

Da **Mecânica Quântica** à **Computação Quântica**

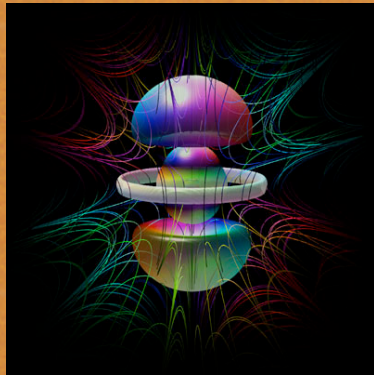
Orlando Oliveira
(orlando@fis.uc.pt)
Dep Física, Universidade Coimbra



AVISO - AMBICIOSO

1º ANO / 2º SEMESTRE

Fundamentos Física Moderna



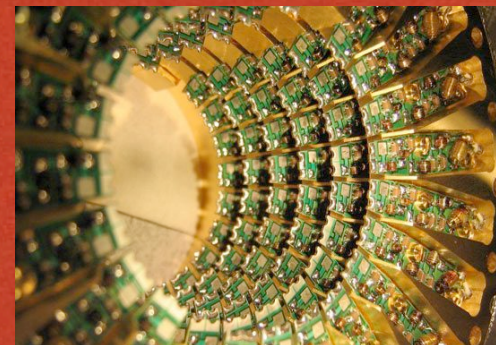
2º ANO / 2º SEMESTRE

Mecânica Quântica I

3º ANO

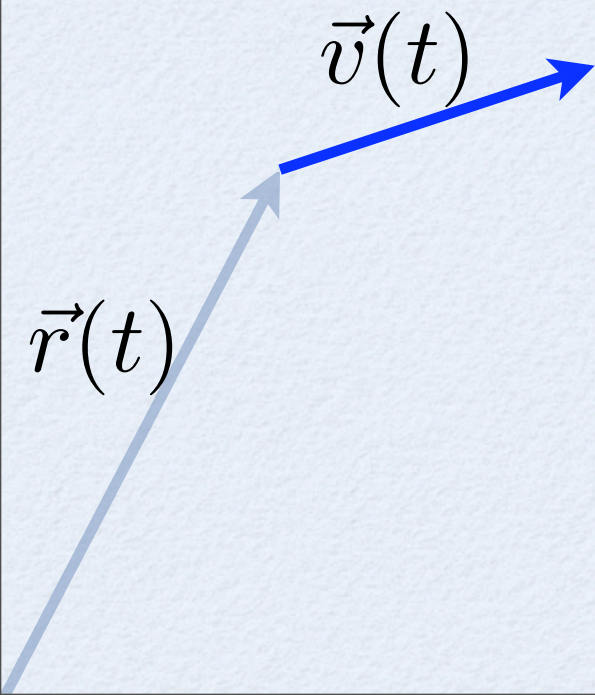
1º ANO MESTRADO / 1º SEMESTRE

Óptica Quântica

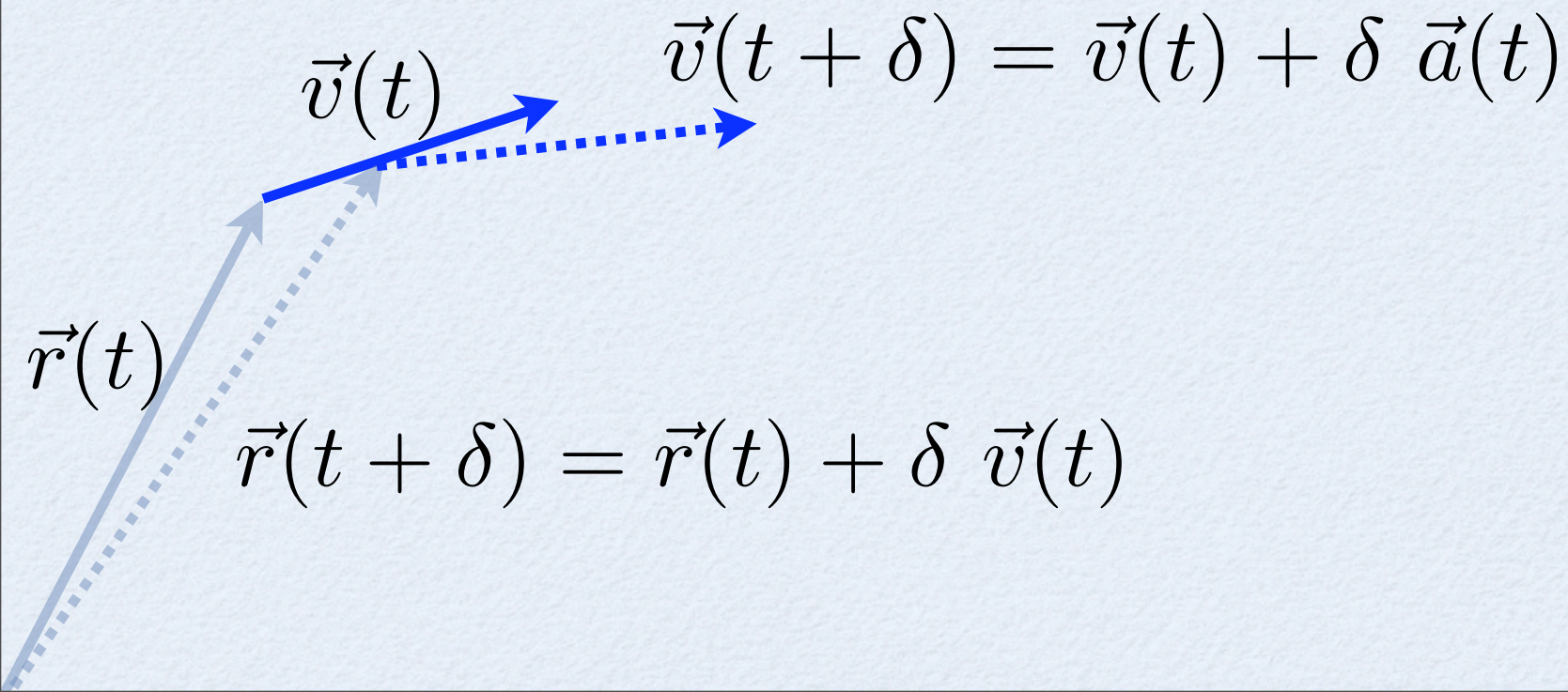


?

