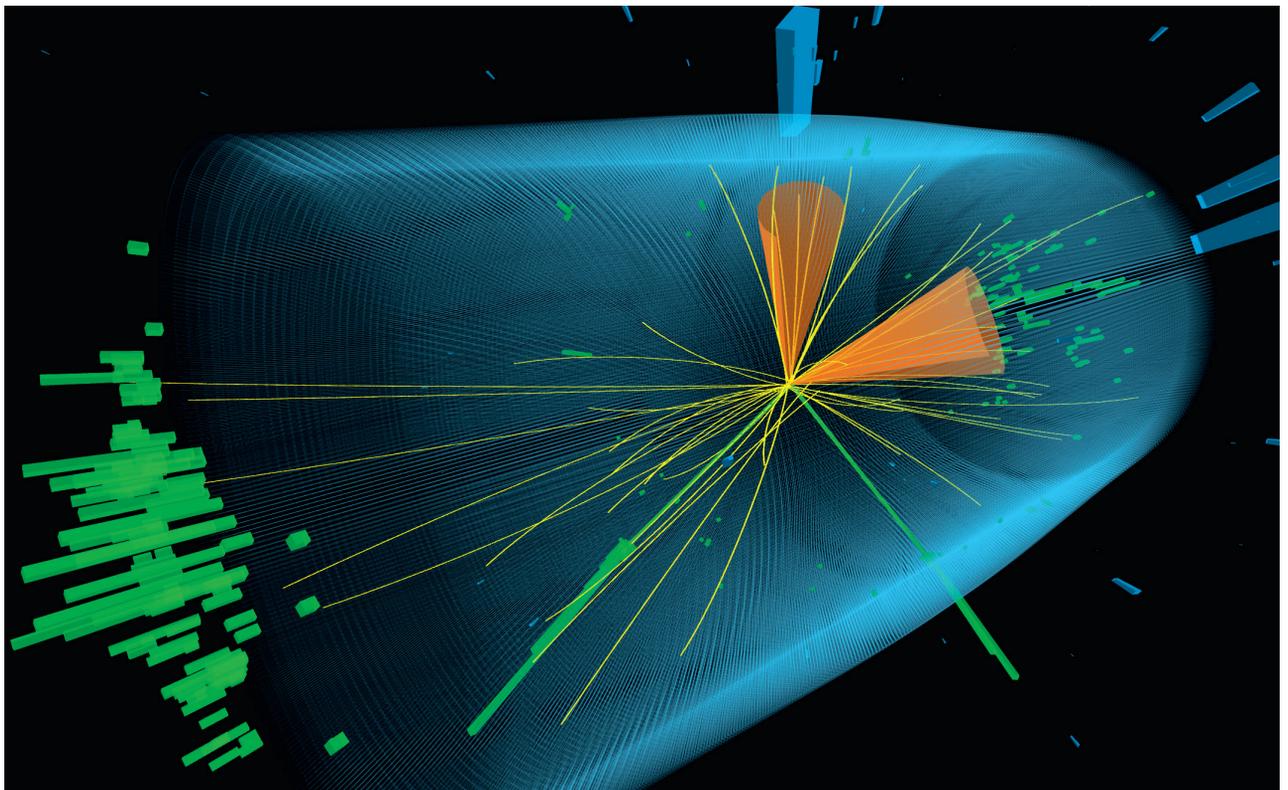
Representação artística dos campos quânticos (p. 132). [Shutterstock]



