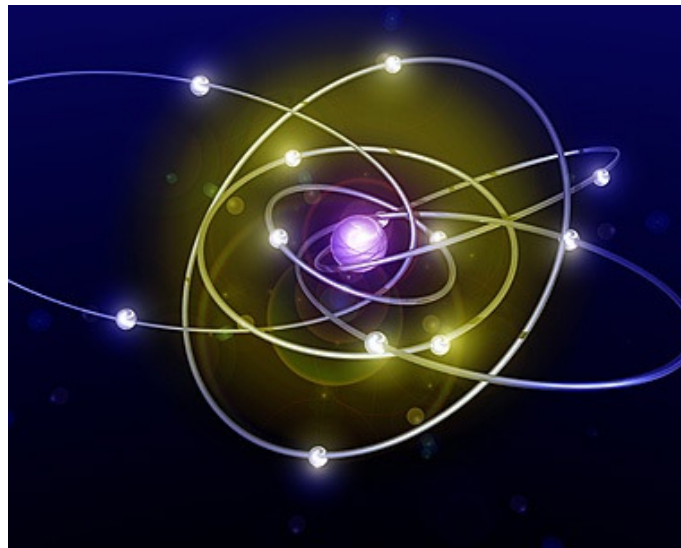


Imersos na mecânica quântica



João Carvalho

LIP e Departamento de Física da Universidade de Coimbra

S.Tomé, 04 de Setembro de 2009

Motivação

A **mecânica quântica** (e a física do séc.XX em geral) está por trás de muita da tecnologia que usamos hoje no dia a dia

Não é possível falar de todas as aplicações, apenas de algumas (as mais importantes e simples?)

O seu **uso** irá aumentar no futuro, à medida que são construídos aparelhos cada vez mais rápidos e mais pequenos

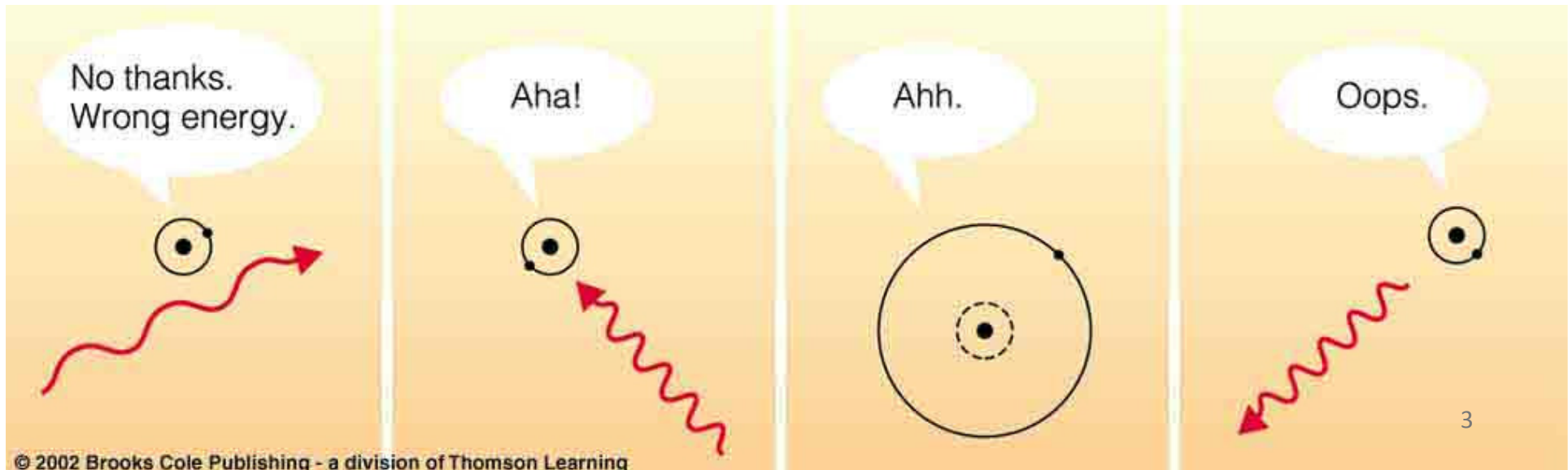
A mecânica quântica pretende explicar os fenómenos que ocorrem a **dimensões muito pequenas** e **tempos muito curtos**

Mecânica quântica

“quantum” = quantidade

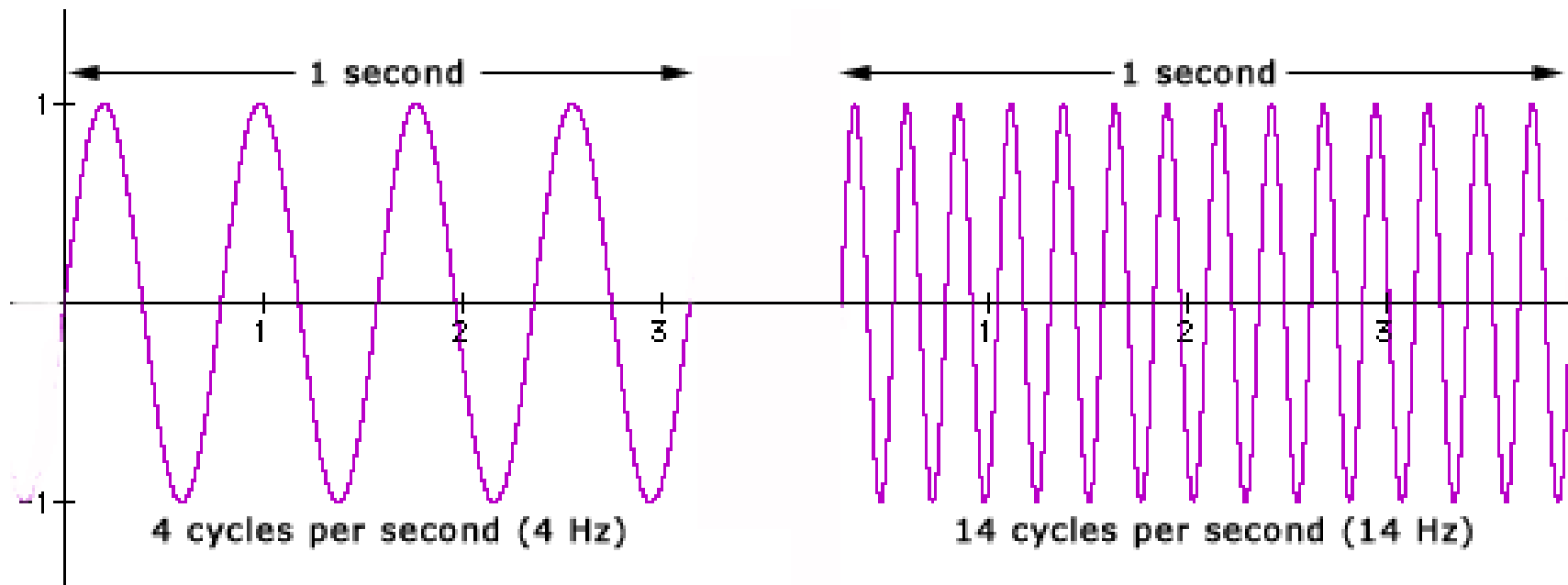
Certas quantidades físicas, como a energia, variam de uma forma **discreta**, não podem ter todos os valores possíveis

Por exemplo, as trocas de energia num átomo



Início da mecânica quântica

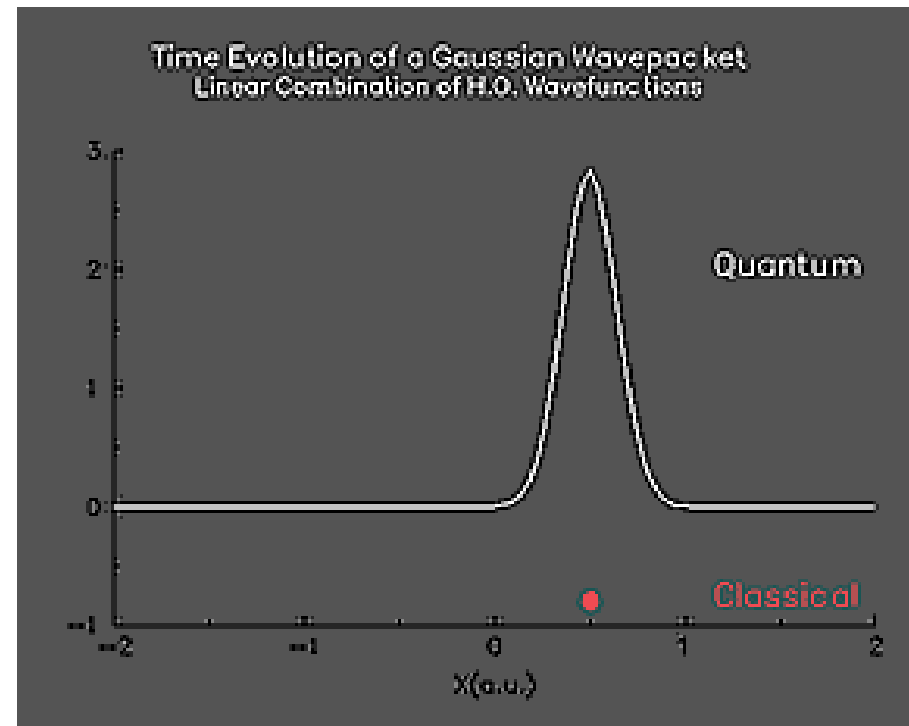
Em 1900 Max Planck colocou a hipótese de que a energia é emitida e absorvida em elementos discretos chamados *quanta*, proporcional à frequência ("cor") da radiação electromagnética emitida ou absorvida



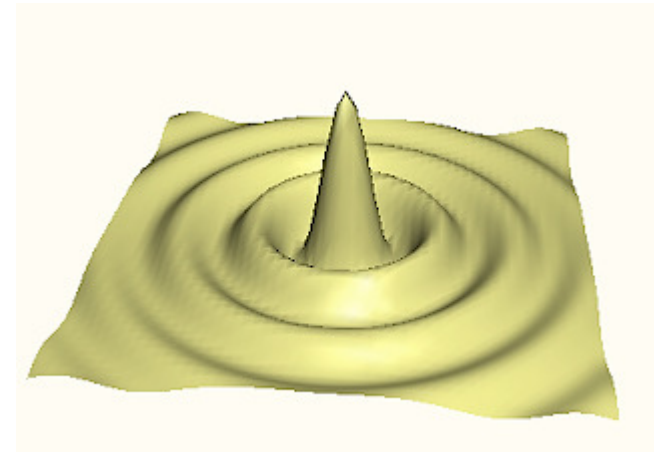
Consequências mais importantes

Em estados ligados, como um electrão num átomo, a energia não é trocada de modo contínuo, mas sim de **modo discreto** (descontínuo). Nem todos os valores são possíveis.

Princípio da incerteza de Heisenberg: não é possível conhecer *ao mesmo tempo* a posição e o momento exactos de uma partícula (desaparece o conceito de trajectória)

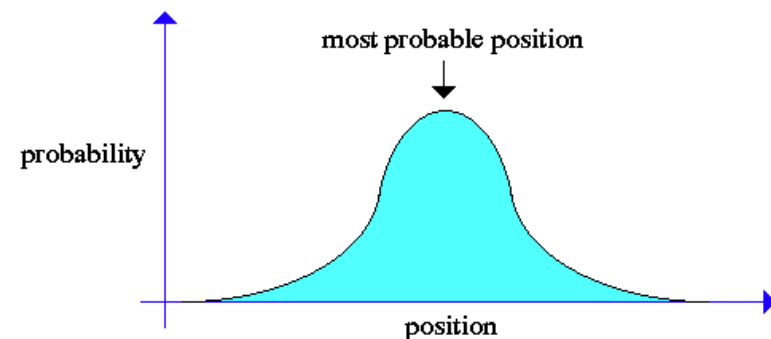


Em vez de trajetória, o movimento de partículas é descrito por meio de uma **função de onda**, que é uma função da posição da partícula e do tempo

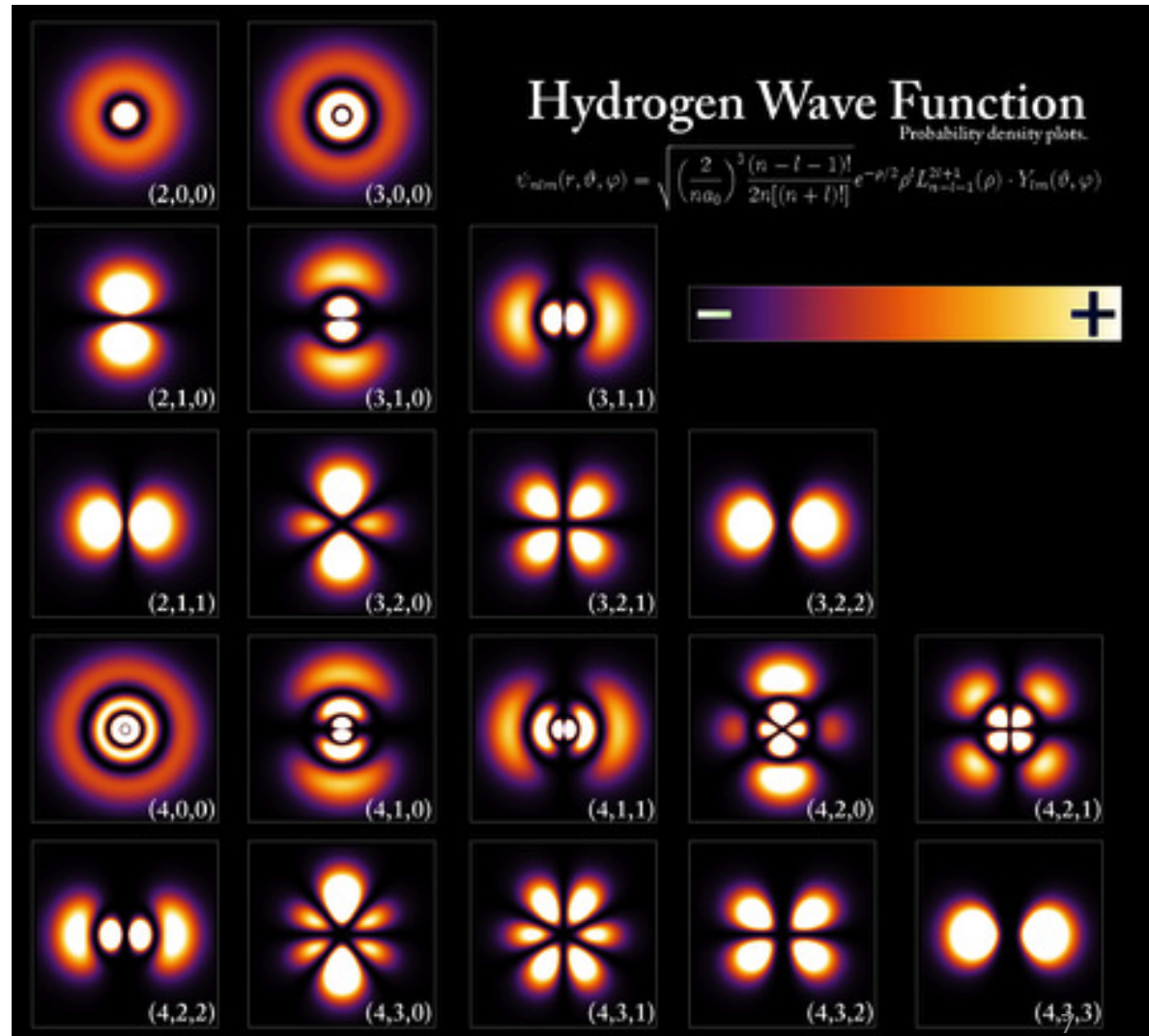


A função de onda permite calcular a **probabilidade** de se encontrar a partícula em determinada posição em certo instante, e de se obter um dado resultado numa experiência

Quantum Wave Function



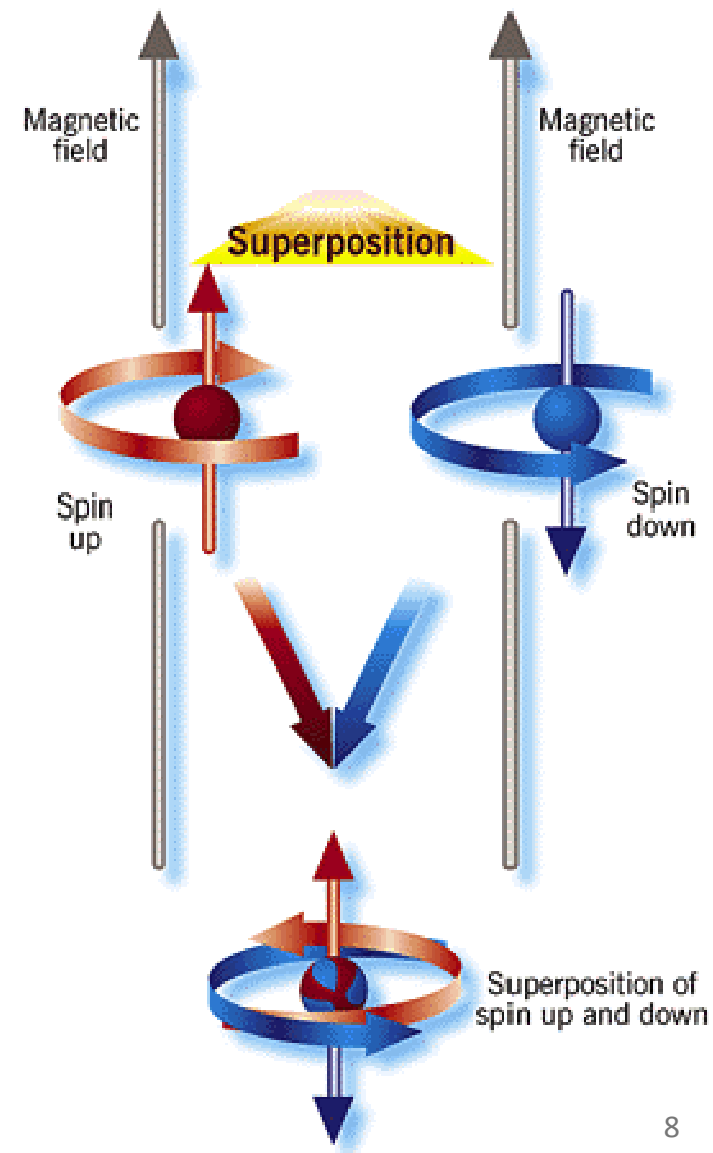
Por exemplo, permite calcular a probabilidade de encontrar um **electrão** num certo ponto em torno do **núcleo** do átomo



Princípio da sobreposição

Todos os estados possíveis de um sistema estão representados na sua função de onda (**sobreposição**), com diferentes probabilidades associadas, e o seu estado é apenas fixado pela **observação**

Exemplo: **experiência da fenda dupla**, na qual os electrões produzem um padrão de **interferência** devido ao seu **comportamento ondular**





Evolução do sistema

A evolução de um sistema ao longo do tempo é dada pela **equação de Schroedinger**