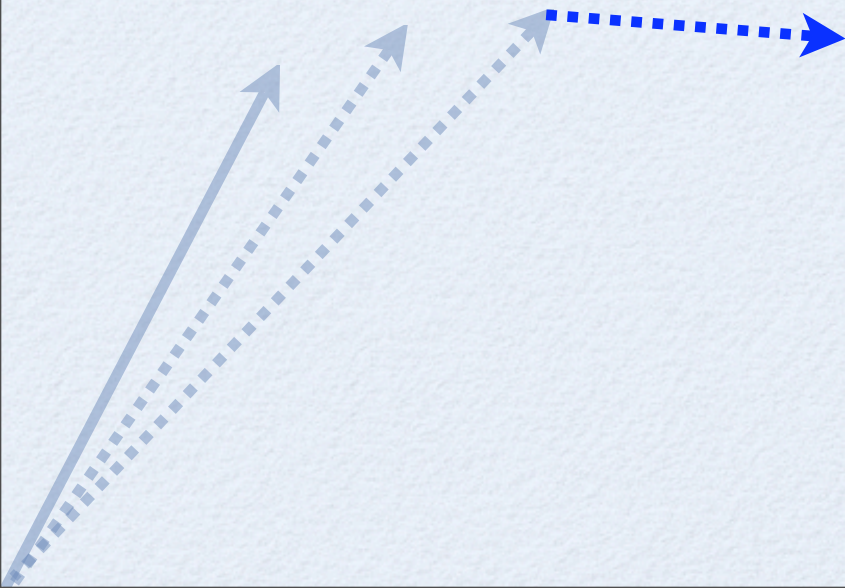
MECÂNICA CLÁSSICA



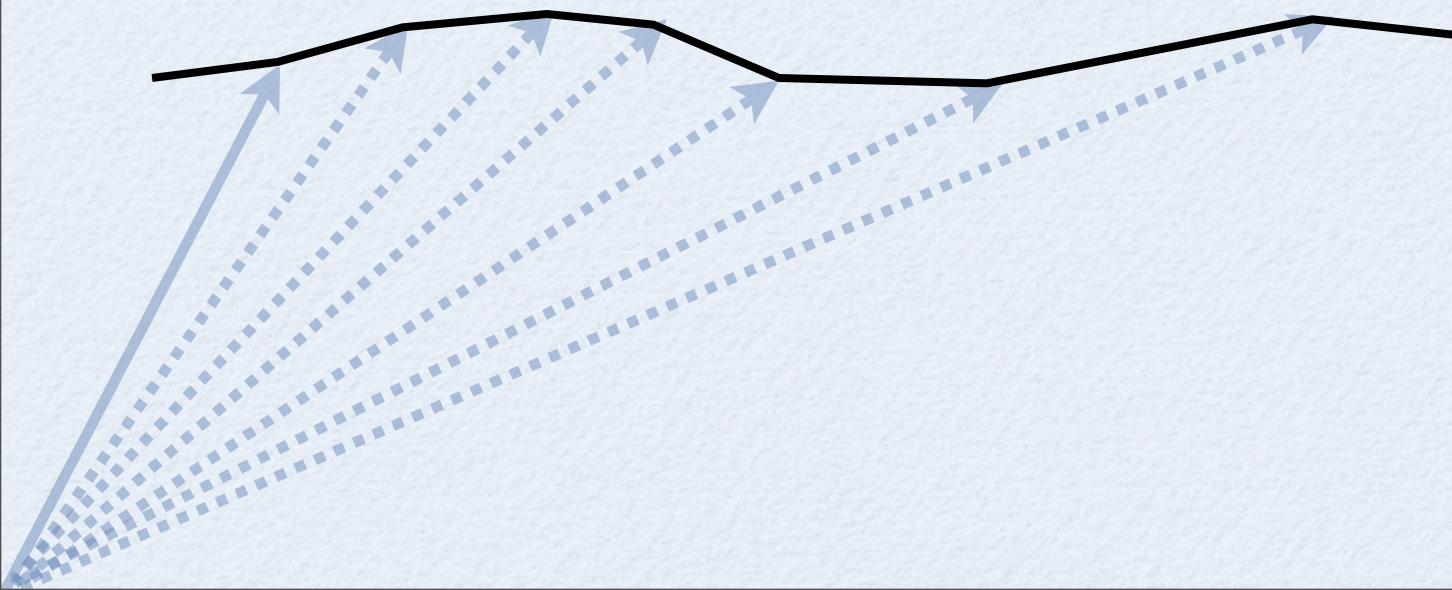
MECÂNICA CLÁSSICA



MECÂNICA CLÁSSICA



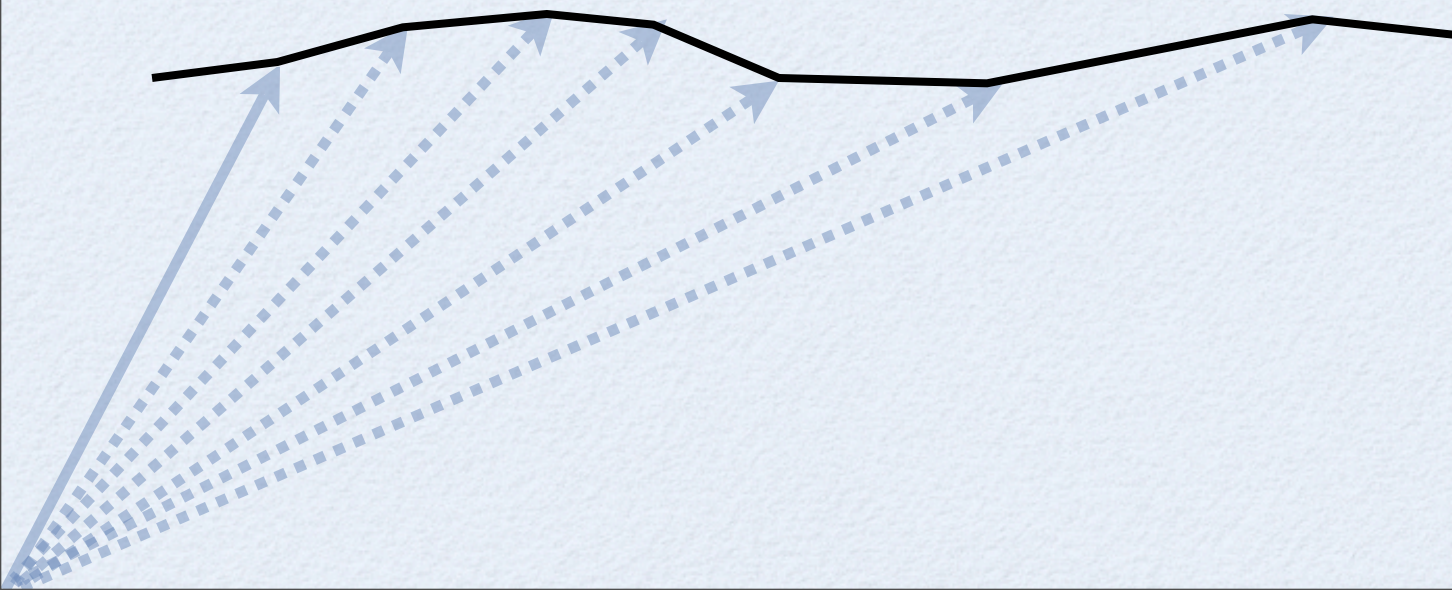
MECÂNICA CLÁSSICA



MECÂNICA CLÁSSICA

$$\vec{r}(t + \delta) = \vec{r}(t) + \delta \vec{v}(t)$$