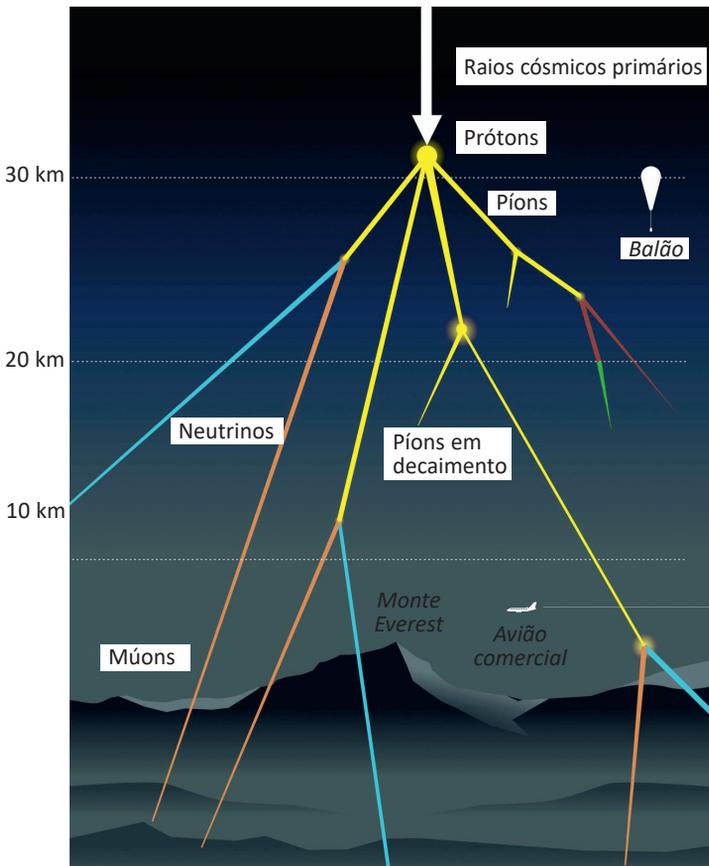
Essa vista da diminuição da atmosfera da Terra no vácuo cósmico é um análogo visual da nuvem de fótons virtuais que cerca os corpos carregados (p.139). [NASA]



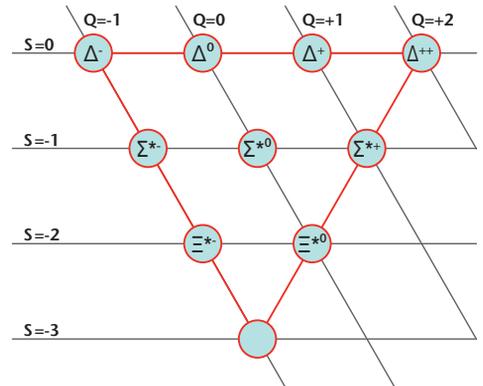
Pode-se pensar que a imagem do aglomerado estelar globular Messier 13 se parece com a nuvem de fótons virtuais que cercam o elétron, com exceção de que a nuvem de fótons virtuais cintilaria de atividade conforme os fótons surgissem e deixassem de existir (p. 140). NASA (ESA)



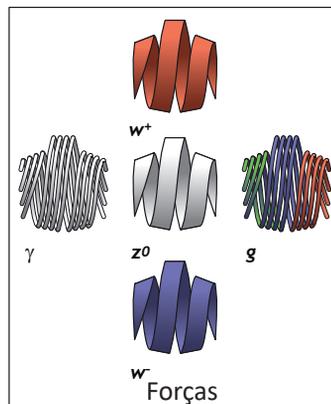
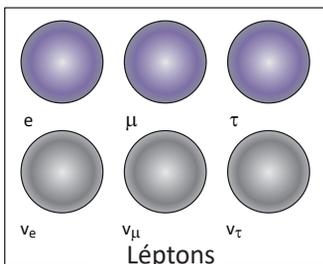
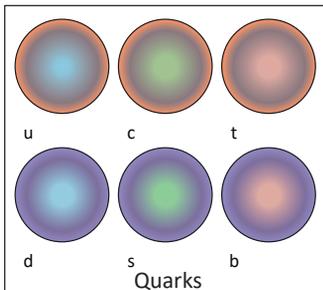
Partículas ejetadas por um evento de colisão no Grande Colisor de Hádrons (p. 146). [CERN]



A chuva de raios cósmicos produz píons e mésons quando colidem com os núcleos de nitrogênio e oxigênio da atmosfera (p. 149).

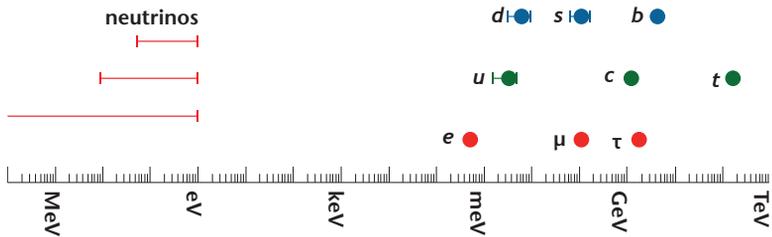


Onde você poria a partícula que falta, chamada de ômega-menos (p. 151)?