Função de onda

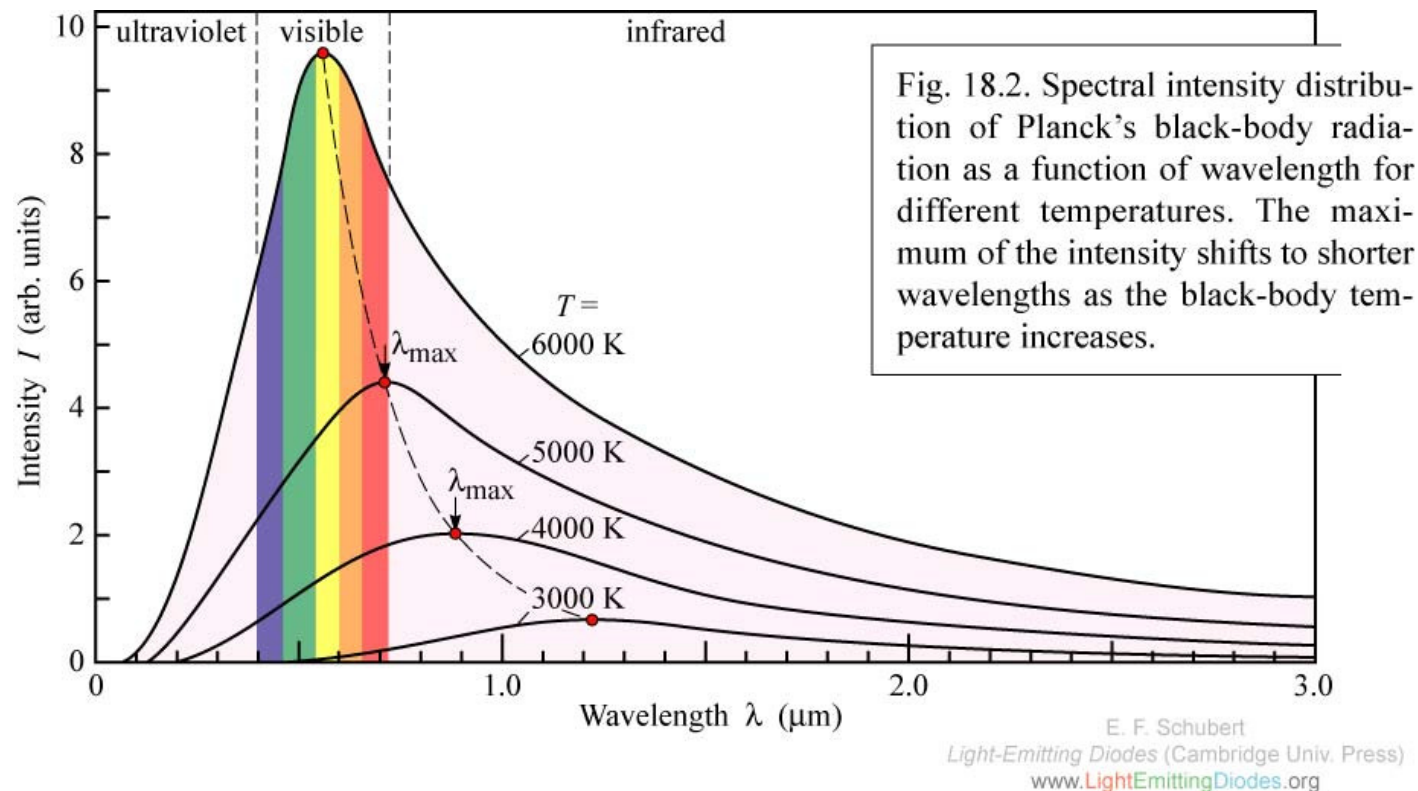
$$H(t) \psi(t) = i\hbar \frac{d}{dt} \psi(t)$$

↓

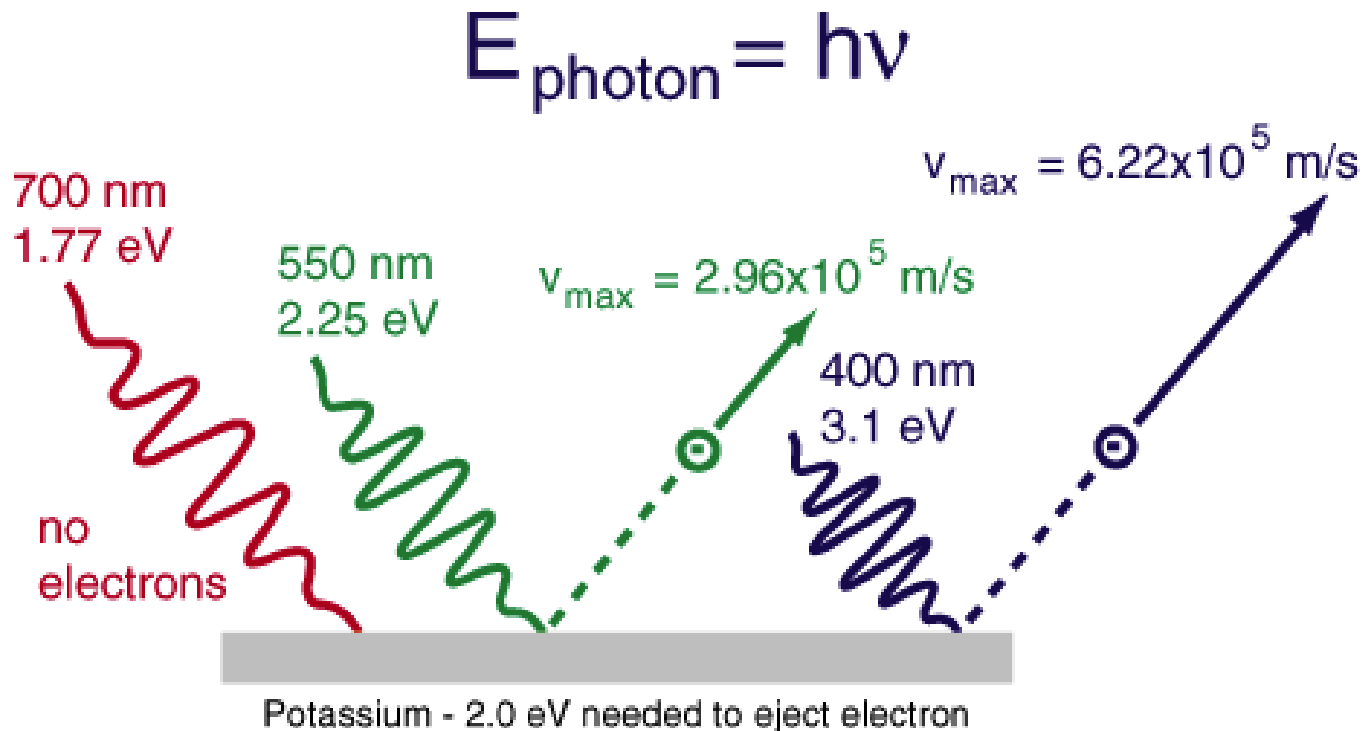
Hamiltoniano (~função da energia)

A mecânica quântica é uma revisão radical da física, fornecendo explicações para **resultados experimentais** que não podiam ser descritos pela teoria clássica, e que incluem:

- Espectro de **radiação do corpo negro**, a partir da quantização da energia

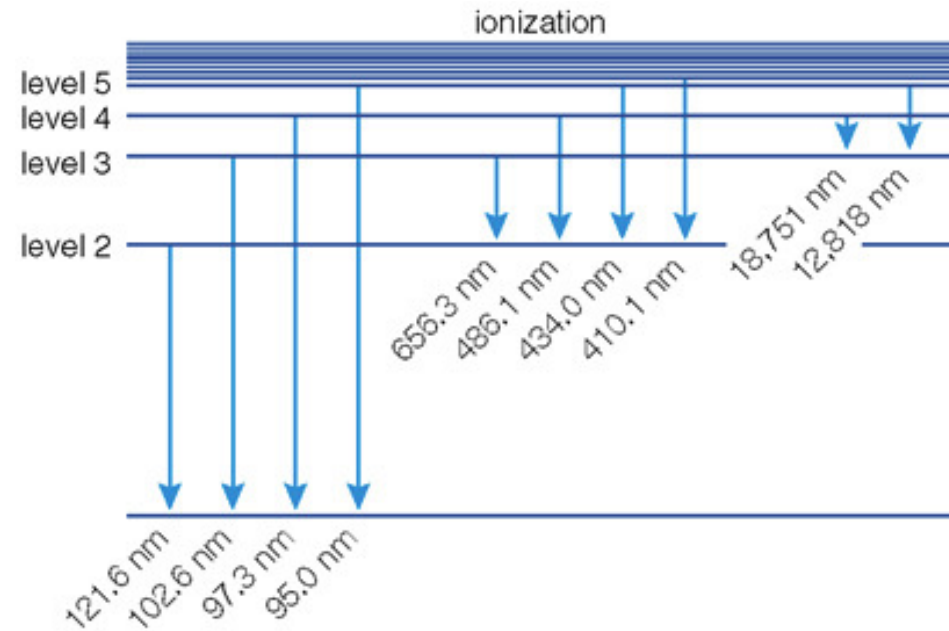


- Explicação para o efeito fotoelétrico, em que a luz se propaga em *quanta* (pacotes de energia bem definida), chamados fótons



Photoelectric effect

- Explicação da estabilidade atômica e da natureza discreta dos espectros atômicos, graças à quantização dos níveis de energia do átomo



Espectro de emissão do Hidrogénio



Espectro de absorção do Hidrogénio

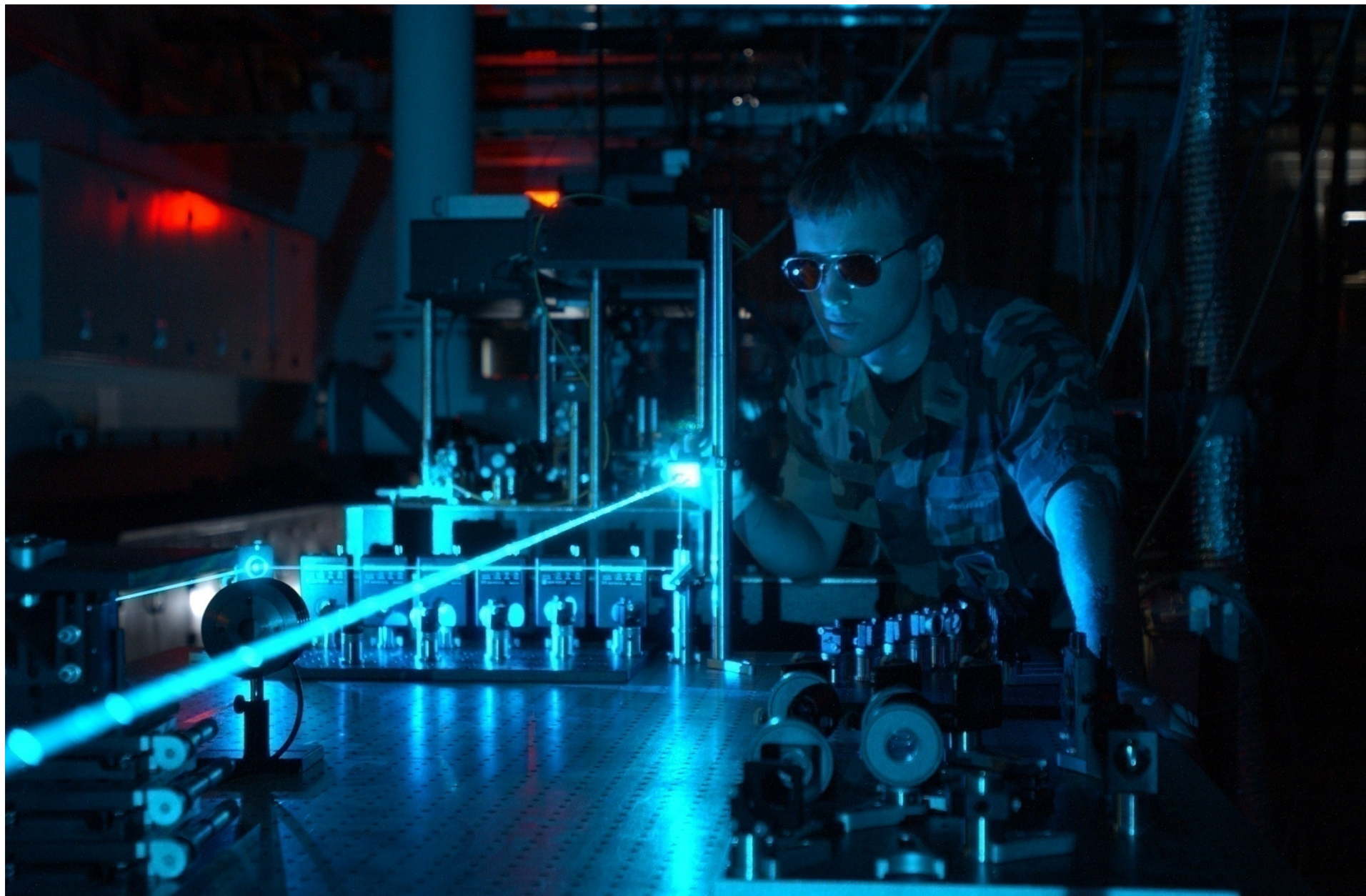


Algumas aplicações da mecânica quântica

Laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation = Amplificação da Luz por Emissão Estimulada de Radiação)

Têm inúmeras aplicações no dia a dia, desde leitores de CDs e DVDs, até apontadores, passando por instrumentos de medição, de corte, de iluminação, efeitos especiais, etc.

Dispositivo que produz **radiação electromagnética (luz)** com características muito especiais: ela é **monocromática** (possui frequência (= cor) única), **coerente** (possui relações de fase bem definidas), e **colimada** (propaga-se como um feixe)

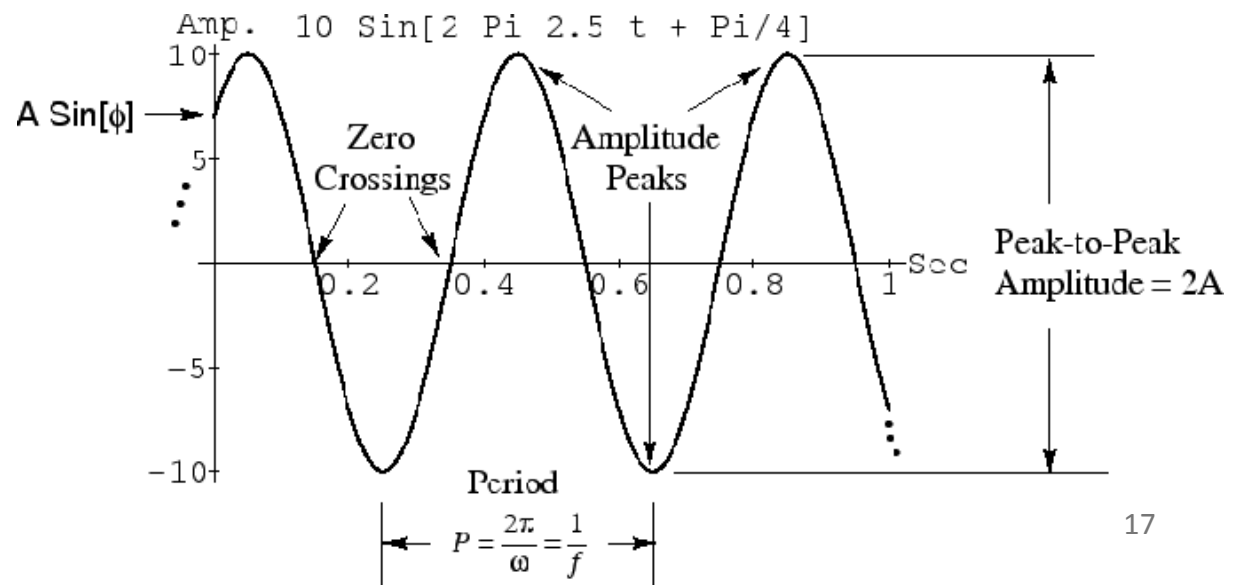


Laser azul

O efeito físico por trás do seu funcionamento é a **emissão estimulada**, proposta por Einstein

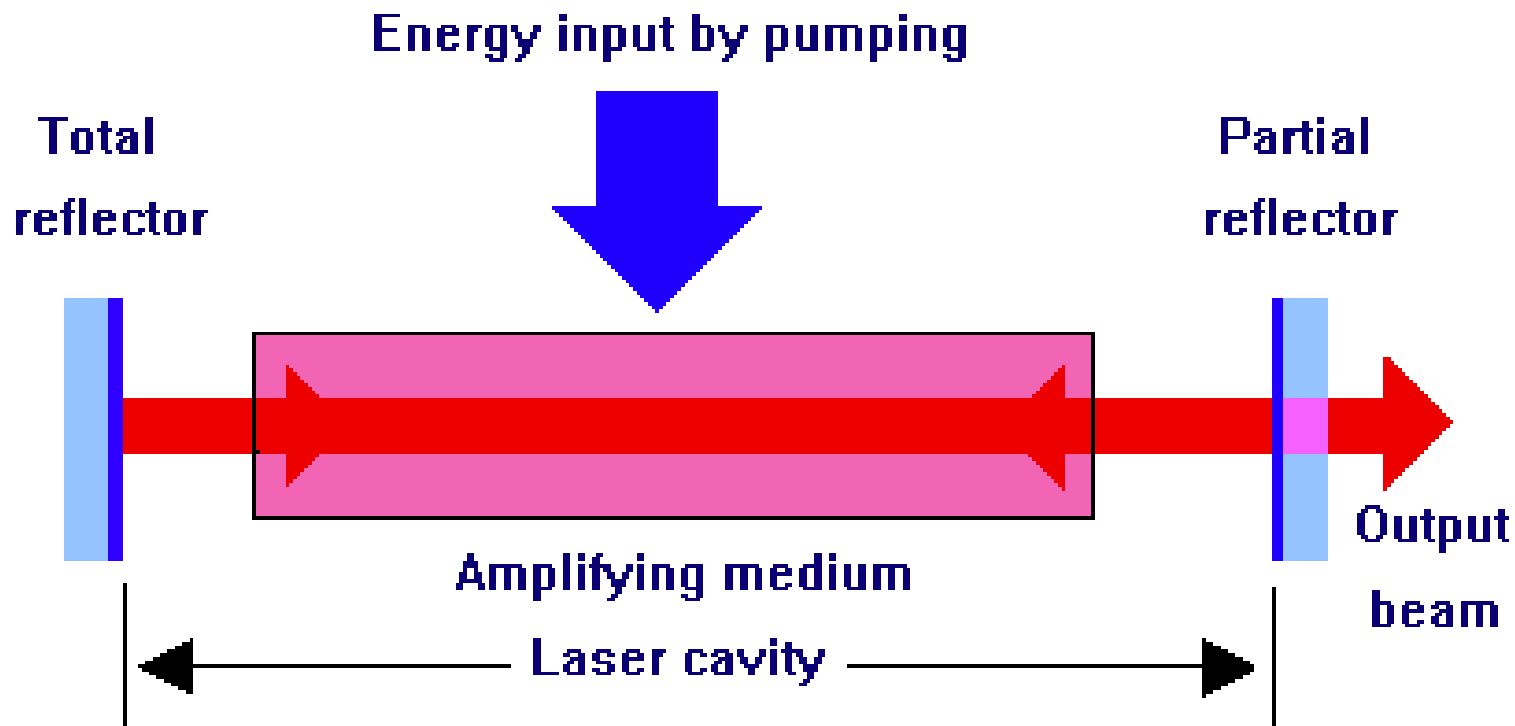
Um átomo absorve um **fotão** (a partícula de luz) incidente e reemite-o ao acaso após certo tempo (**emissão espontânea**), mas o átomo também reemite esse fotão se um segundo fotão interage com ele