$$\vec{v}(t + \delta) = \vec{v}(t) + \delta \vec{a}(t)$$



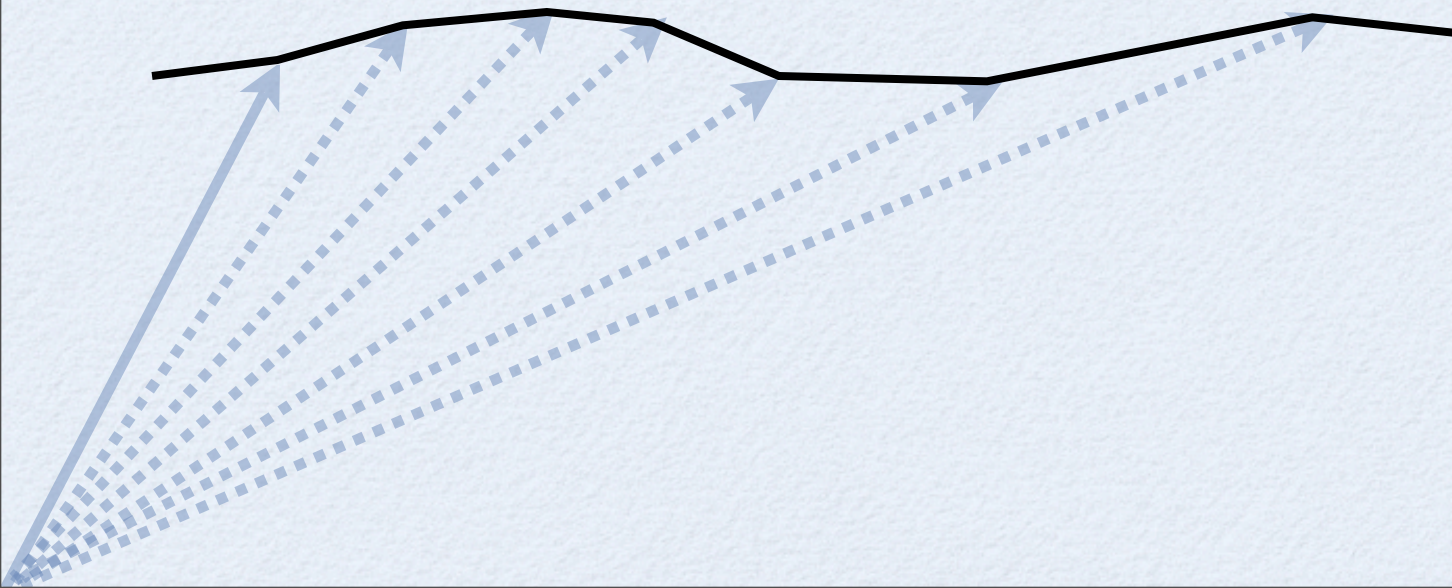
MECÂNICA CLÁSSICA

$$\vec{r}(t + \delta) = \vec{r}(t) + \delta \vec{v}(t)$$

$$\vec{v}(t + \delta) = \vec{v}(t) + \delta \vec{a}(t)$$

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

2ª Lei de Newton