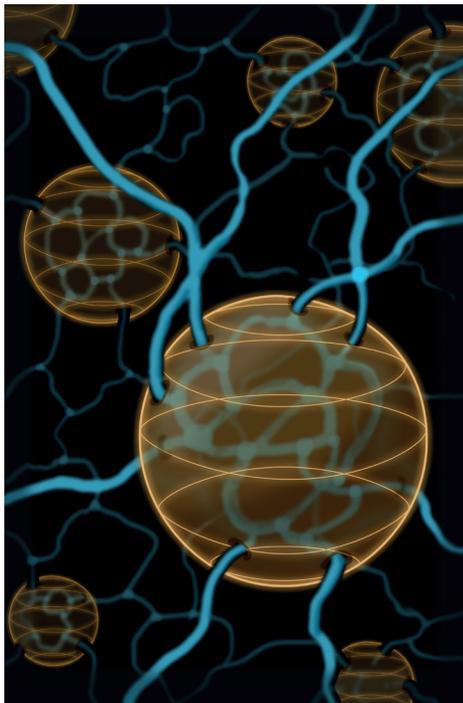
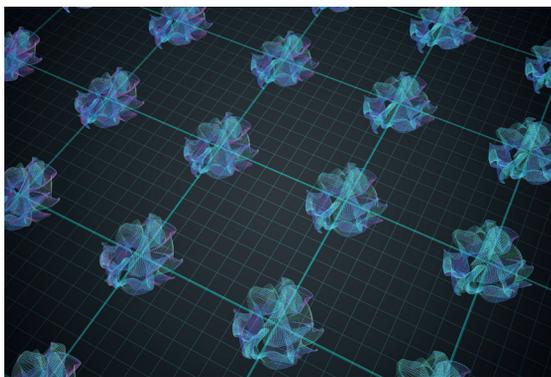
David Woodroffe

O Modelo-Padrão é uma coleção de léptons e quarks que se combina com o bóson de Higgs para criar as partículas conhecidas com suas massas e as propriedades dos bósons que transportam as forças pelas quais elas interagem (p. 153).

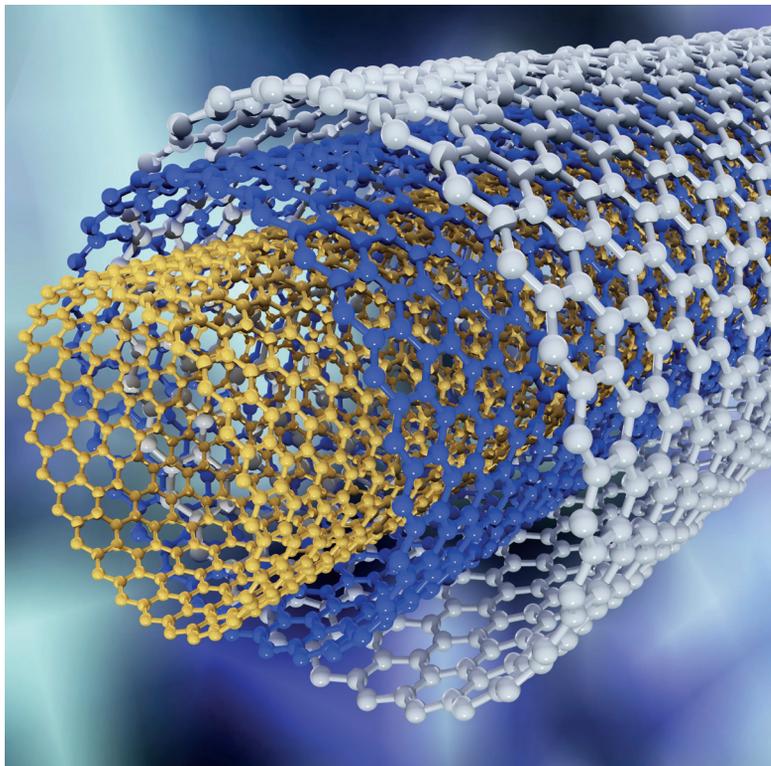


Massa dos quarks e léptons do Modelo-Padrão. A partícula mais pesada do Modelo-Padrão é o quark top (t) (p. 154).