O fotão reemitido tem a mesma frequência e fase do fotão que o estimulou

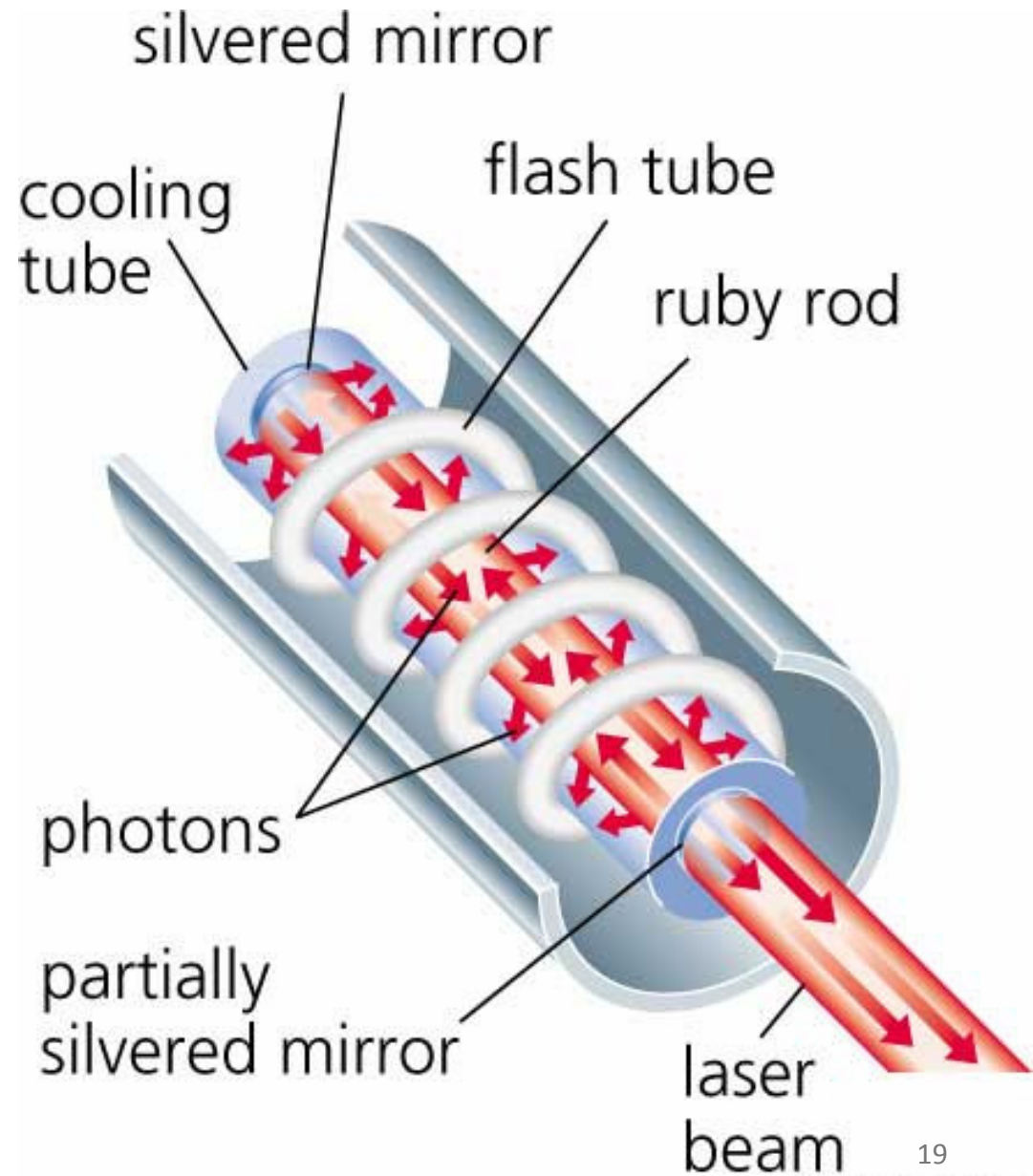


O laser funciona desde que se consiga **excitar** um número mínimo de átomos para um nível de energia superior, de modo a **inverter a população** (mais átomos excitados do que no estado fundamental)

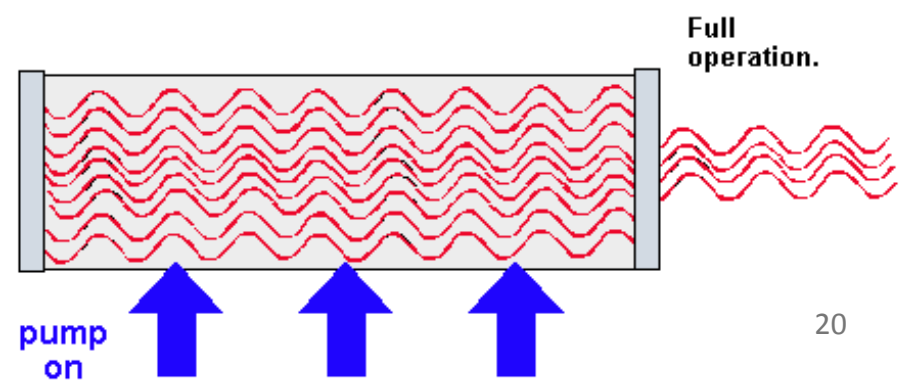
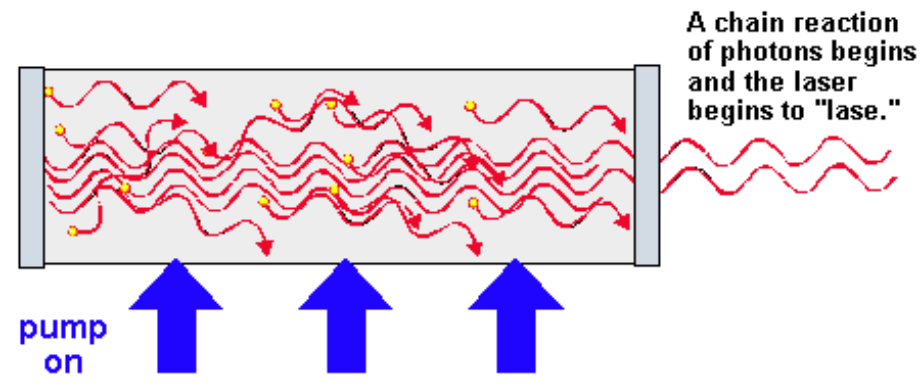
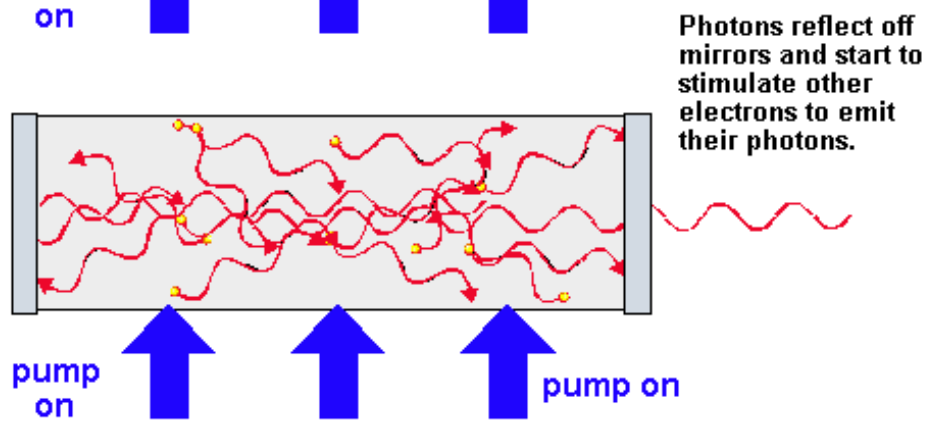
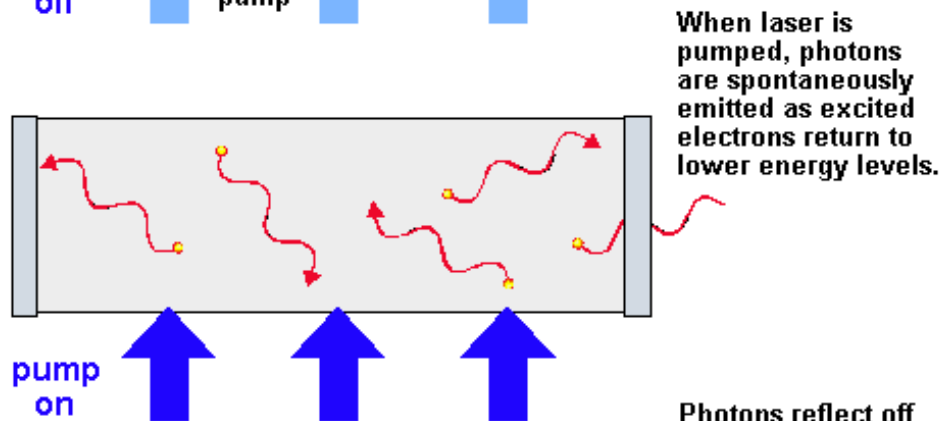
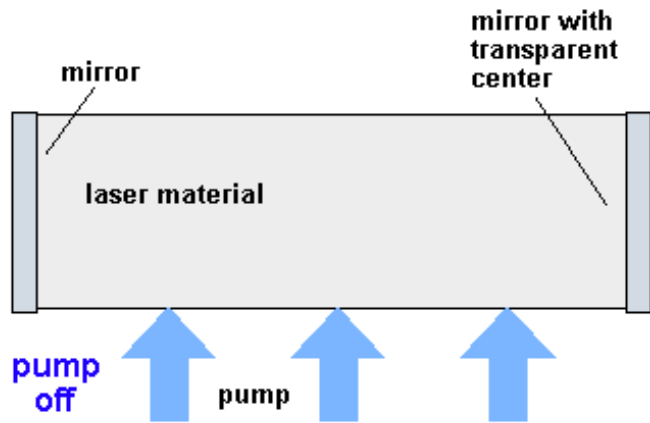
Quando isso ocorre, a **emissão estimulada de fótons** é **amplificada** pelos átomos vizinhos



A amplificação é obtida numa **cavidade óptica**, uma região do espaço em que se confina luz com o uso de espelhos altamente reflectores e convenientemente alinhados



Princípio de funcionamento de um laser: a cavidade óptica



Como funciona um laser?

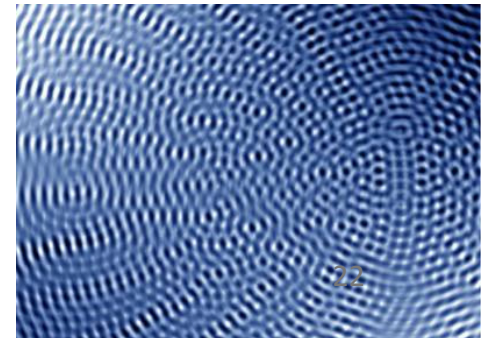
Holografia

É uma forma de registrar e mostrar uma imagem em **três dimensões**

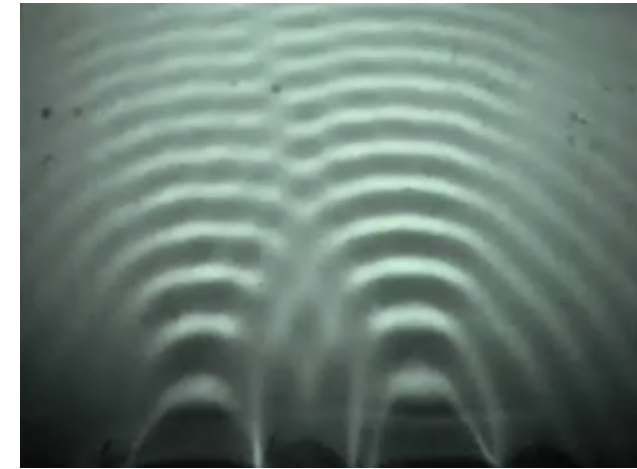
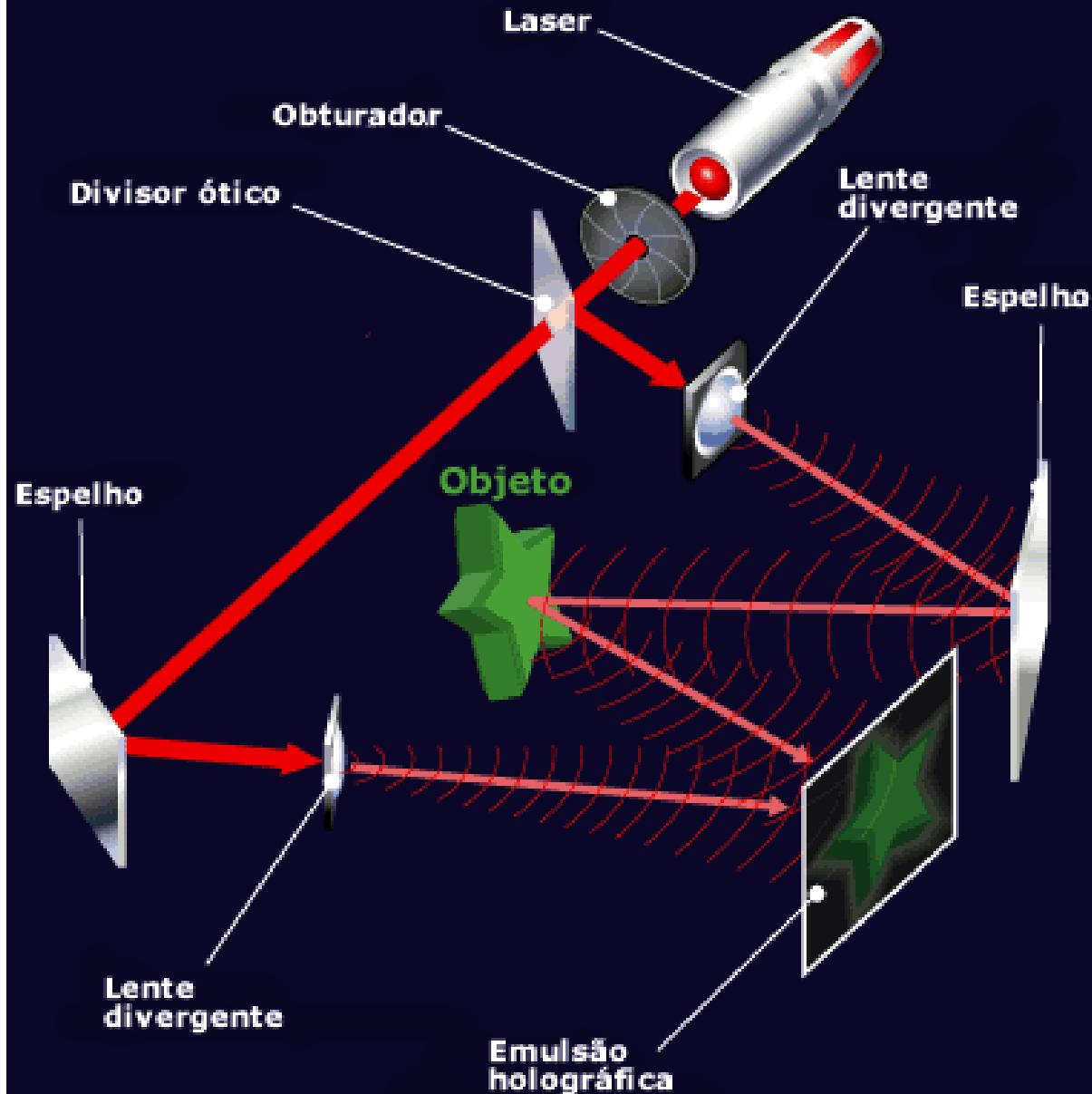
Foi concebida teoricamente em 1948 por Dennis Gabor (prémio Nobel em 1971) mas realizada pela primeira vez apenas nos anos 60, após a invenção do **laser**

Os hologramas possuem uma característica única: cada parte deles possui a **informação do todo**

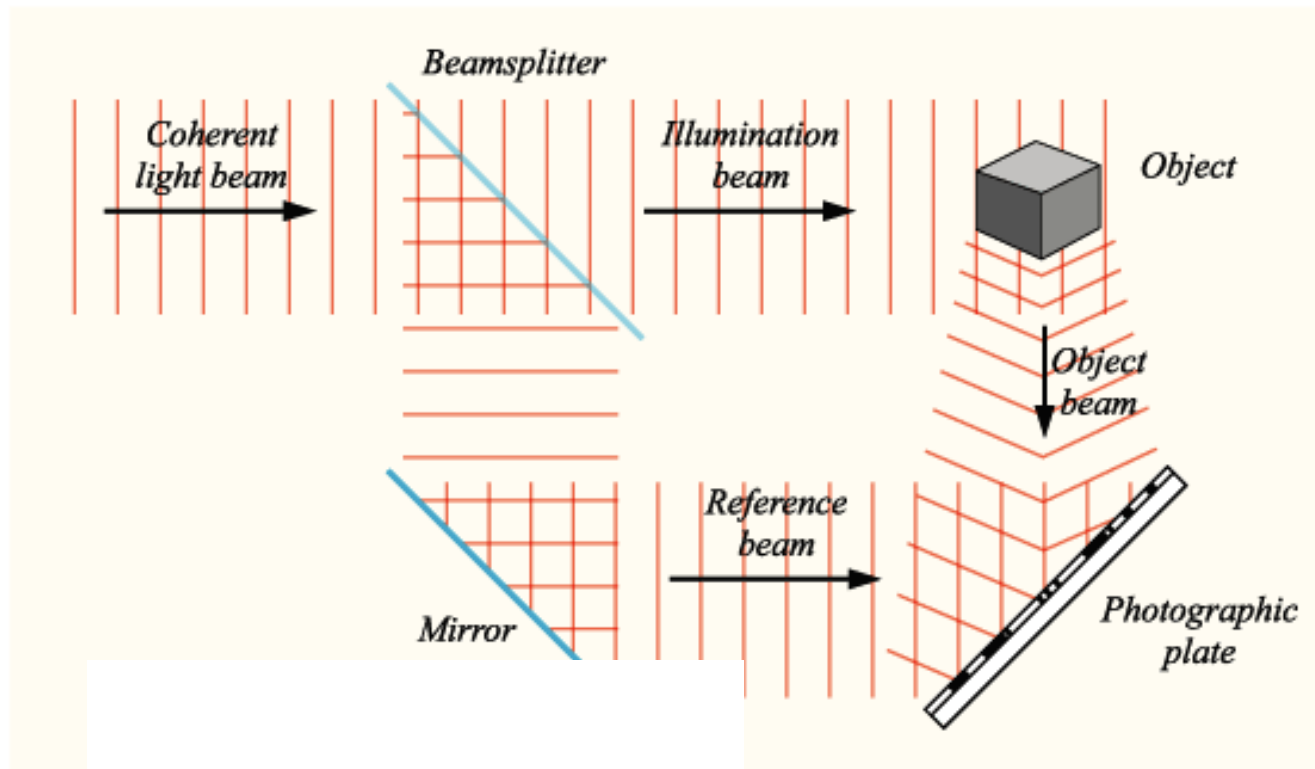
É um processo de **codificar informação visual** e depois descodificá-la, recriando-a "integralmente"