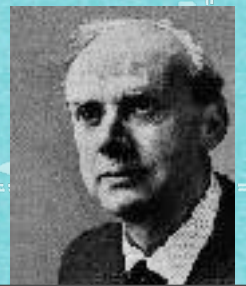
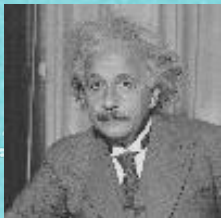


MECÂNICA CLÁSSICA

- Viagem à Lua
- Sondas a vários planetas
- etc, etc, etc

Mecânica Quântica

Nã o D t e r m i n i s m o
e i



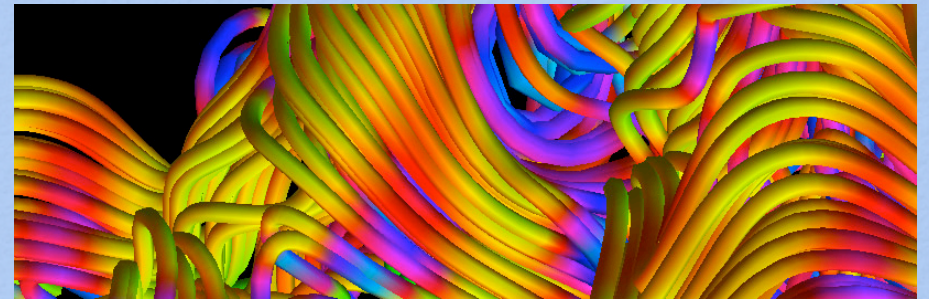
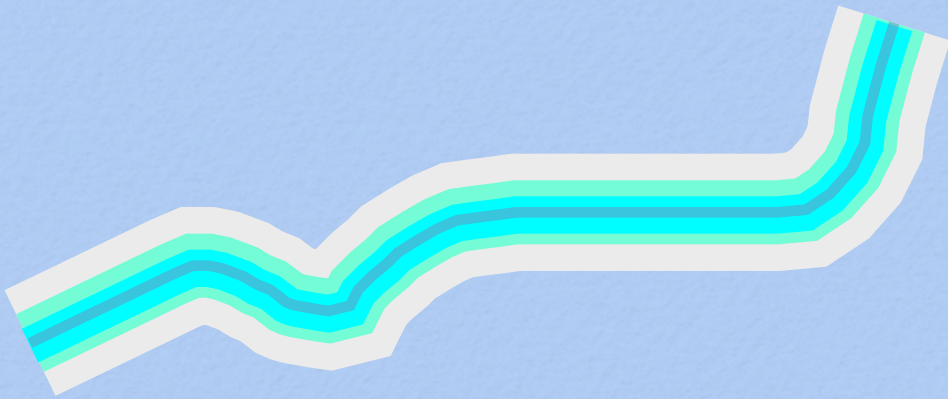
Evaluation Copy