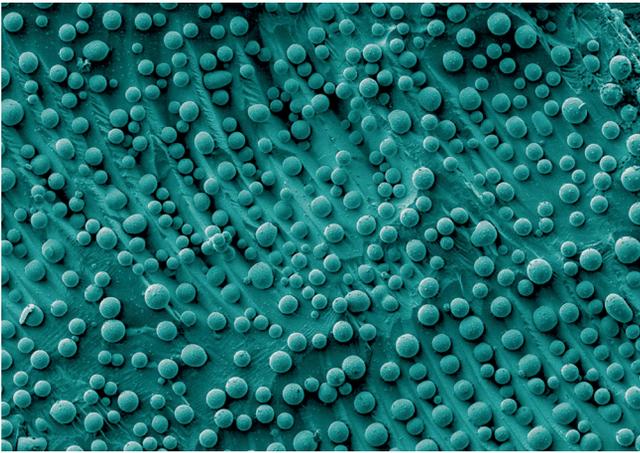
Na Teoria das Supercordas, o espaço tridimensional adquire uma geometria fechada com seis dimensões em cada ponto tridimensional, de modo que o espaço-tempo tem um total de dez dimensões. São as chamadas Variedades de Calabi-Yau, e suas formas e topologias hexadimensionais determinam o número e as propriedades das partículas elementares do Modelo-Padrão (p. 157).



A LQG revela a estrutura do horizonte de eventos do buraco negro quântico e pode ser usada para calcular quanta informação ele contém (p. 160). [Science Photo Library]

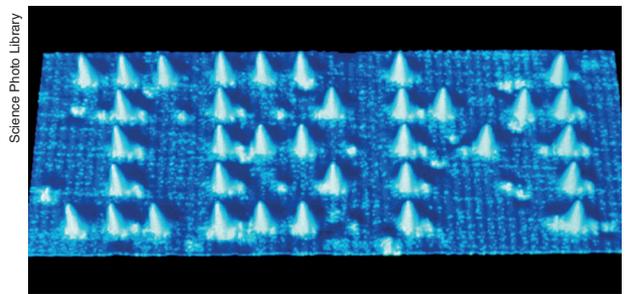


Modelo teórico de nanotubos de carbono, uns dentro dos outros (p.162). [Shutterstock]



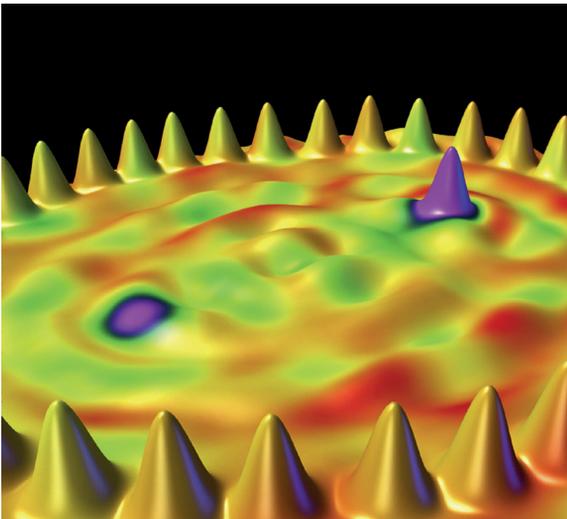
Alamy

Um nanocrystal de chumbo-césio sob o microscópio eletrônico (largura do cristal: 14 nm). Os átomos são visíveis como pontos (p.169).



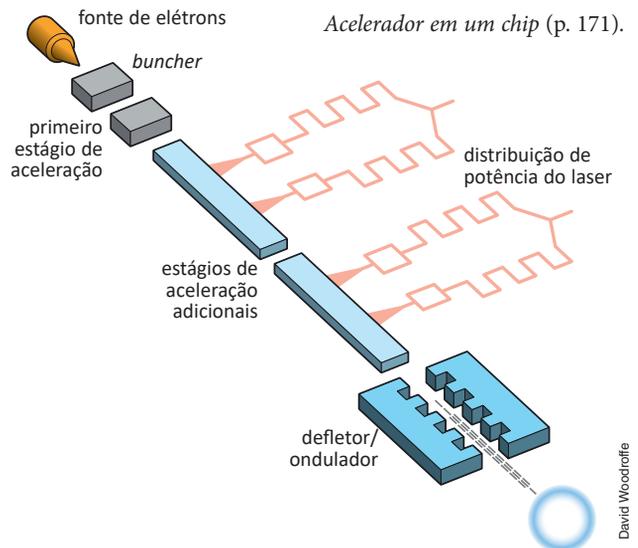
Science Photo Library

Imagem criada pela IBM Corporation mostra 35 átomos de xenônio separados (p.169).