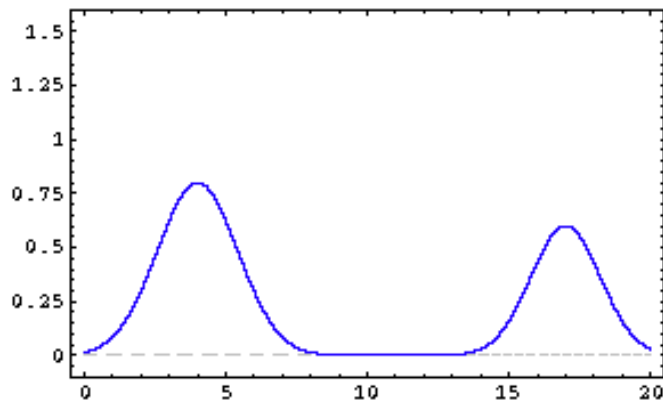
Como funcionam os hologramas Mesa de holografia



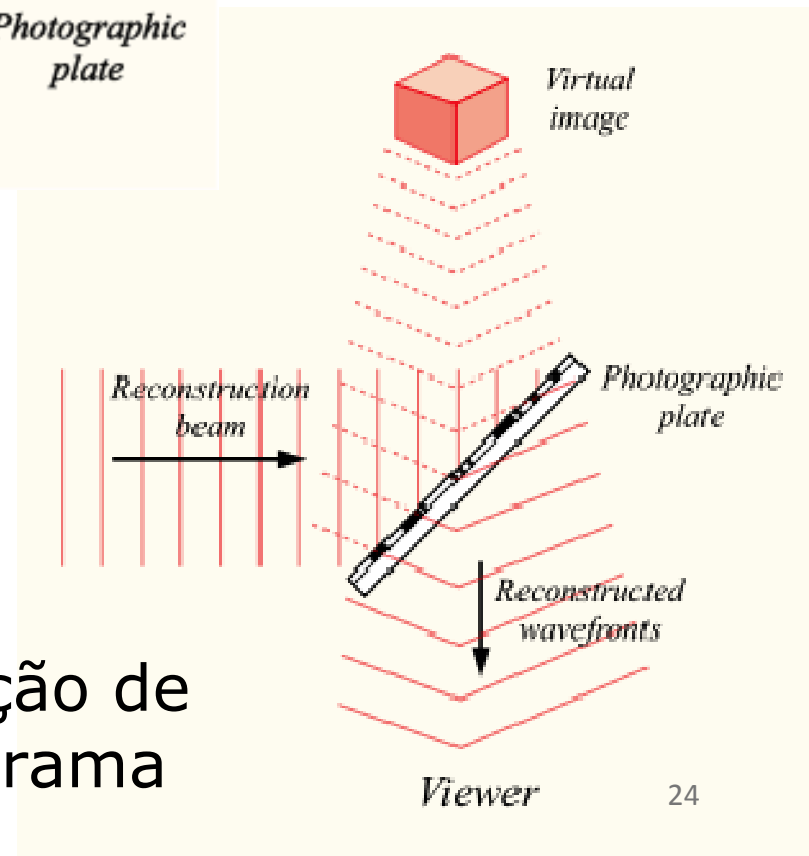
O que é registado no filme é a **interferência** entre o feixe inicial e a sua parte reflectida pelo objecto (a luz é uma onda...)



Criação de um holograma



Visualização de um holograma

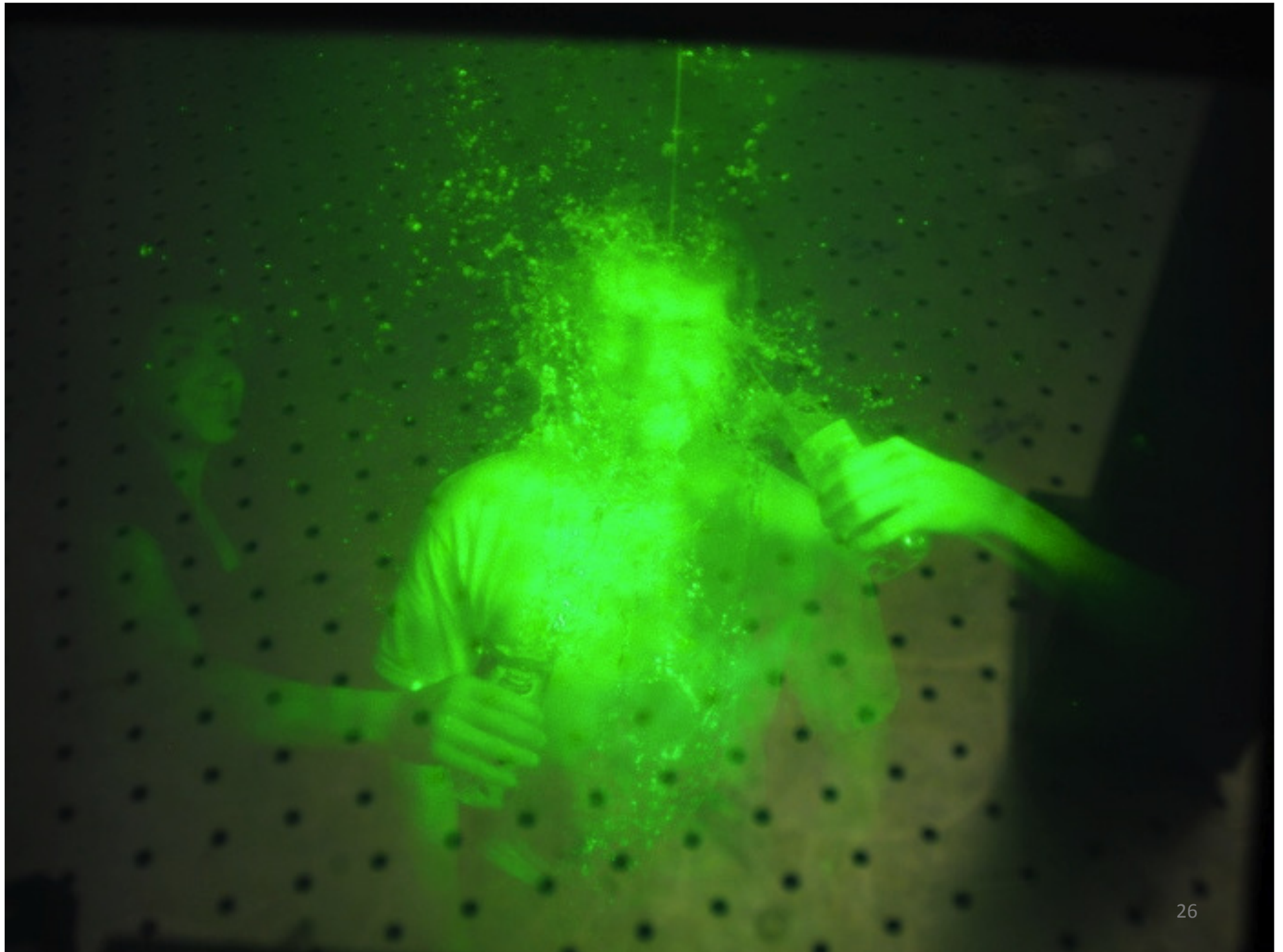


Em investigação científica, a holografia é usada no estudo de materiais, desenvolvimento de instrumentos ópticos, criação de redes de difracção, etc.

Na indústria tem aplicações no controle de qualidade de materiais, armazenamento de informação e na segurança

Nas artes visuais existem artistas que usam a holografia como meio de expressão





holography:

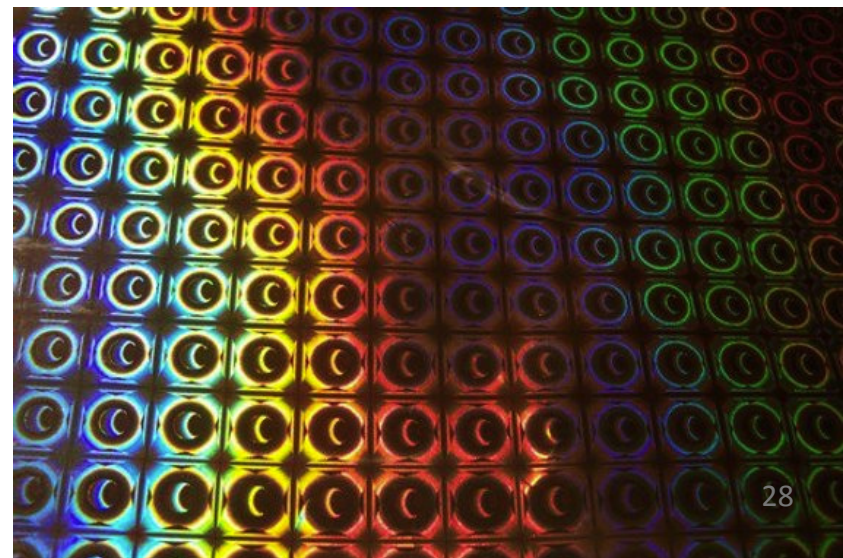
Reflection Hologram

Victorian Era Cherub

circa: 1900

Na área da tecnologia da informação testa-se o uso de hologramas como uma forma de **armazenamento de dados** (permite guardar a informação em alta densidade)

No disco a luz é dividida, alterada e recombina de modo a criar padrões de interferência (**pequenos hologramas** gravados na camada sensível do disco). Chega-se aos Terabytes de dados (milhares de Gigabytes) por disco



Porque são difíceis de produzir e copiar, os hologramas são usados para **segurança**, e aplicados em produtos para comprovar sua **autenticidade**

Os hologramas mais comuns são aplicados em cartões de crédito e bancários, em produtos de informática, relógios, DVDs e vários outros produtos passíveis de pirataria

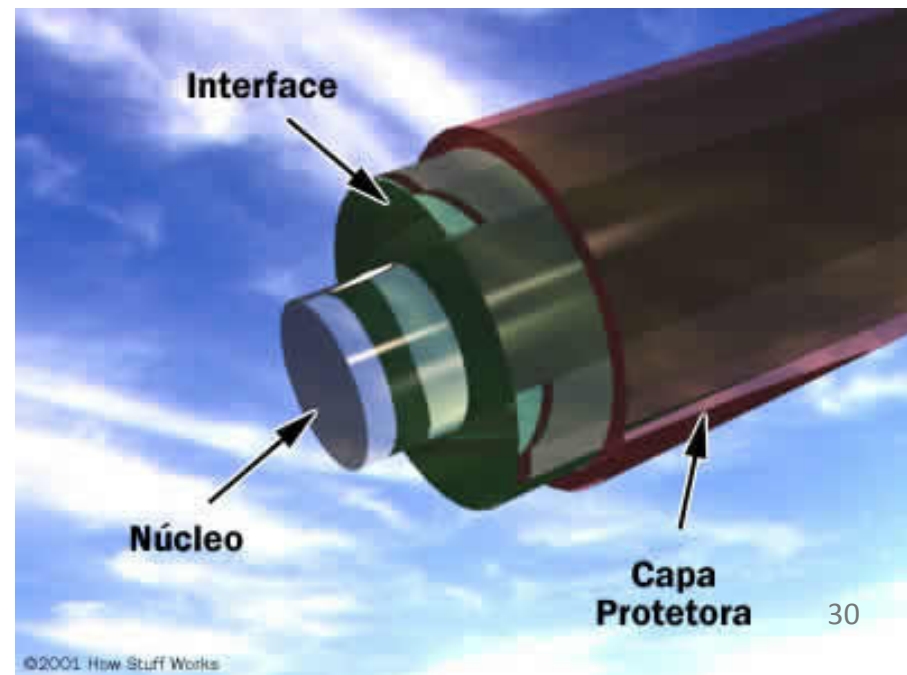
Hologramas são também integrados nas notas bancárias para aumentar o seu nível de segurança



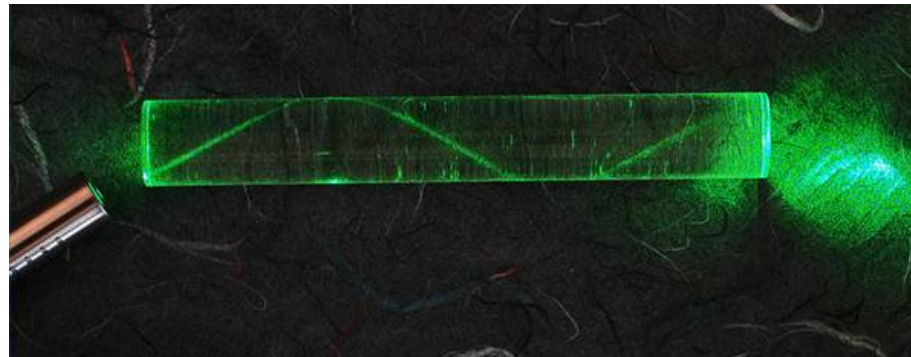
Fibras ópticas

É um fio de vidro ou de plástico com capacidade de **transmitir radiação electromagnética (luz)**

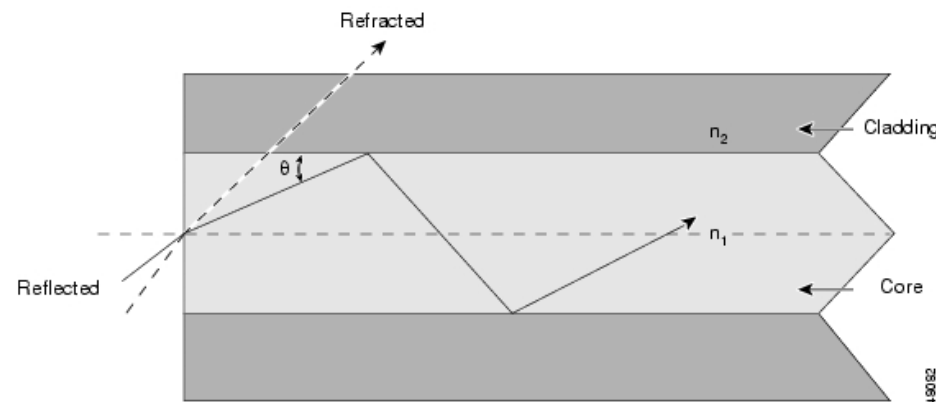
Pode ter diferentes diâmetros, indo desde microns (mais finos que um cabelo) até vários milímetros



Transmissão da luz na fibra: é introduzido um feixe de luz numa extremidade, que percorre a fibra através de **reflexões sucessivas**



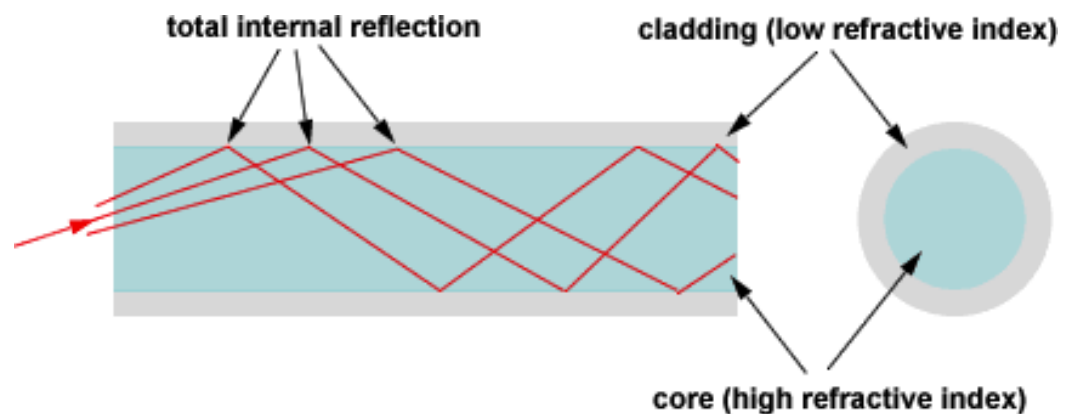
A fibra possui no mínimo **duas camadas**: o núcleo e o revestimento (a transmissão da luz ocorre no núcleo)



n = index of refraction
 $n_1 > n_2$ gives total internal reflection

A transmissão da luz dentro da fibra é possível graças à diferença no **índice de refração** (velocidade da luz) entre o revestimento e o núcleo (no núcleo é mais elevado)

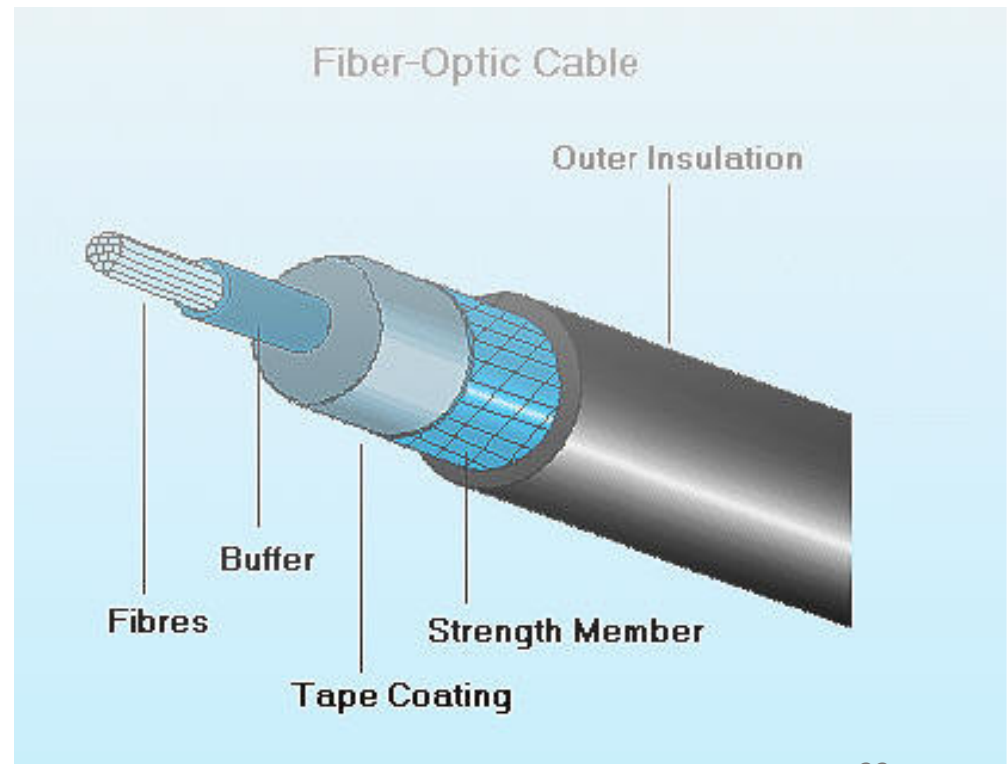
Dependendo do ângulo de incidência tem-se a **reflexão total**



O vidro é mais utilizado nas fibras ópticas porque absorve menos a luz. A luz mais utilizada é a infravermelha.