PRINCÍPIO INCERTEZA HEISENBERG

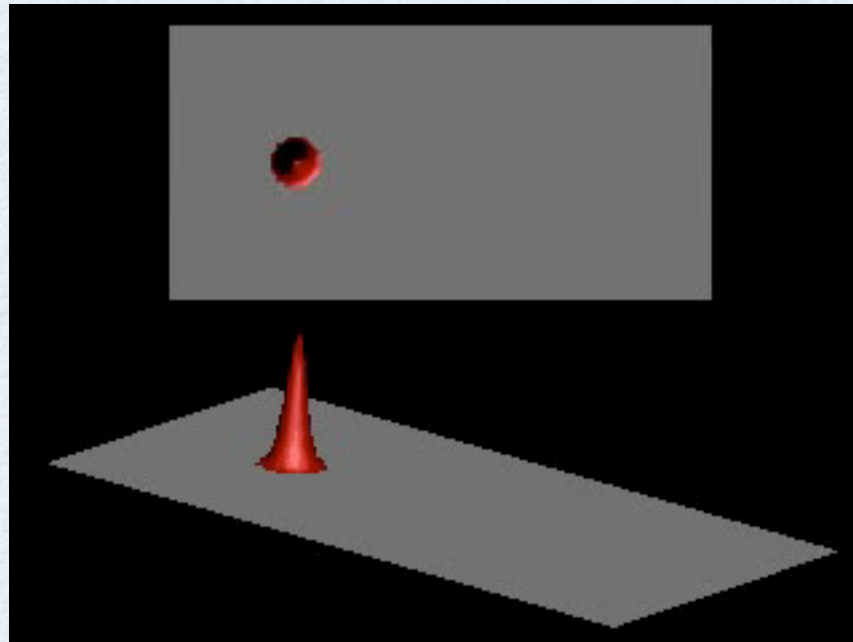
$$p = mv$$

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

Trajectória Clássica



PRINCÍPIO INCERTEZA HEISENBERG



EXPERIÊNCIA DE YOUNG

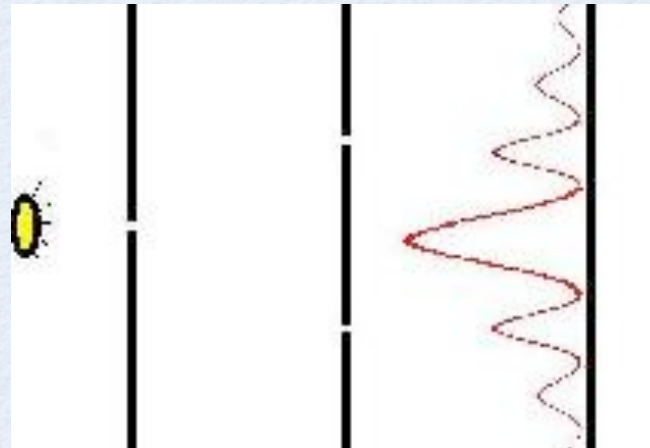
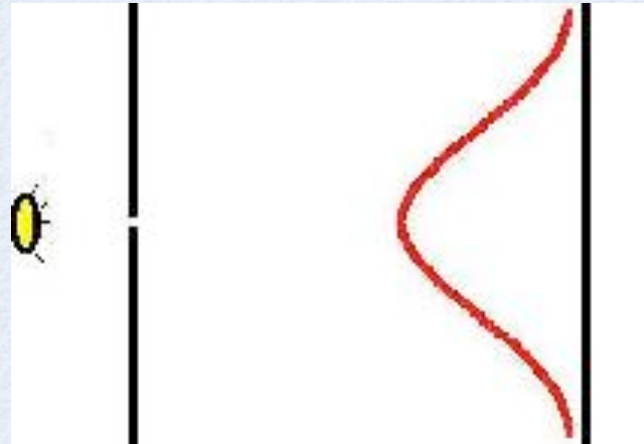
$$|d_1 - d_2| = n\lambda$$