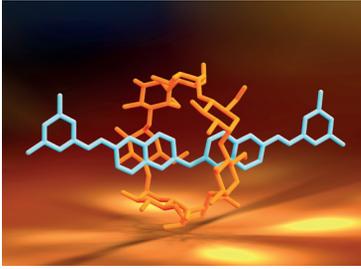


Science Photo Library

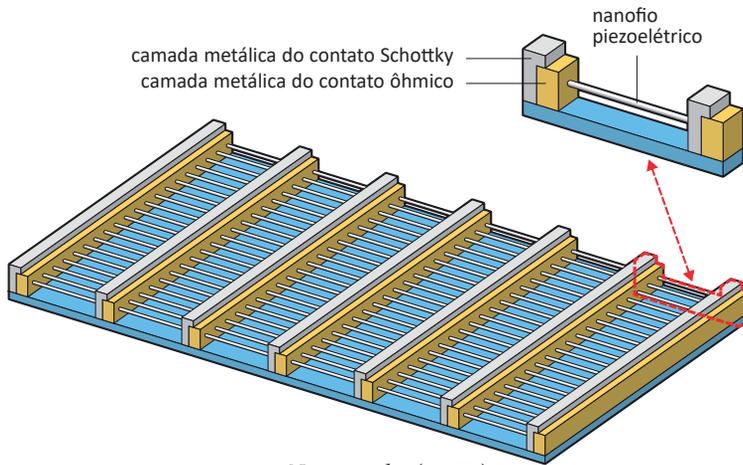
Um curral atômico de elétrons. Um curral de 48 átomos de ferro amarelo-laranja sobre uma superfície lisa de cobre vermelho-roxo limita os elétrons da superfície do cobre e produz um padrão em "ondas" da distribuição dos elétrons. Os cientistas montaram o curral de 1 nm posicionando cada átomo de ferro com a ponta de um microscópio de varredura por tunelamento (p. 170).



David Woodroffe



A estrutura molecular do rotaxano consiste do anel macrocíclico circular (no centro, laranja), pelo qual passa uma cadeia molecular linear azul, com um grande “batente” molecular acrescentado a cada extremidade (p. 173).