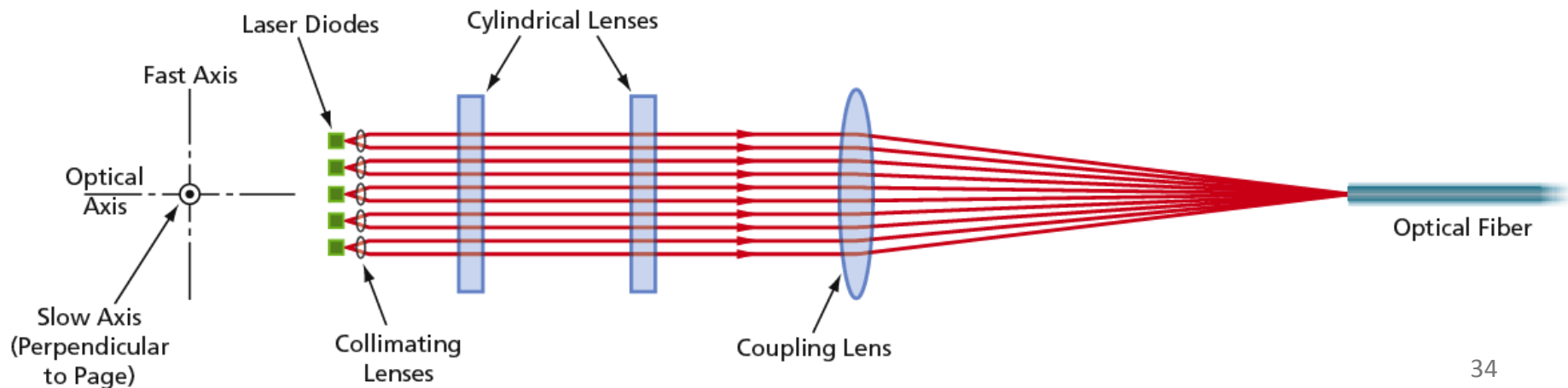
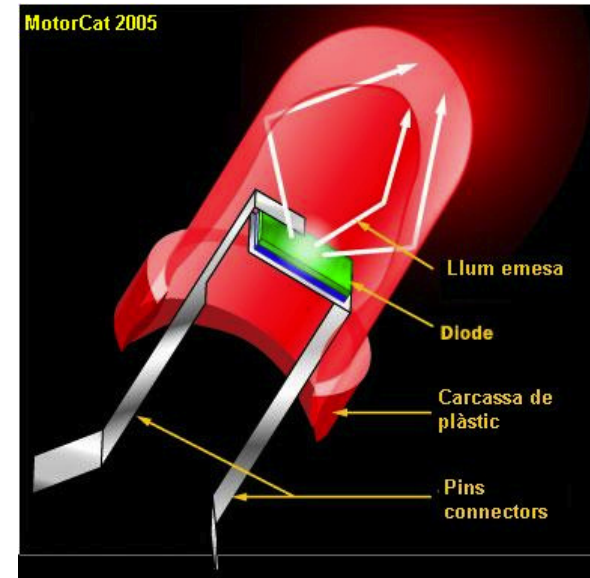
A transmissão por fibra óptica proporciona **taxas de transmissão muito elevadas**, da ordem de de 1Gbps, com baixa taxa de atenuação

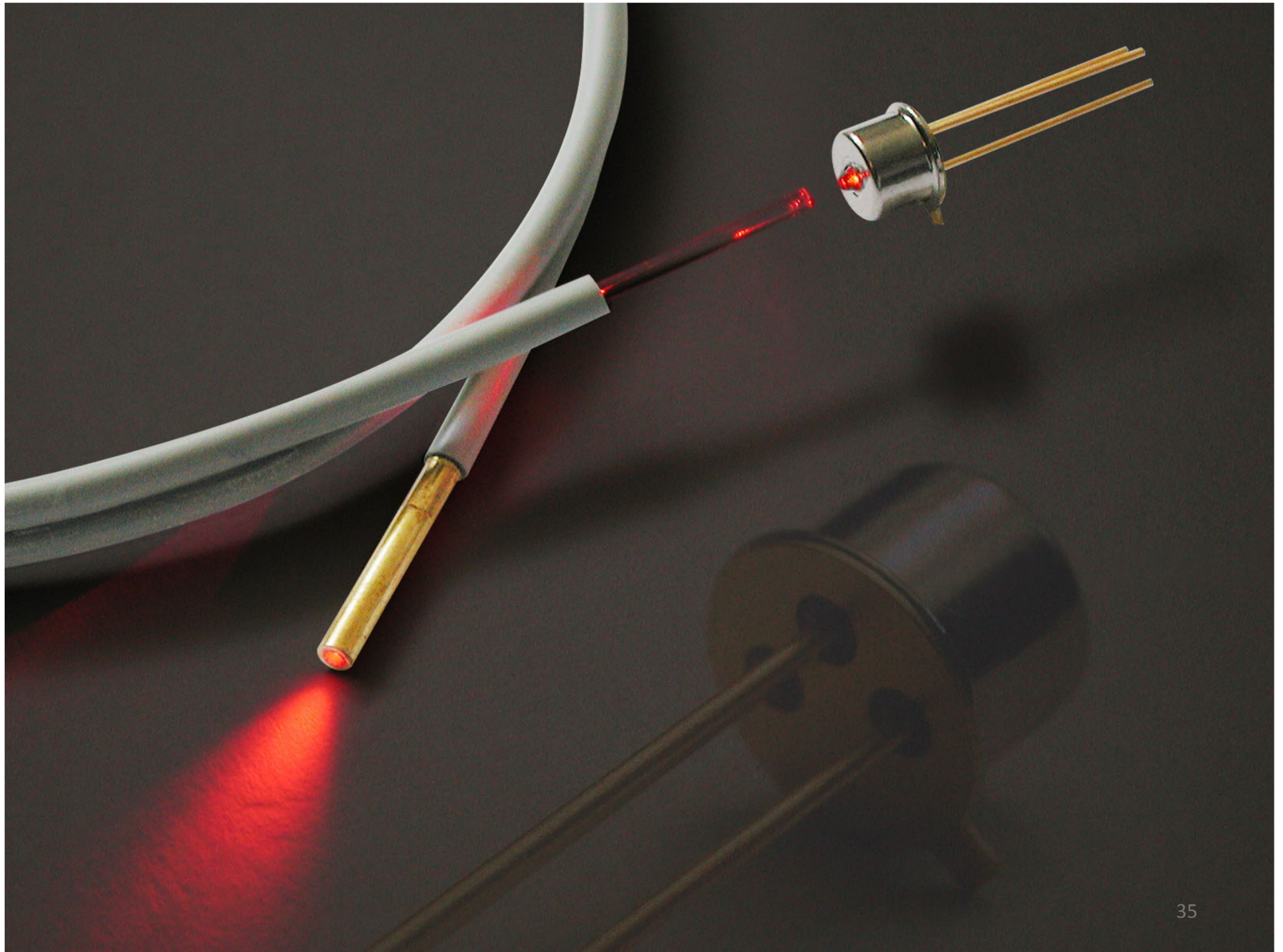
Existem cabos de fibra óptica que atravessam oceanos



Para transmitir dados pela fibra óptica, é necessário um **fotoemissor**, que pode ser um díodo emissor de luz (LED) ou um díodo laser, e um **fotoreceptor**

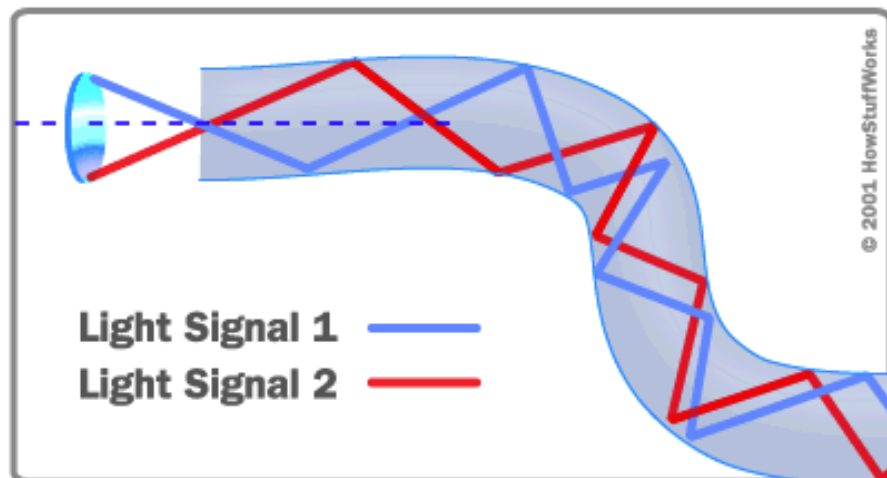
O fotoemissor converte sinais eléctricos em impulsos de luz que representam os valores digitais binários ("0" e "1")





Devido às suas características, as fibras ópticas apresentam **vantagens** sobre os sistemas eléctricos:

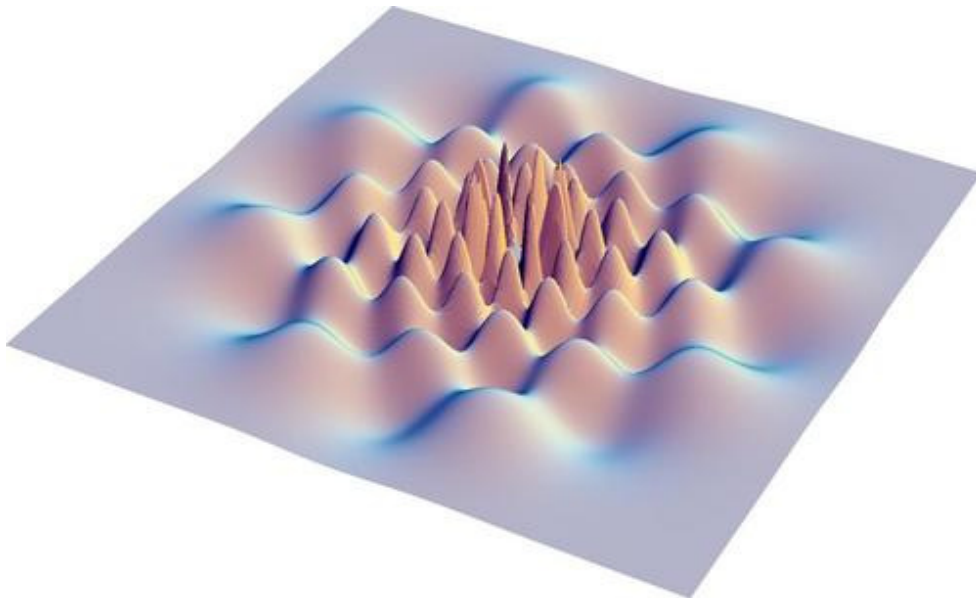
- Dimensões reduzidas
- Capacidade para transportar grandes quantidades de informação
- Atenuação muito baixa, que permite grandes espaçamentos entre repetidores
- Imunidade às interferências electromagnéticas
- Matéria-prima abundante



Supercondutores

A supercondutividade é uma propriedade física intrínseca de certos materiais que, a baixas temperaturas, **conduzem corrente sem resistência eléctrica**

A supercondutividade é um fenómeno quântico macroscópico: pode ser descrito por uma **única função de onda**



Quando abaixo da sua temperatura crítica, T_c , o supercondutor tem duas propriedades: **resistividade nula** e **diamagnetismo perfeito** (exclusão do campo magnético de seu interior = efeito Meissner)

Actualmente a T_c mais elevada é de um composto cerâmico de mercúrio-cobre, com $T_c=138 \text{ }^\circ\text{K}$ (ou $-135 \text{ }^\circ\text{C}$)

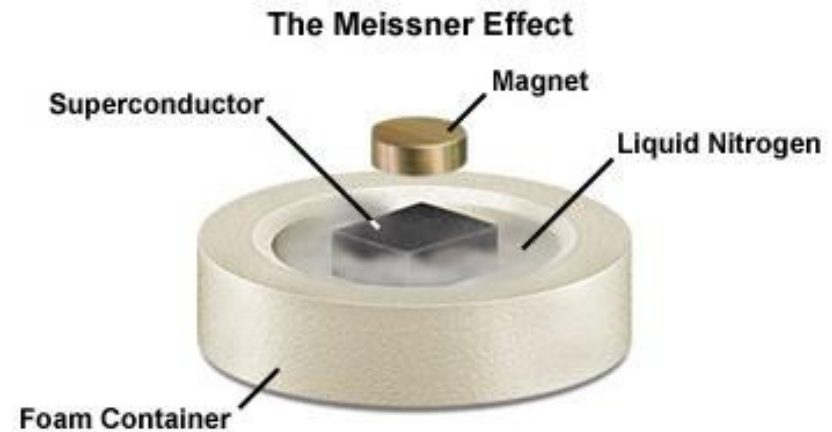


Fig. 1

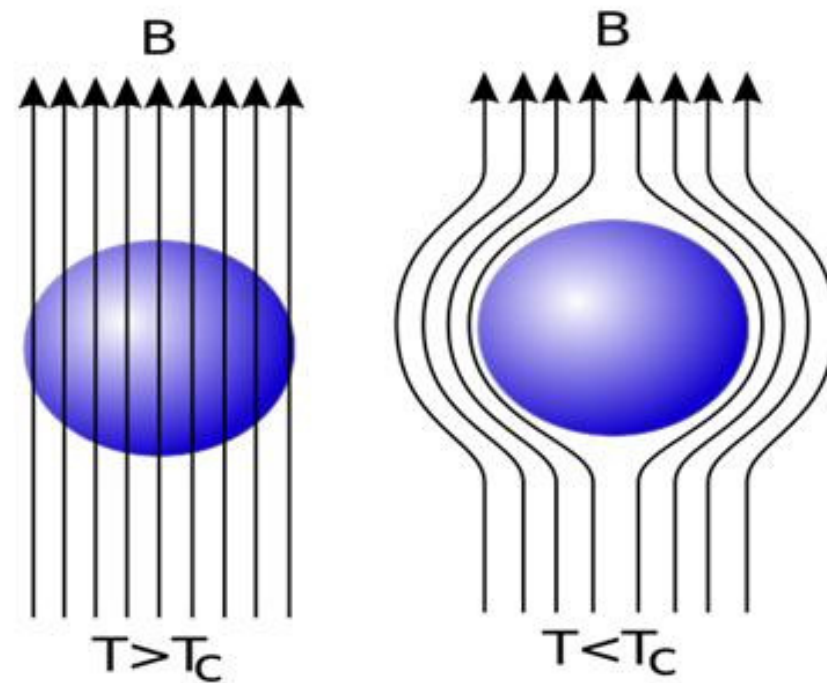
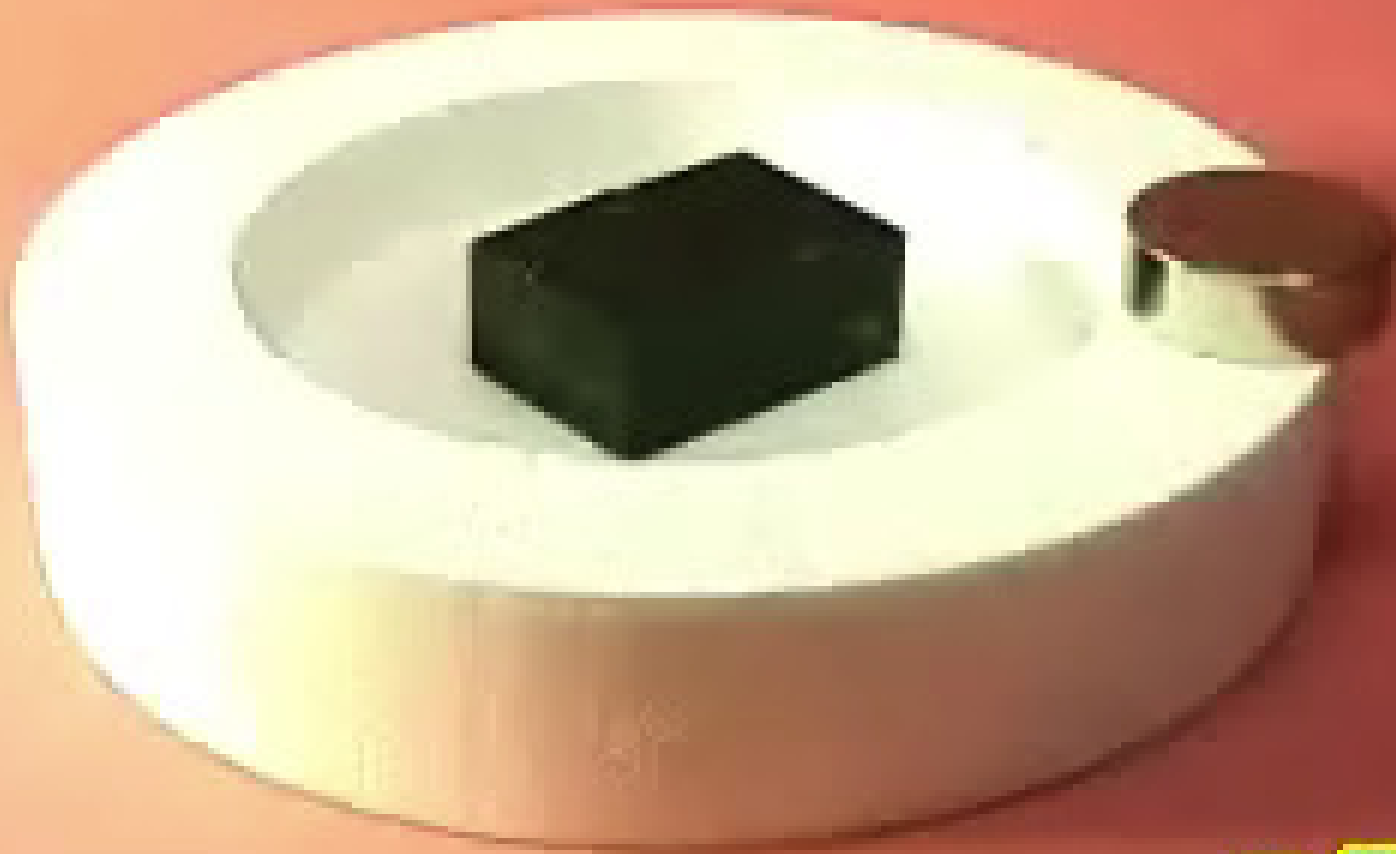


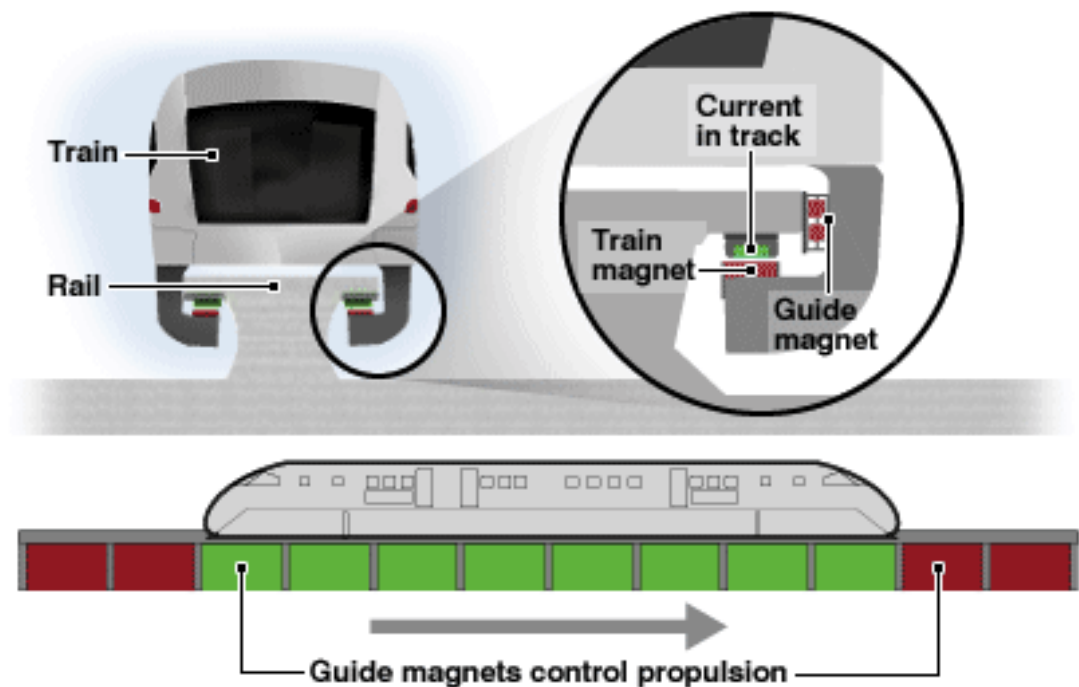
Fig. 2



BEJUNK.COM

As aplicações são inúmeras, como a produção de bobinas com fios supercondutores, que podem gerar **campos magnéticos muito elevados**, fora do alcance de fios de cobre

Estas bobinas podem ser usadas na construção de **Maglevs** (comboios que levitam), aparelhos de **ressonância magnética nuclear**, (geram um campo magnético homogêneo no paciente), etc.