$$|d_1 - d_2| = (n + 1/2)\lambda$$

Alvo

d_1 d_2

Fonte



EXPERIÊNCIA DE YOUNG

$$|d_1 - d_2| = n\lambda$$

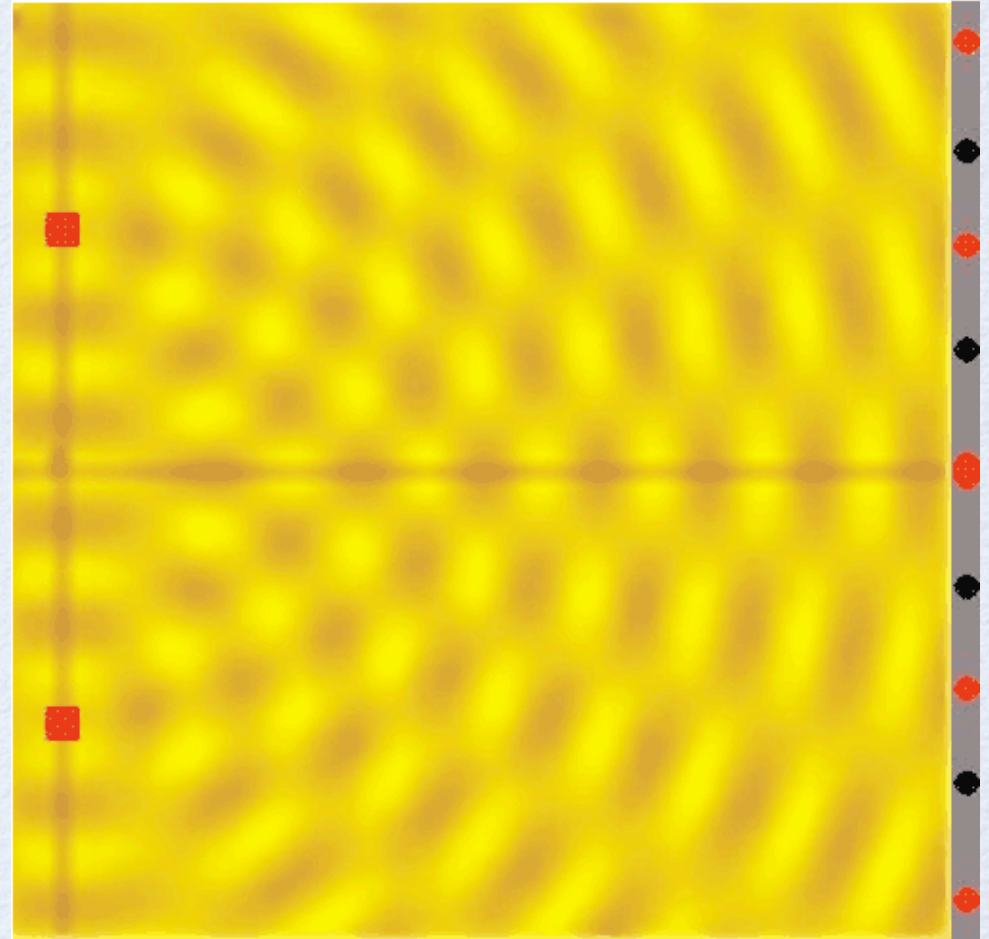
$$|d_1 - d_2| = (n + 1/2)\lambda$$

Alvo

d_1

d_2

Fonte



EXPERIÊNCIA DE YOUNG

Evaluation Copy

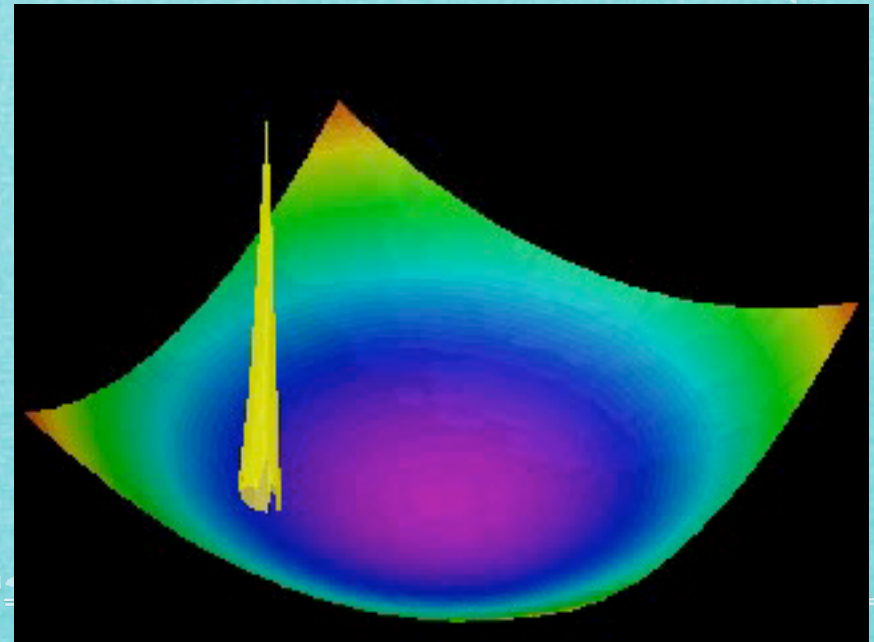
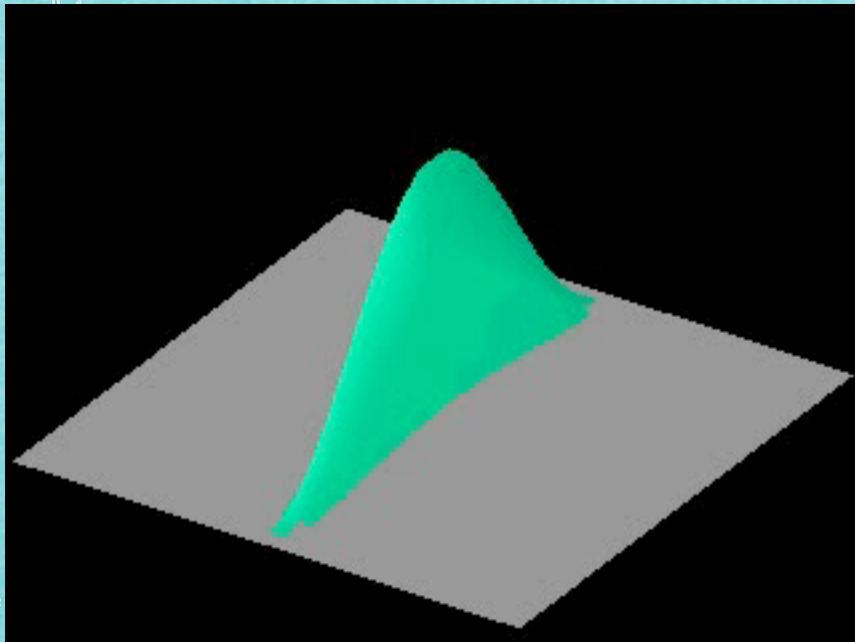
Mecânica Quântica