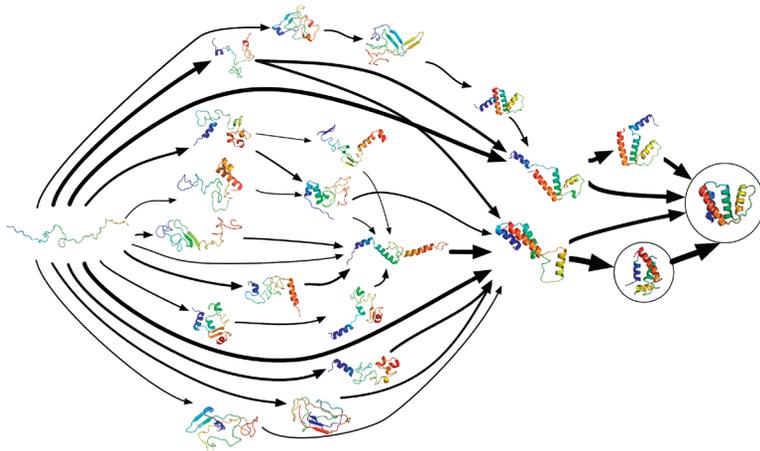


camada metálica do contato Schottky
camada metálica do contato ôhmico

nanofio piezoelétrico

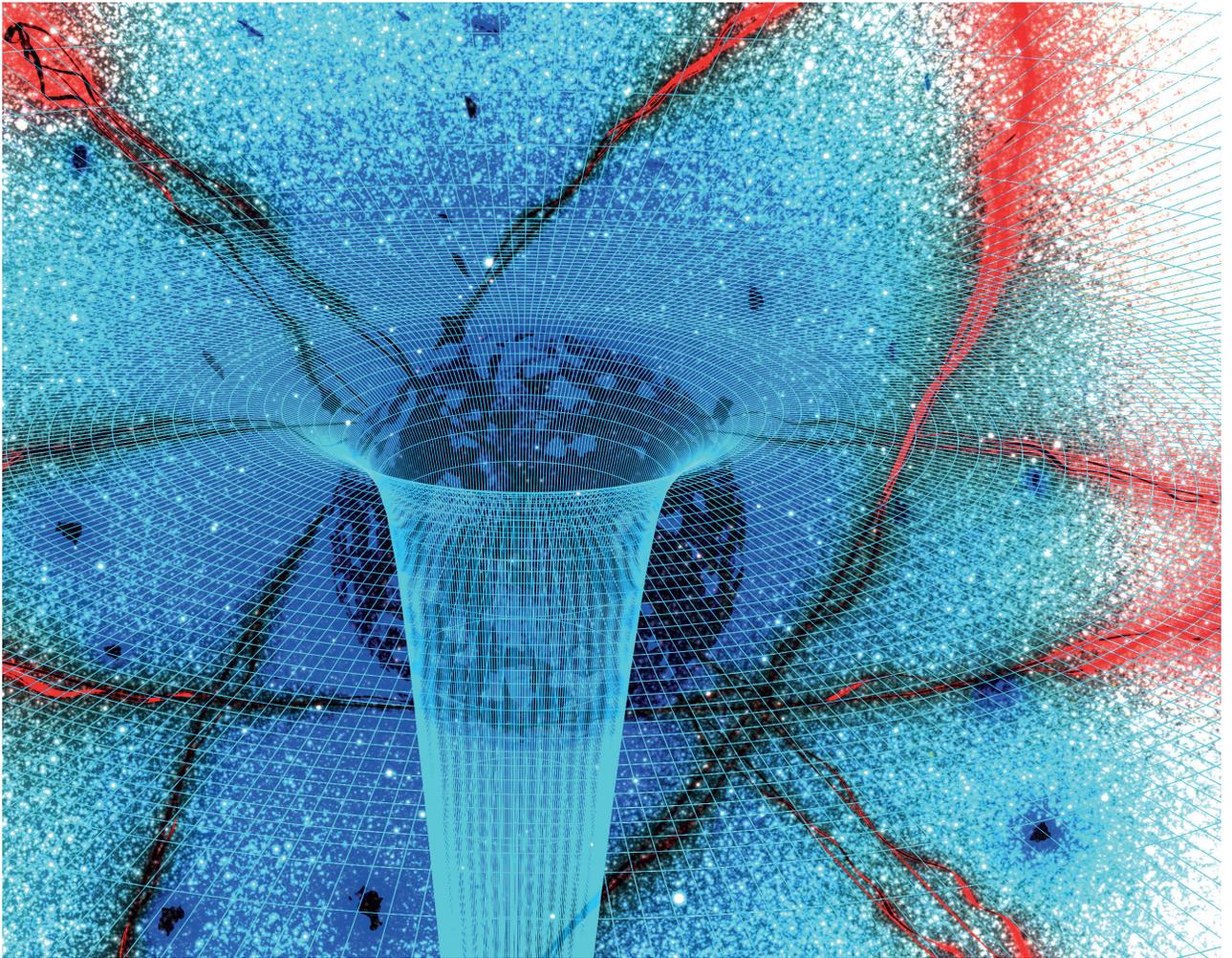
David Woodroffe

Nanogerador (p. 173).

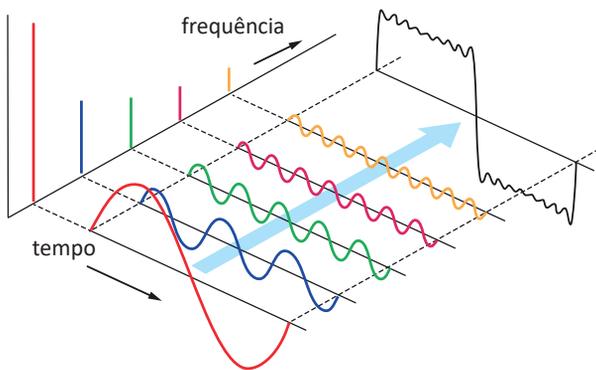


Wikimedia Commons

Pequena amostra de vias de dobramento de proteína a partir de um filamento atômico unidimensional até uma forma proteica em 3D (p. 183).

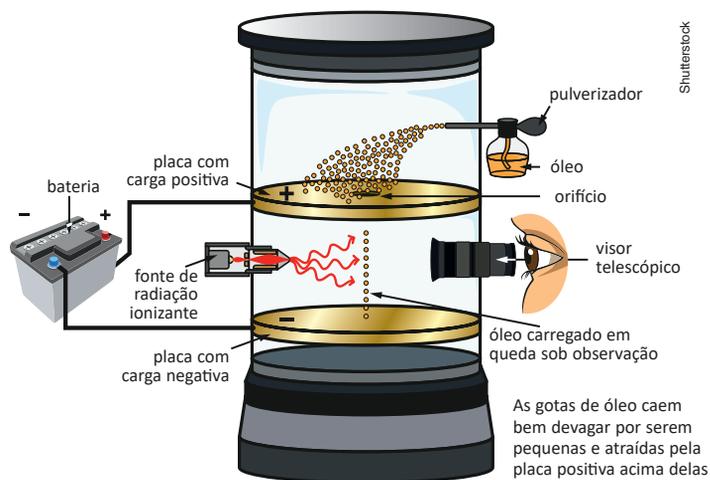


Representação artística da matéria e do espaço-tempo (p. 184). [Shutterstock]



A partir do canto inferior esquerdo, uma série de cinco ondas senoidais são somadas para produzir a onda quadrada do canto superior direito.