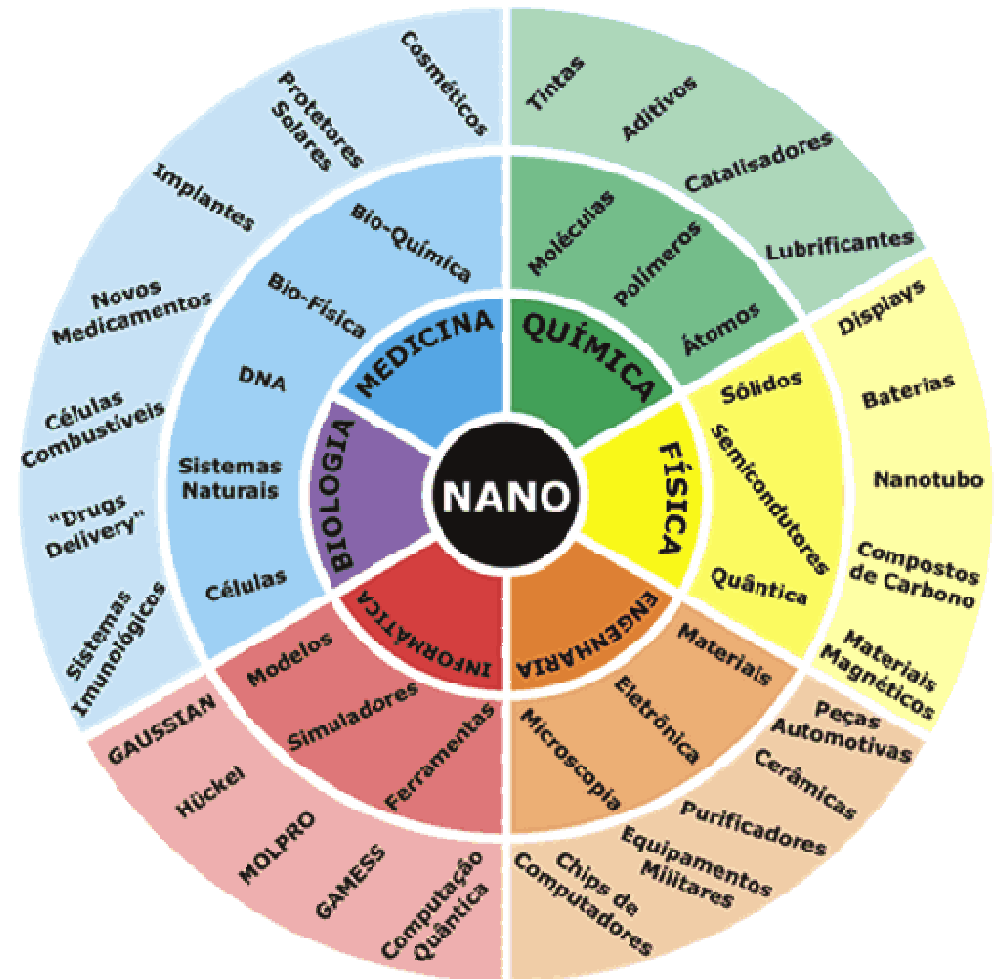




Nanotecnologia

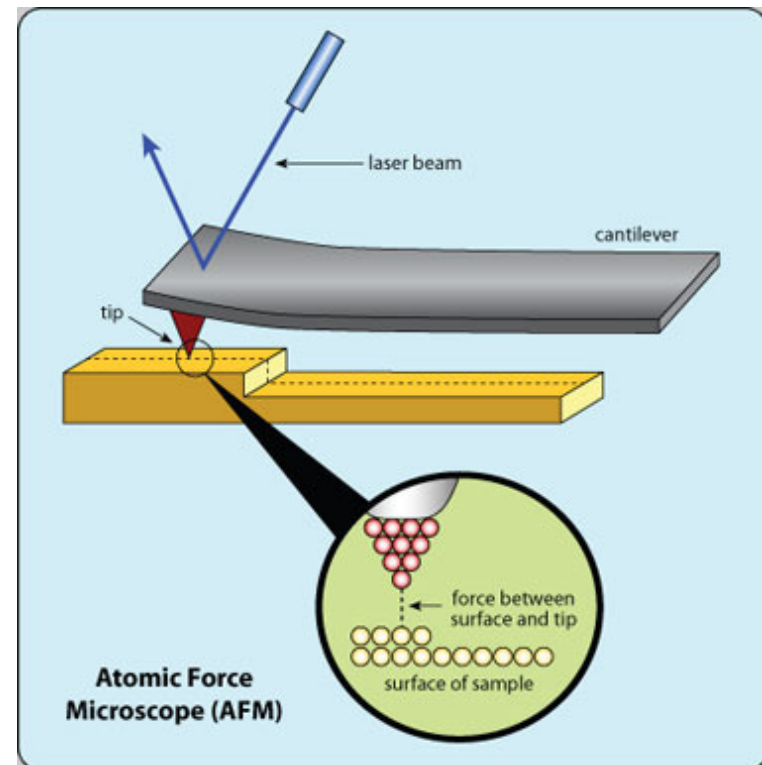
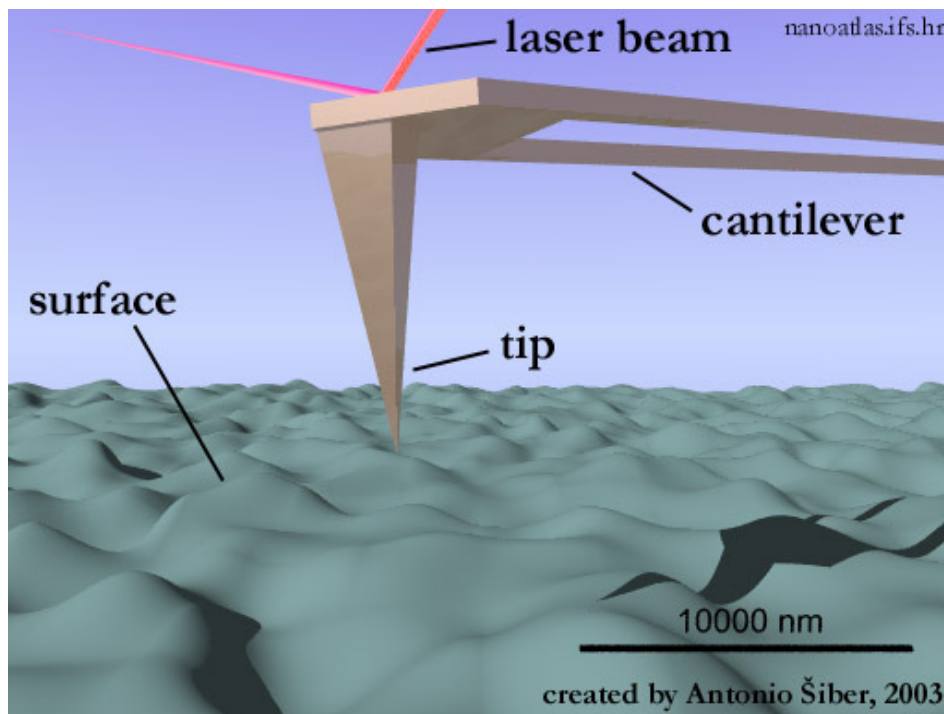
A **nanotecnologia** está associada a diversas áreas de investigação e produção de materiais à **escala atômica**

O princípio básico da nanotecnologia é a construção de estruturas e novos materiais **a partir de átomos ou pequenos grupos de átomos**

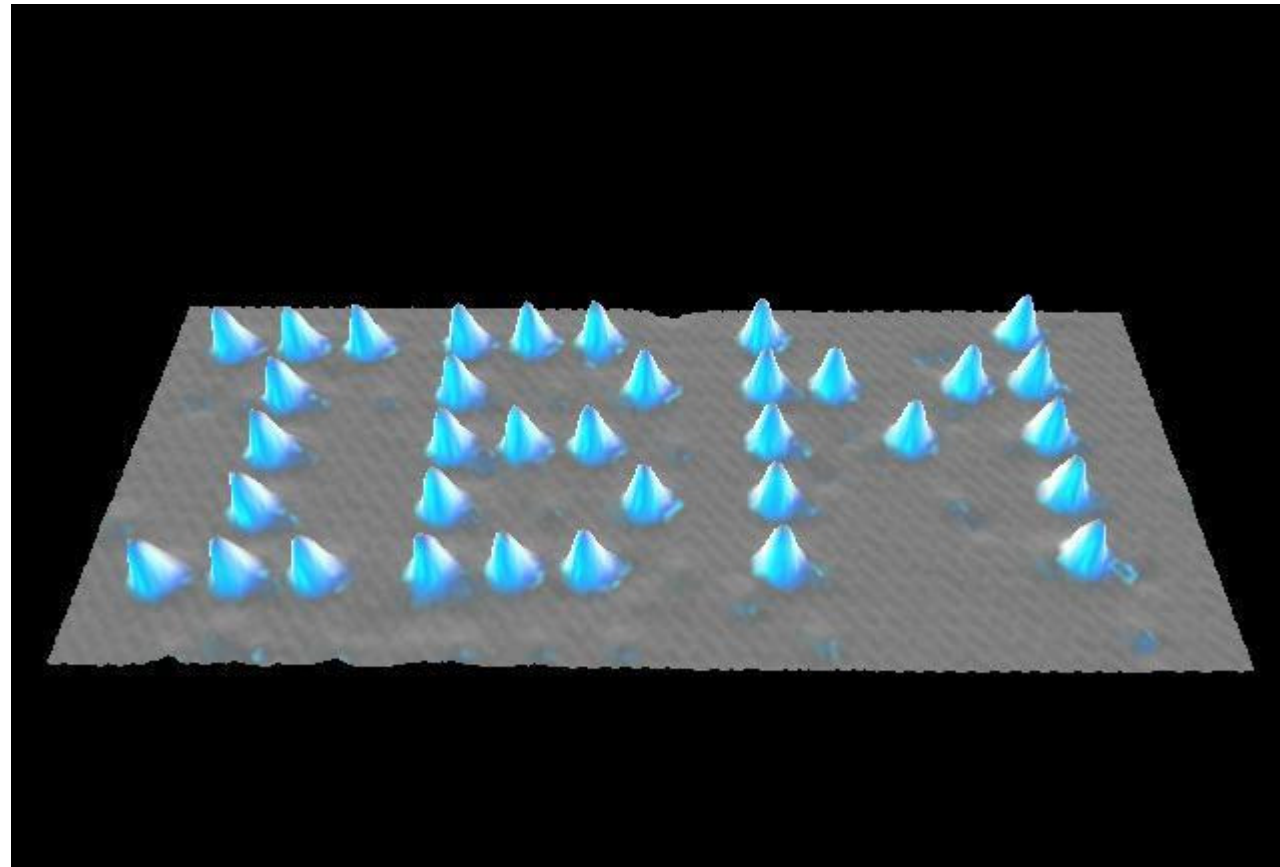
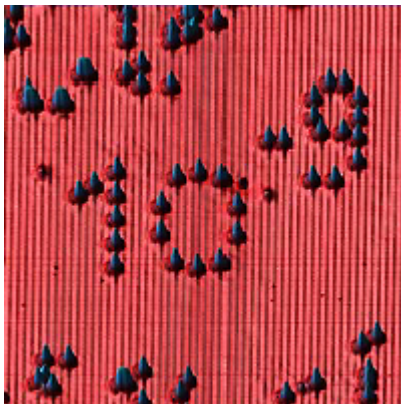


Um dos instrumentos utilizados para a exploração de materiais a essa escala é o microscópio de força atômica

O objectivo principal é chegar em um **controle preciso e individual dos átomos**



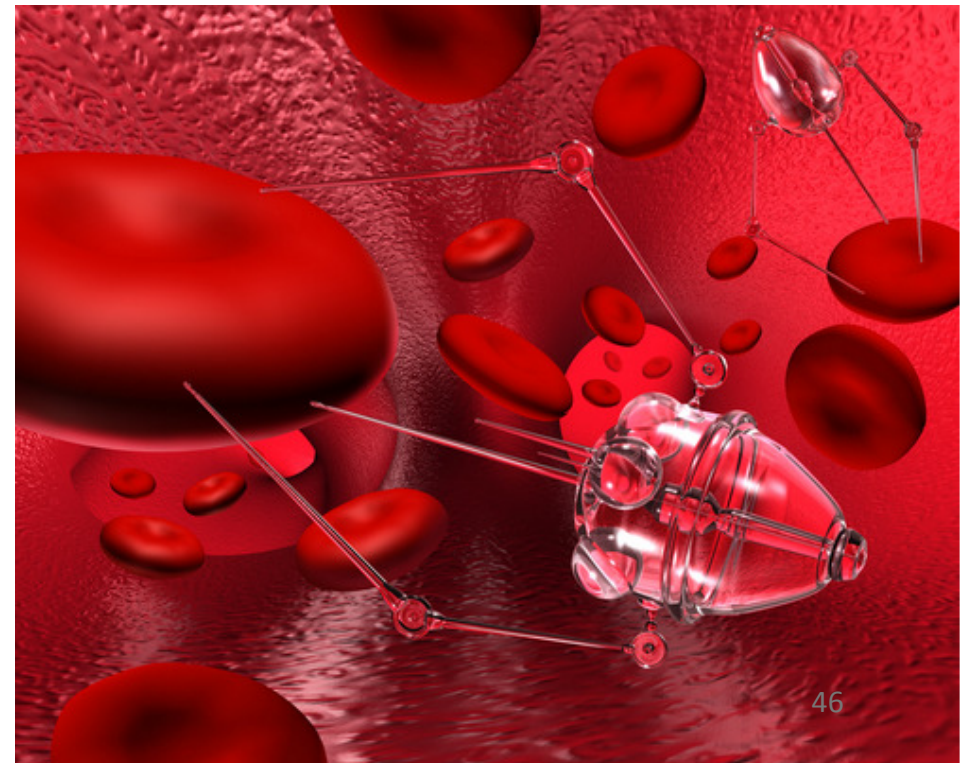
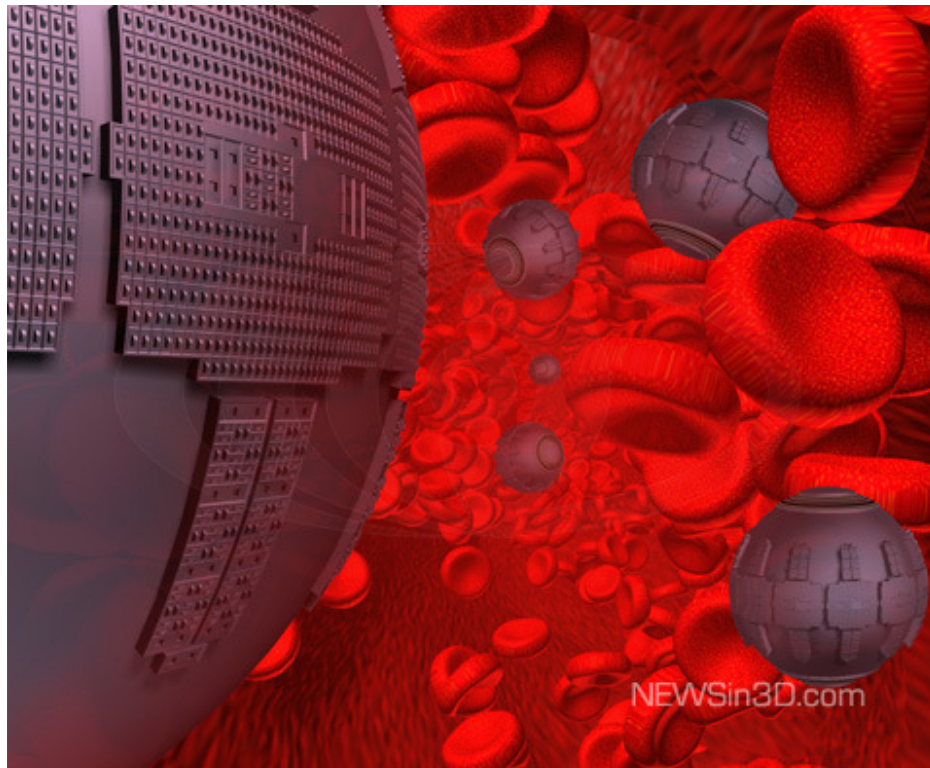
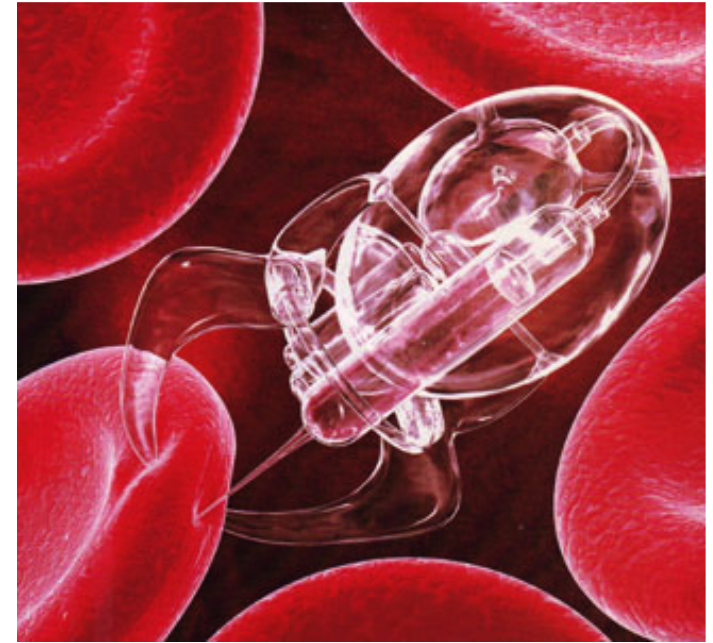
Já é possível manipular átomos individualmente, como a IBM fez com átomos de Xenon



Produtos e serviços de nanotecnologia que já estão no mercado:

- Tecidos resistentes a manchas e que não engelham
- Raquetes e bolas de ténis
- Filtros de protecção solar
- Nano-cola, capaz de unir qualquer material a outro
- Diversas aplicações na medicina como cateteres, válvulas cardíacas, pacemakers, implantes ortopédicos
- Sistemas de filtros de ar e de água
- Microprocessadores e equipamentos electrónicos
- etc.