$$\psi(x, t)$$

Função de Onda

$$|\psi(x, t)|^2$$

Densidade de probabilidade de encontrar um electrão no ponto x , no instante t



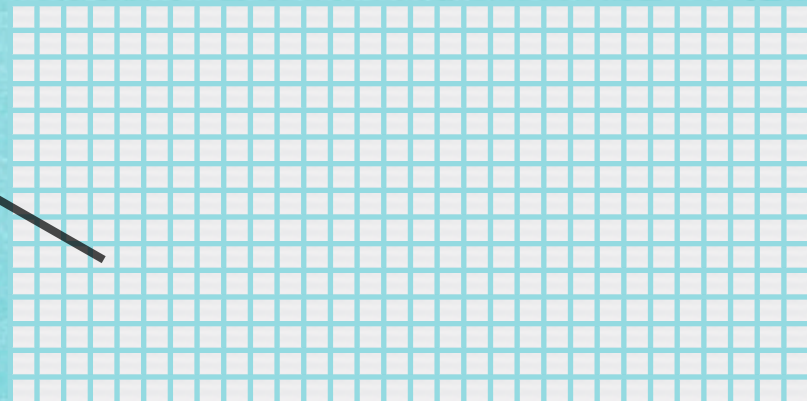
Mecânica Quântica

Equação de Schrodinger

$$|\psi(x, t)|^2 \Delta x$$

Probabilidade de encontrar o electrão entre a posição x e Δx no instante t