As linhas verticais mostram a frequência e a amplitude das senoides componentes (p. 186).



As gotas de óleo caem bem devagar por serem pequenas e atraídas pela placa positiva acima delas

O experimento da gota de óleo de Millikan (p. 190).

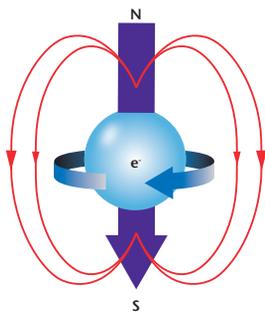
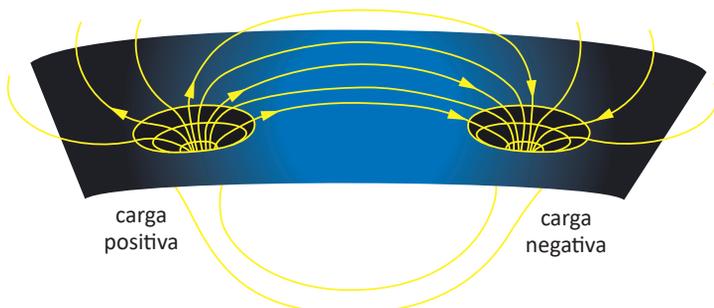
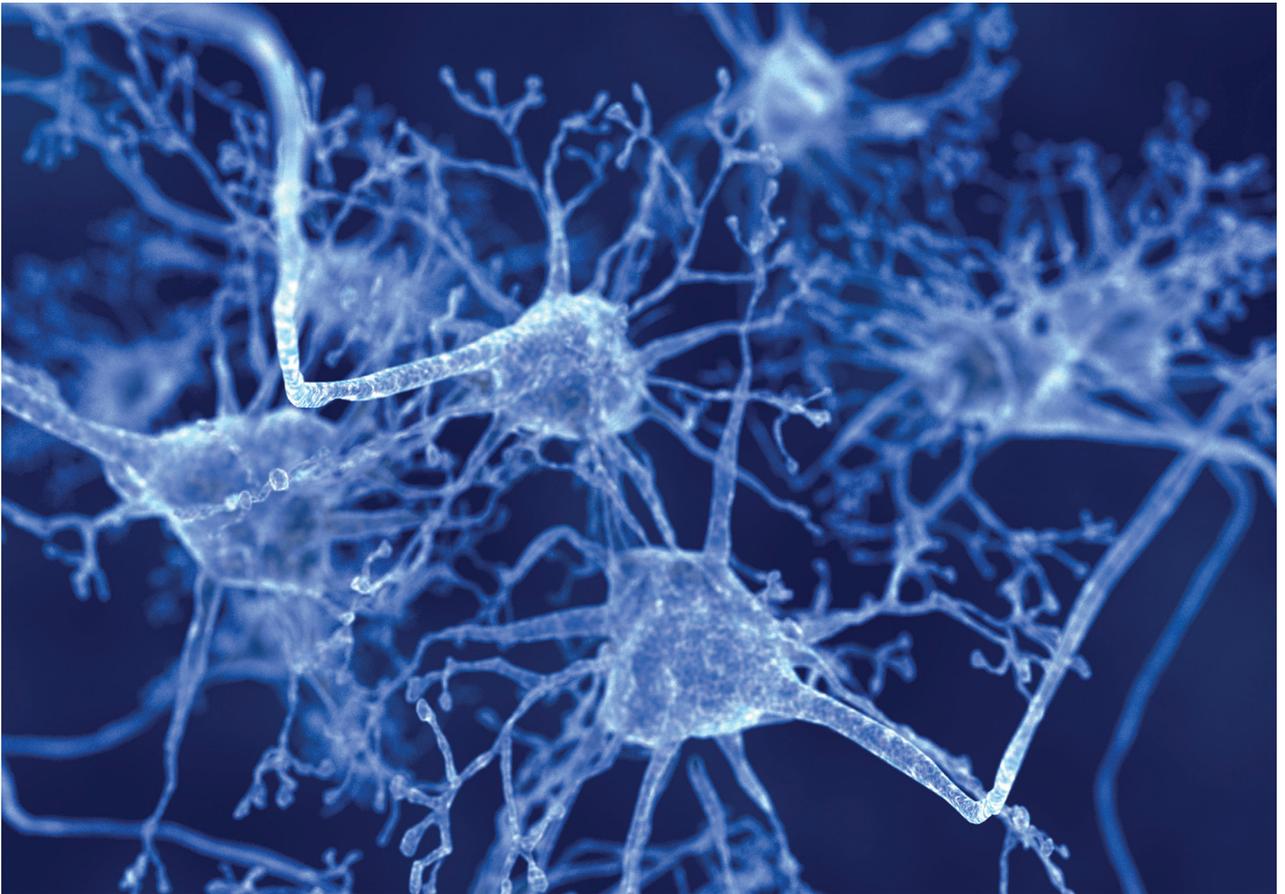