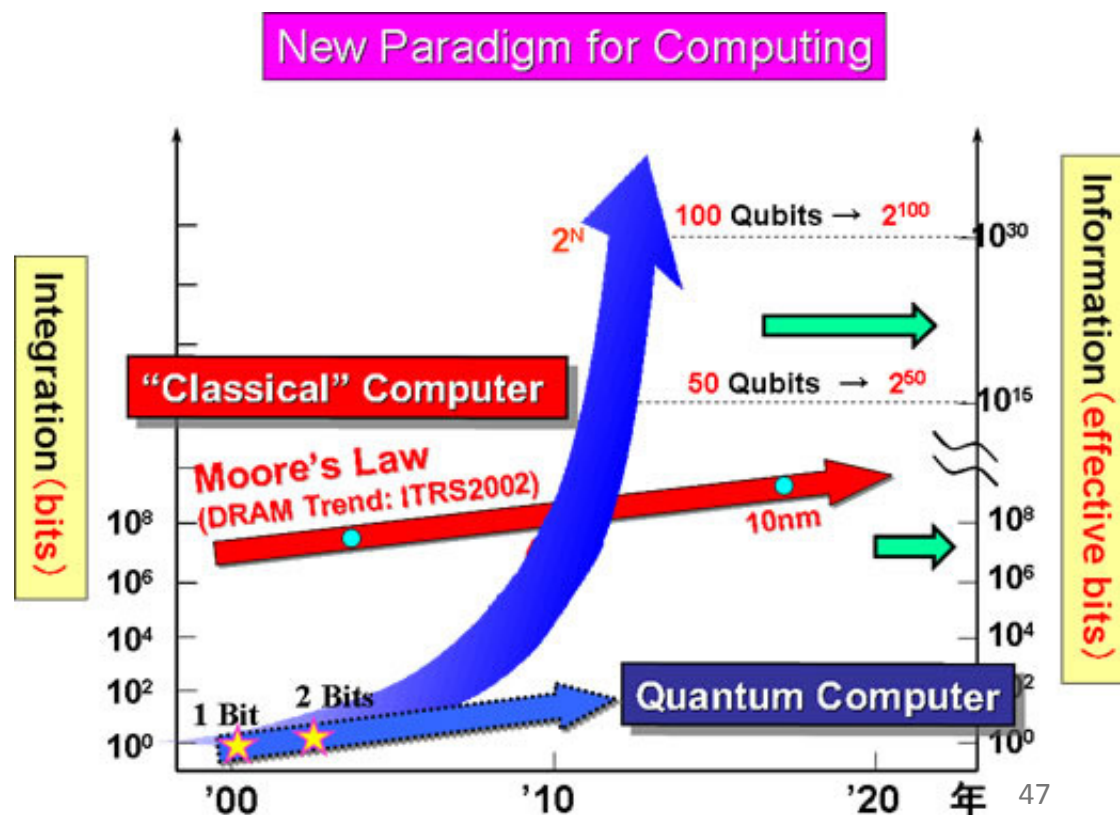
Que tal nanodispositivos que possam fazer “reparações” dentro do nosso corpo? É este o futuro da medicina?



Computação quântica

Um computador quântico executa cálculos fazendo uso directo de **propriedades da mecânica quântica**, tais como a **sobreposição** e a **interferência**

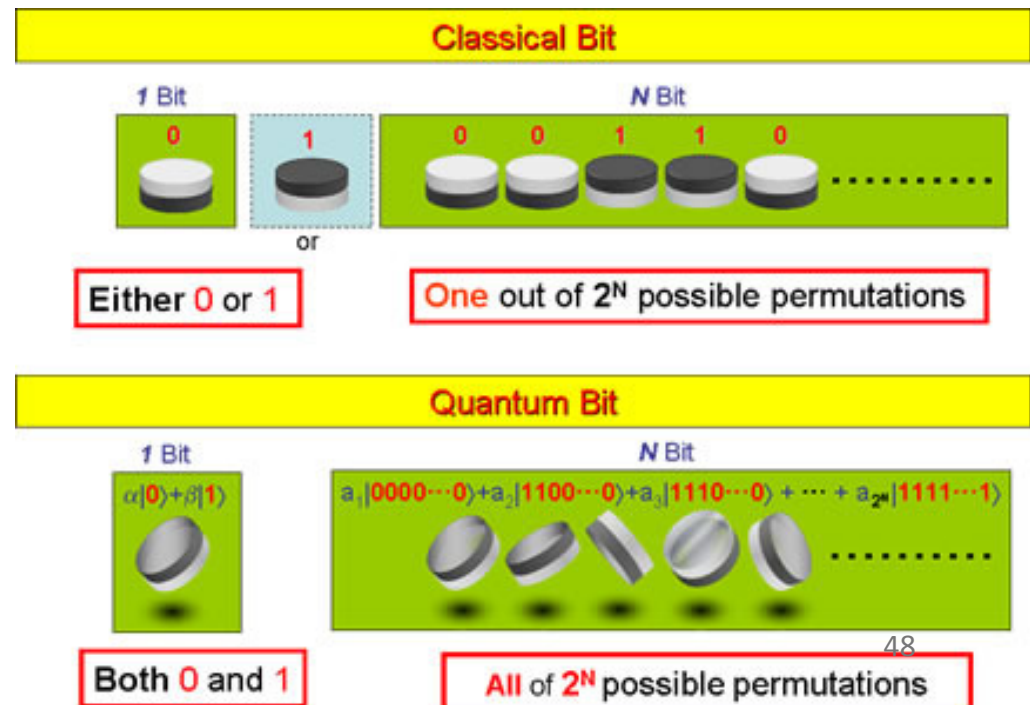
A principal vantagem desses computadores é a possibilidade de resolver mais **rapidamente** alguns problemas que na computação clássica



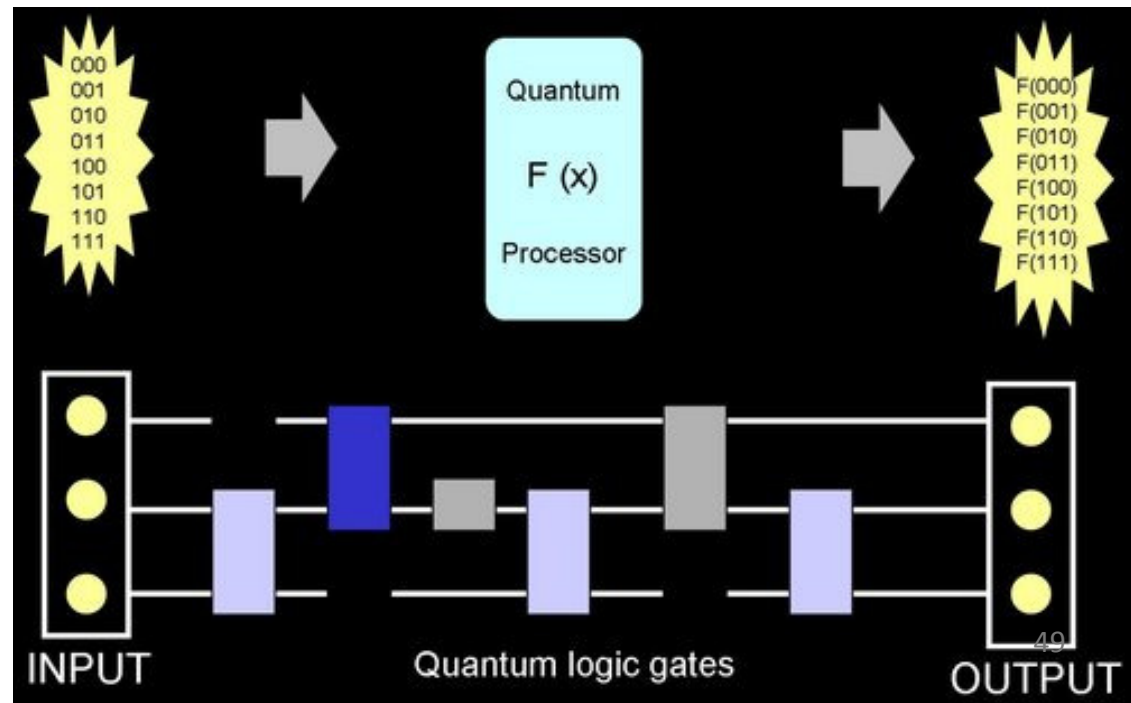
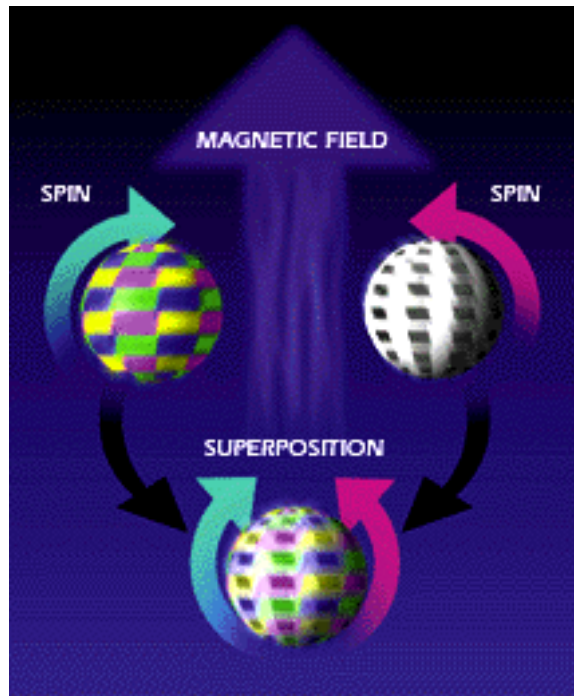
Em mecânica quântica, é possível que uma partícula esteja em dois ou mais estados ao mesmo tempo. A esta capacidade de estar simultaneamente em vários estados chama-se **sobreposição**

Um computador clássico tem uma memória feita de bits ("1" ou "0"). Um computador quântico mantém um conjunto de **qubits** e funciona pela sua manipulação.

Um qubit pode conter um "1", um "0" ou uma sobreposição destes



Por exemplo, pode construir-se um computador quântico com **electrões** que podem ter um spin ao mesmo tempo "para cima" e "para baixo"

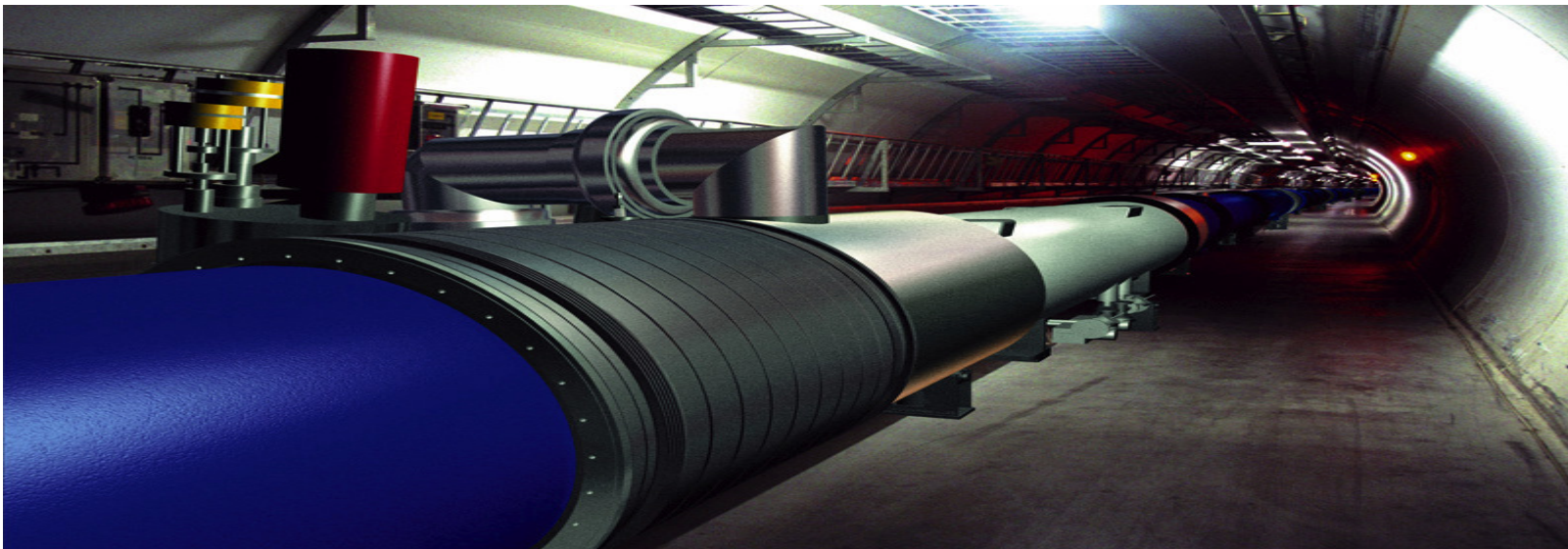


Conclusões

A mecânica quântica veio para ficar!

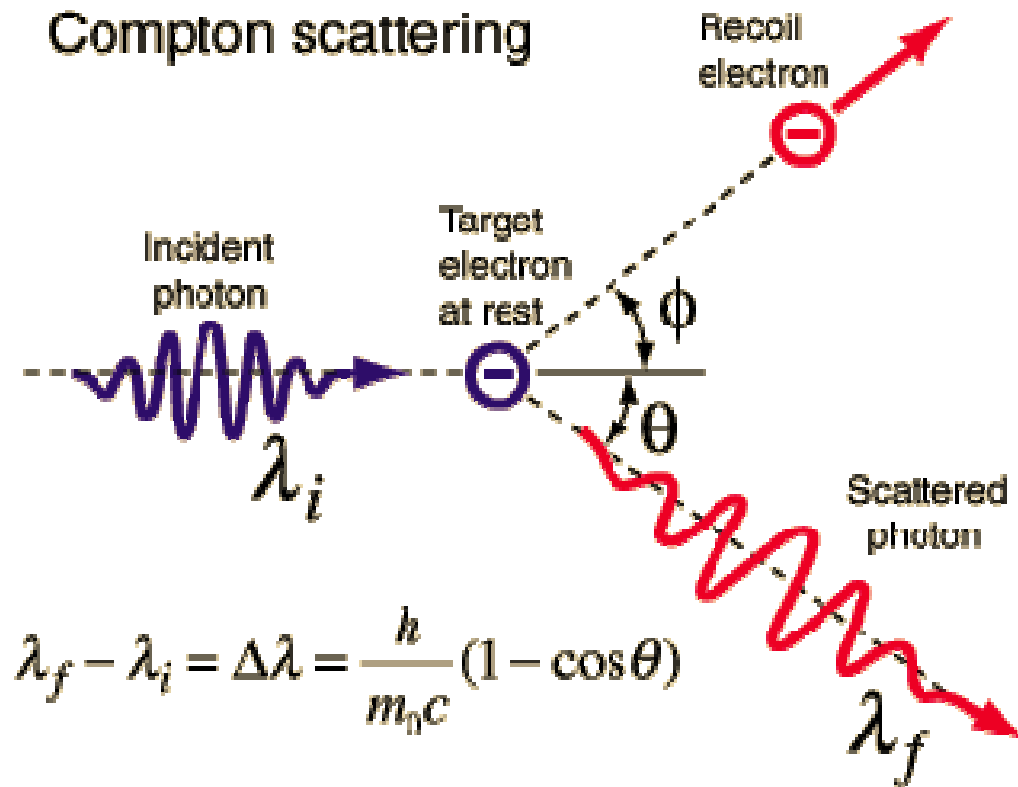
Está já presente em muitas das **aplicações tecnológicas** que usamos no dia a dia (e existem muitas mais que não foram referidas)

Deriva da física do início do século XX. O que nos trará **a física do século XXI?**