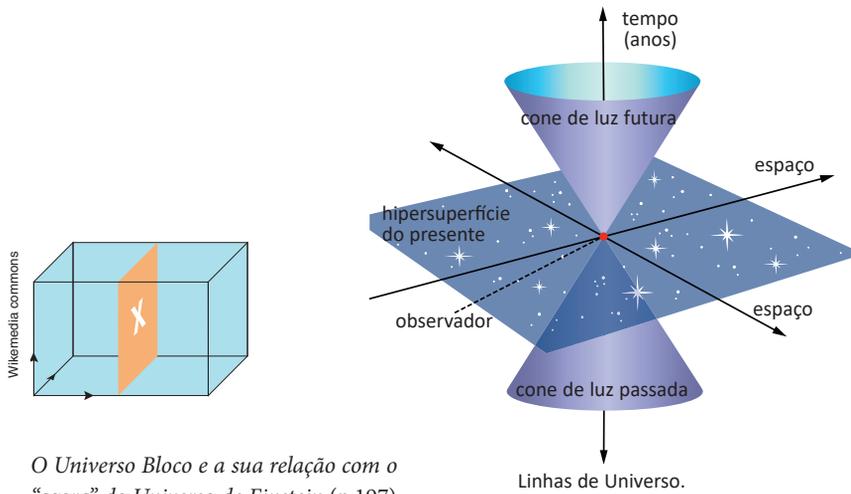
Diagrama do momento magnético do elétron “causado” por seu spin intrínseco “em sentido horário” e pela carga elétrica (p. 191).



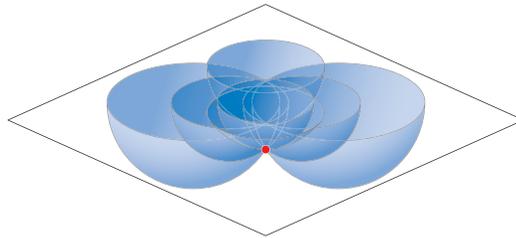
O buraco de minhoca é a representação de um par de partículas elementares com cargas opostas (p. 192).



Cada neurônio e sinapse do cérebro trabalha junto com outros milhões para criar a experiência humana de um mundo coeso com eventos ordenados no tempo. Esse ponto de vista emerge das ações coletivas de cada disparo de sinapse (p. 194). [Shutterstock]

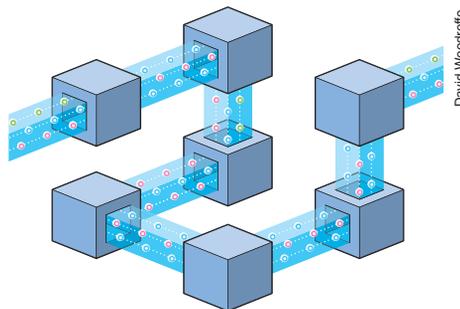


O Universo Bloco e a sua relação com o "agora" do Universo de Einstein (p.197).



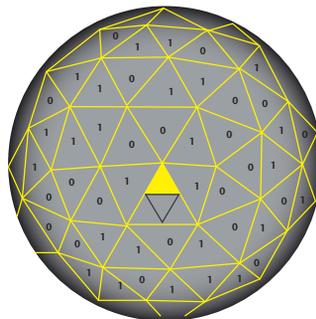
Science Photo Library

Princípio holográfico (p. 199).



David Woodroffe

Os computadores em rede de qubits emaranhados são um análogo dos qubits (p. 199).



O horizonte de eventos do buraco negro codifica uma quantidade fixa de informações limitada pela escala de áreas de Planck (p. 201).