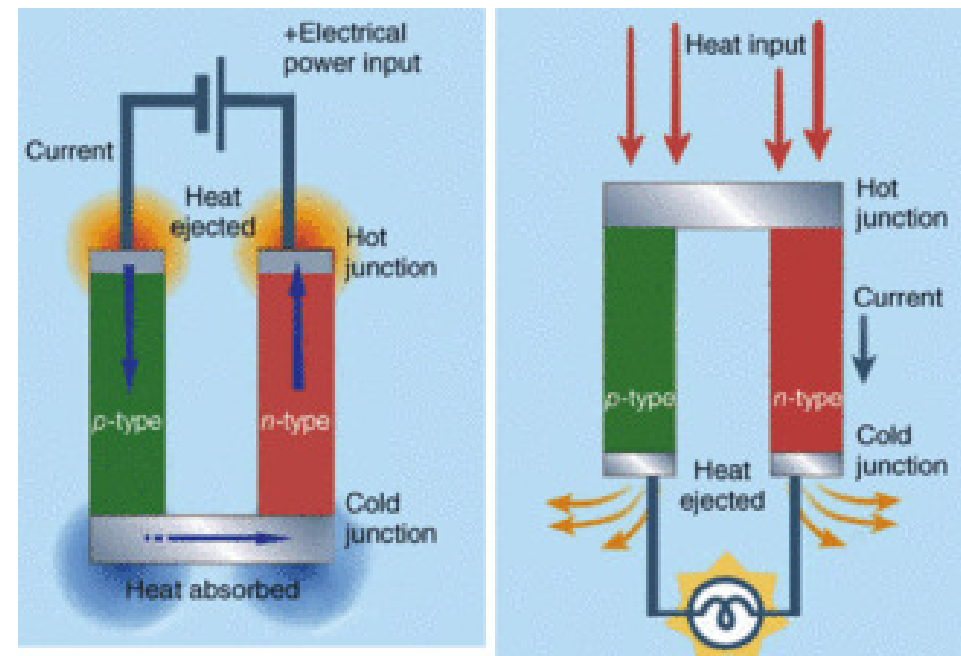
Extras

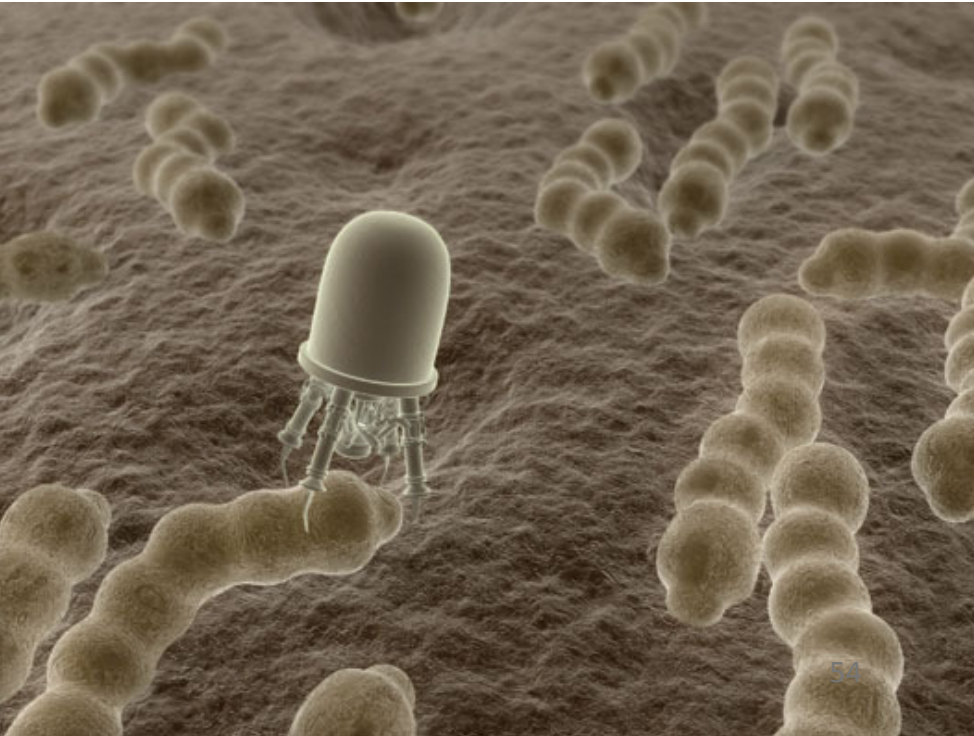
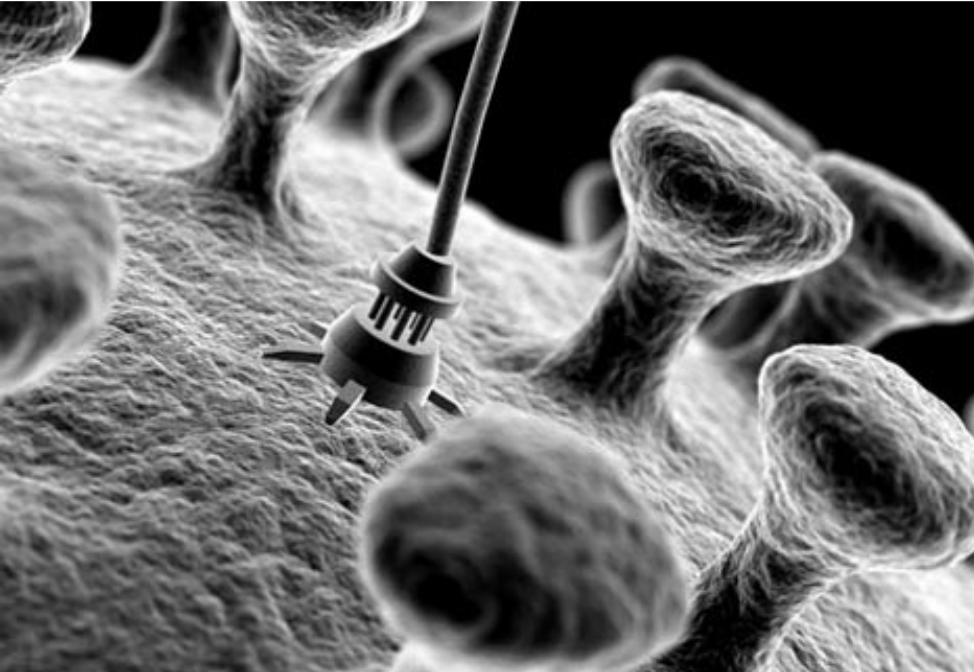
- Efeito Compton, em que os fótons se podem se comportar como **partículas**
- etc.



Aplicação da nanotecnologia: criação do **material mais escuro** do mundo, que absorve mais de 99,9% de toda a luz que recebe para o aproveitamento da radiação solar para geração de energia eléctrica

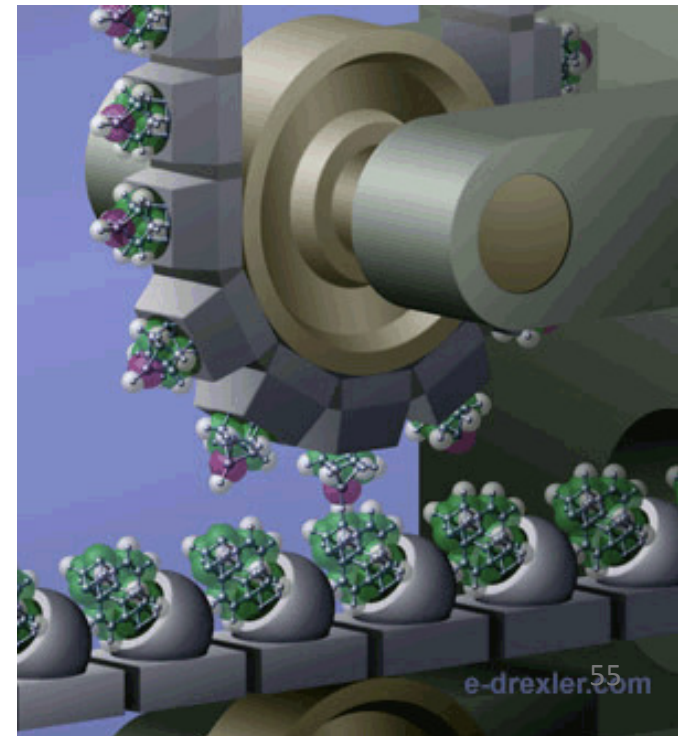
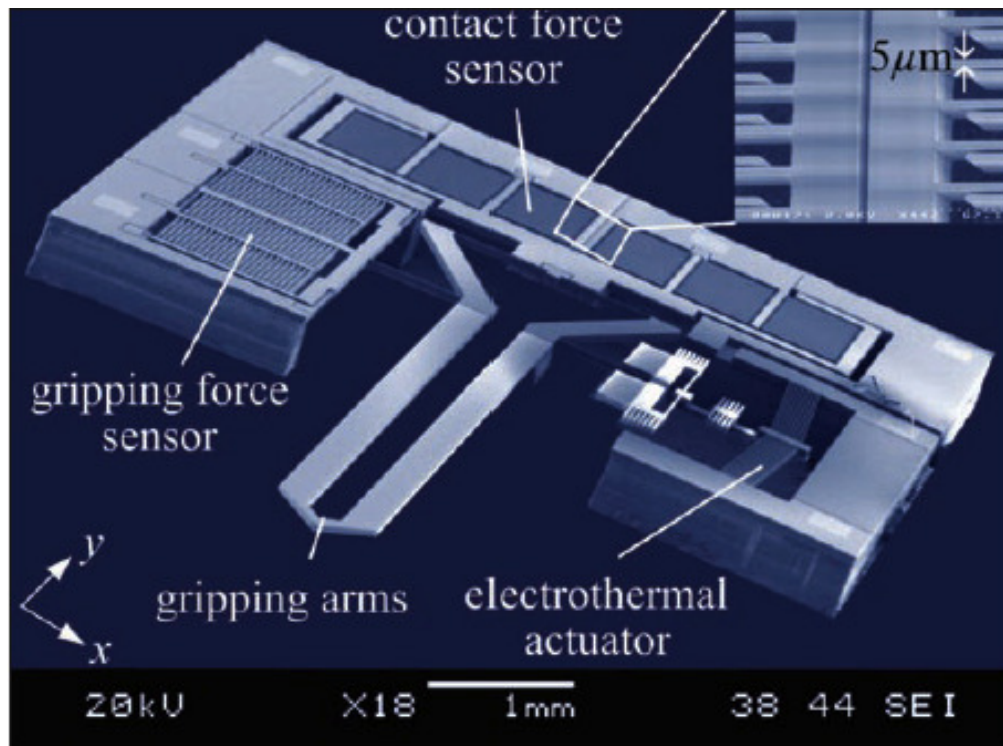
Geração de electricidade com termopares de semicondutor (efeito Seebeck): possibilidade de converter calor directamente em energia eléctrica com semicondutores na escala da nanotecnologia (o mesmo para o arrefecimento (efeito Peltier))





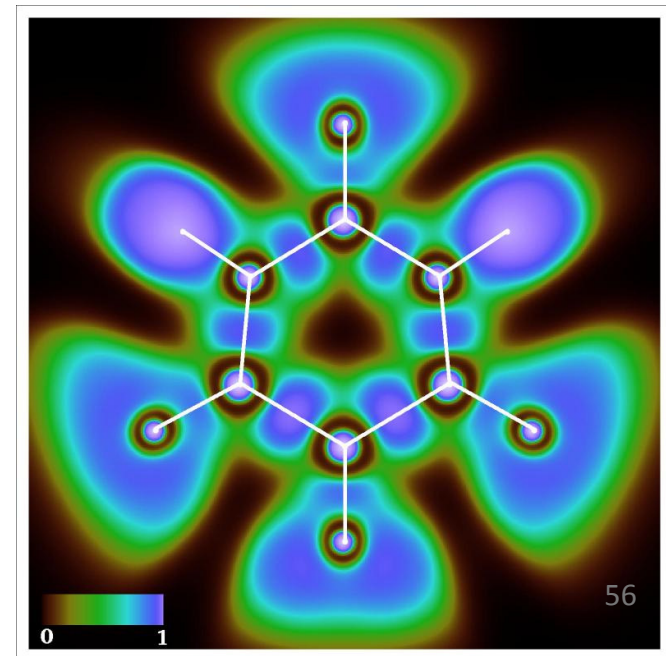
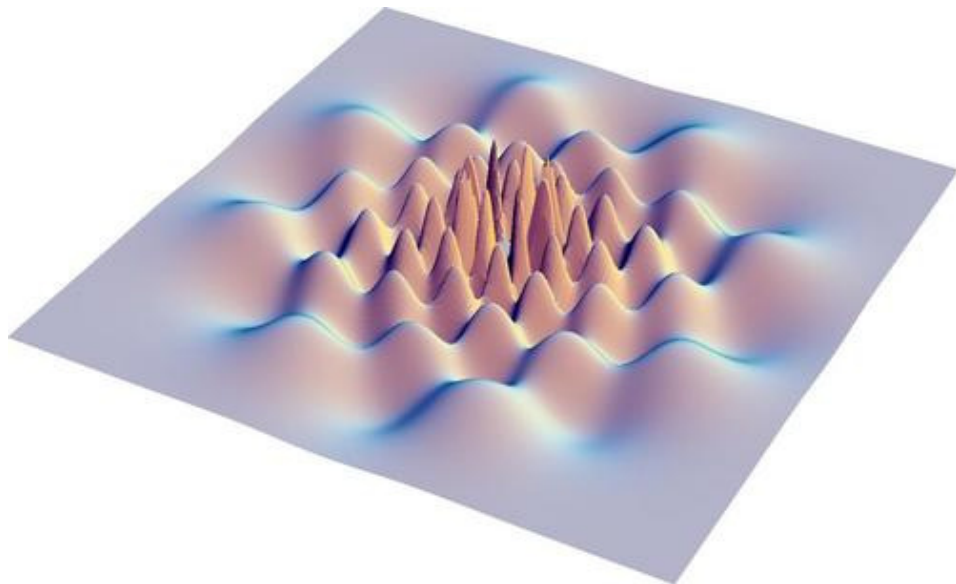
Um **montador molecular** ou nanomontador é uma máquina nanotecnológica de tamanho bastante reduzido capaz de organizar átomos e moléculas de acordo com instruções dadas

Para fazer esta tarefa é necessário energia, matéria-prima (building blocks) bem como a programação



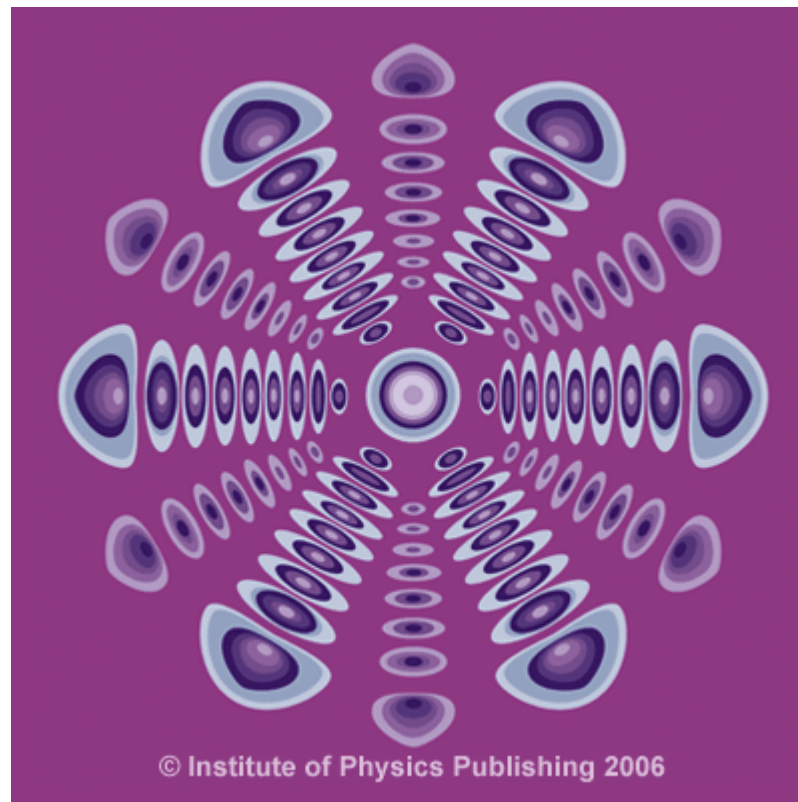
Na mecânica quântica, o estado de um sistema num dado instante é representado por uma função complexa da posição ou da quantidade de movimento (momento) de cada partícula que compõe o sistema: a **função de onda**

A **função de onda** representa o estado de um dado sistema físico de forma *completa* e as **leis da mecânica quântica** descrevem como as funções de onda evoluem no **tempo**



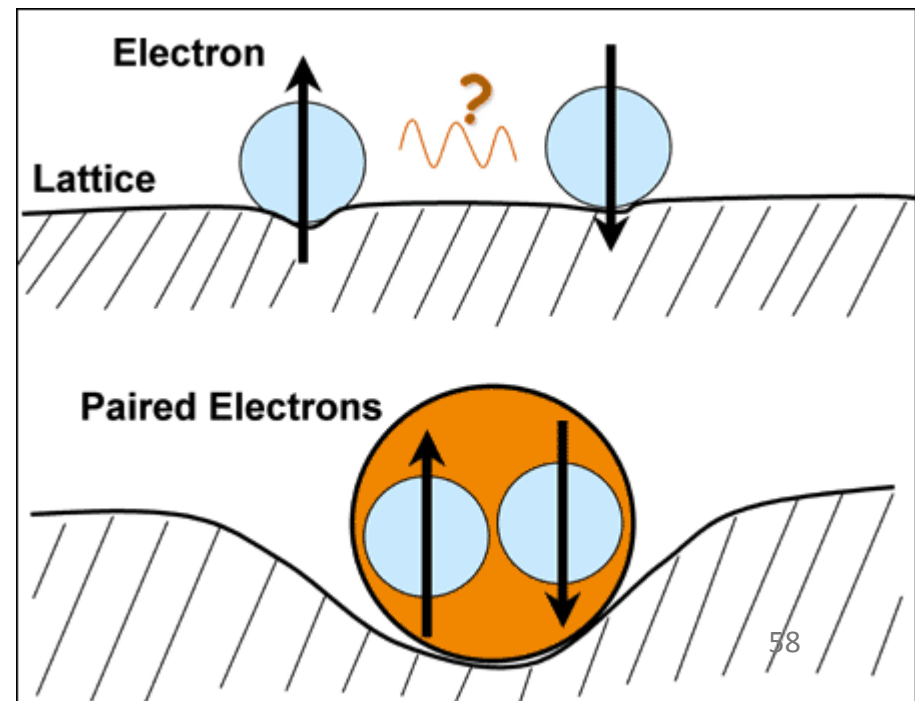
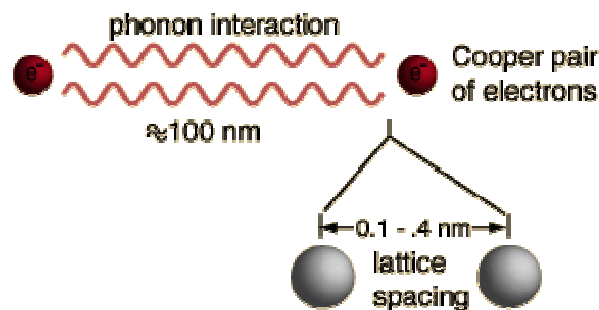
Medida de grandezas físicas

Para qualquer variável física o que é mensurável é a **probabilidade** de o sistema ter um certo valor dessa quantidade (proporcional ao **quadrado da amplitude da função de onda**)



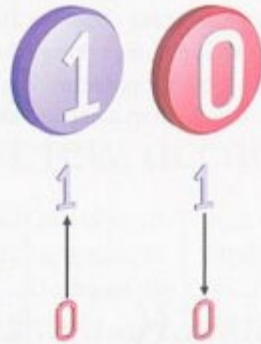
Em 1957, John Bardeen, Leon Cooper e J. Robert Schriffer propuseram uma teoria microscópica que assume os “**pares de Cooper**” como os portadores de carga do estado supercondutor

São formados por dois electrões com **spins** opostos, atraídos por fonões (vibrações) da rede

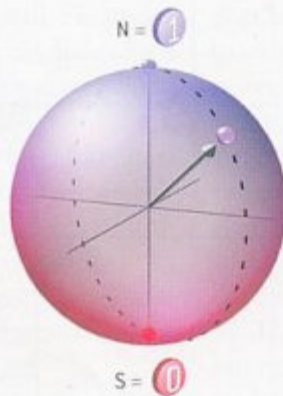


QUBITS EXPLAINED

A BIT can have one of two states: 0 or 1. A bit can be represented by a transistor switch set to "off" or "on" or abstractly by an arrow pointing up or down.



A QUBIT, the quantum version of a bit, has many more possible states. The states can be represented by an arrow pointing to a location on a sphere. The north pole is equivalent to 1, the south pole to 0. The other locations are quantum superpositions of 0 and 1.



N 23° 34' 41.4422..."
E 32° 48' 10.3476..."



MEASUREMENT



A QUBIT MIGHT SEEM TO CONTAIN an infinite amount of information because its coordinates can encode an infinite sequence of digits. But the information in a qubit must be extracted by a measurement. When the qubit is measured, quantum mechanics requires that the result is always an ordinary bit—a 0 or a 1. The probability of each outcome depends on the qubit's "latitude."

Classical register

101



Quantum register

000 001 010 011
100 101 110 111