$$\sum_x |\psi(x, t)|^2 \Delta x = 1$$



Mecânica Quântica

$$|\psi|^2 = |\psi_1|^2 + |\psi_2|^2 + 2\psi_1 \cdot \psi_2$$

Alvo

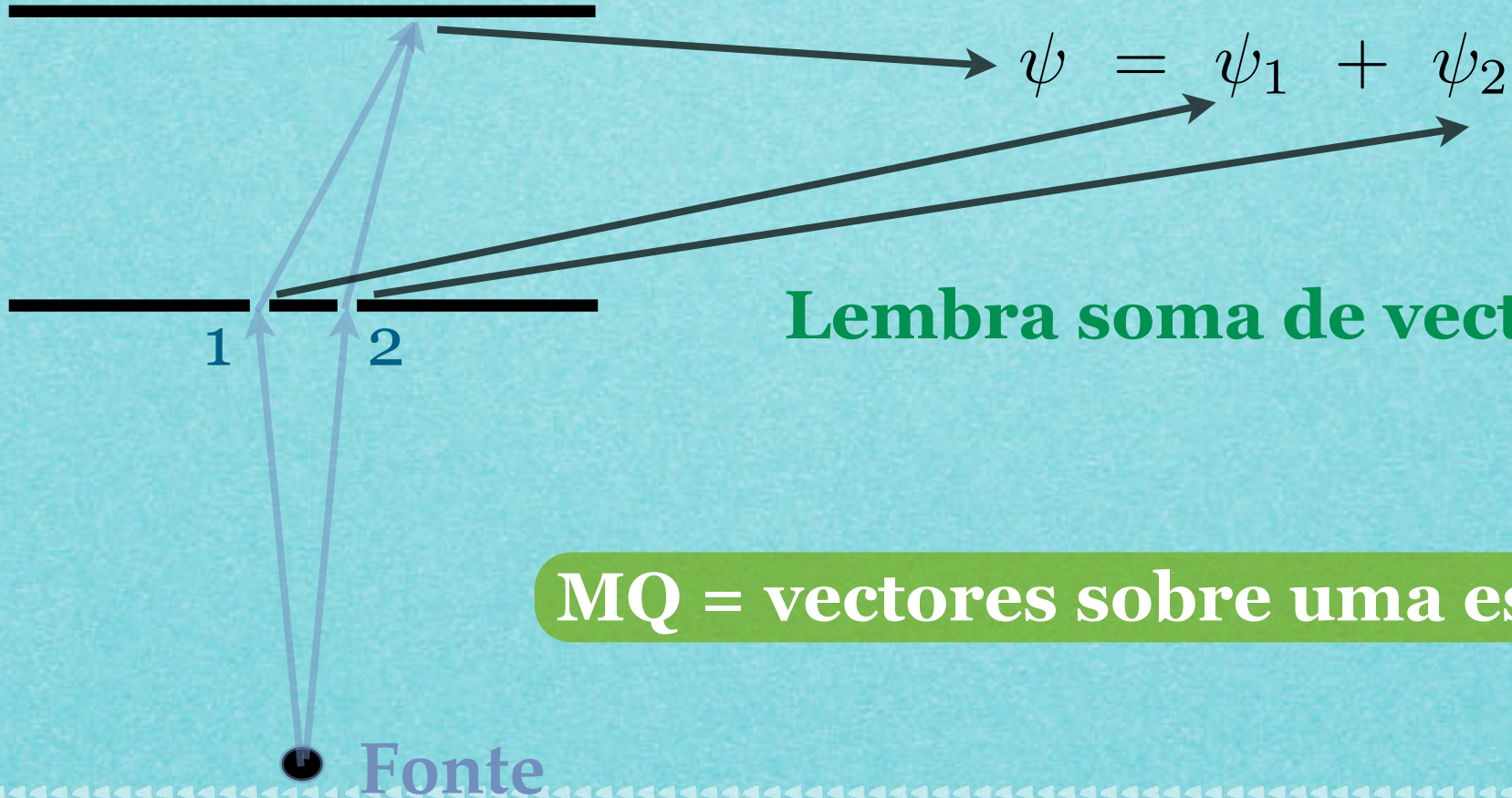
Sobreposição de Ondas

$$\psi = \psi_1 + \psi_2$$

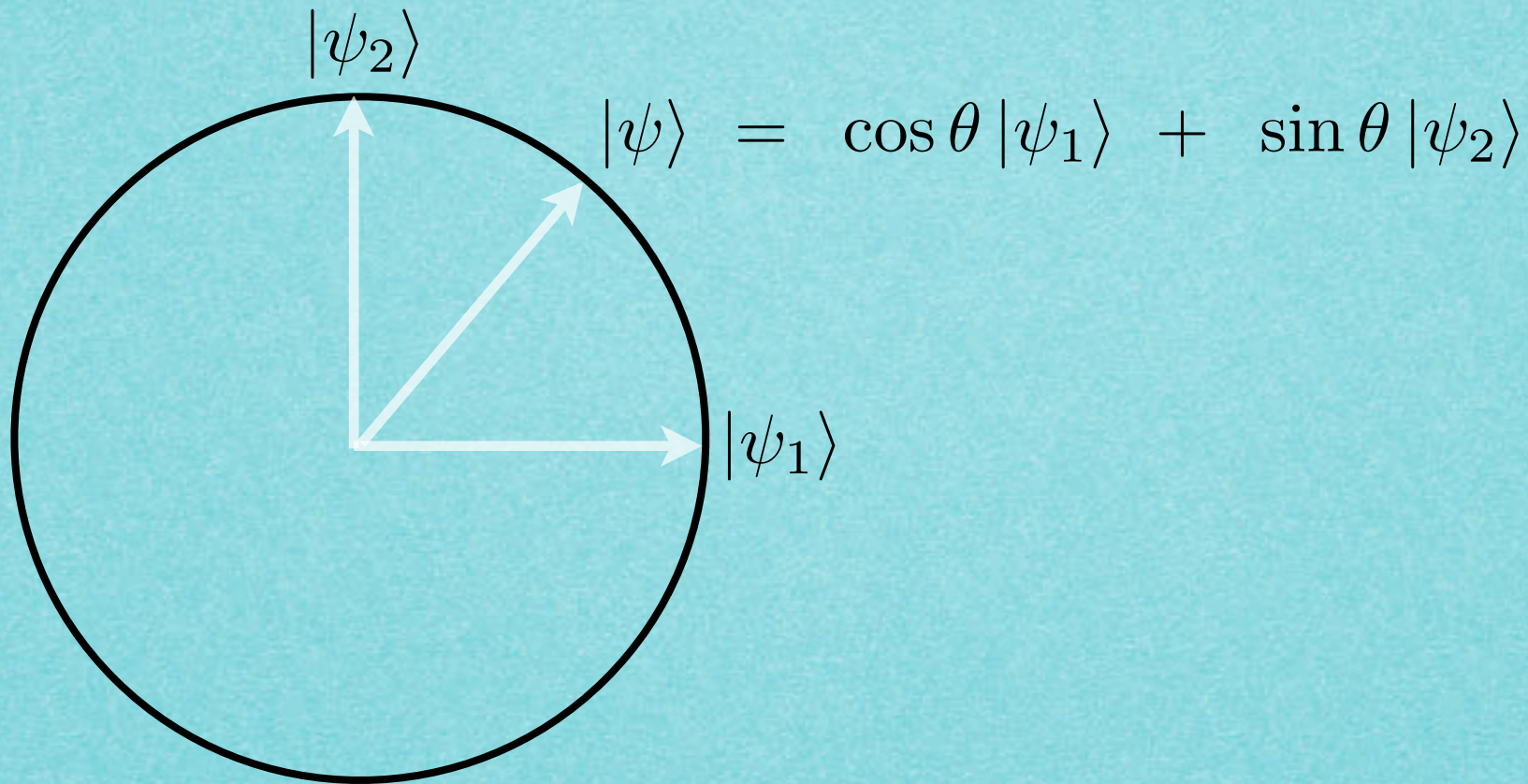
Lembra soma de vetores

MQ = vectores sobre uma esfera

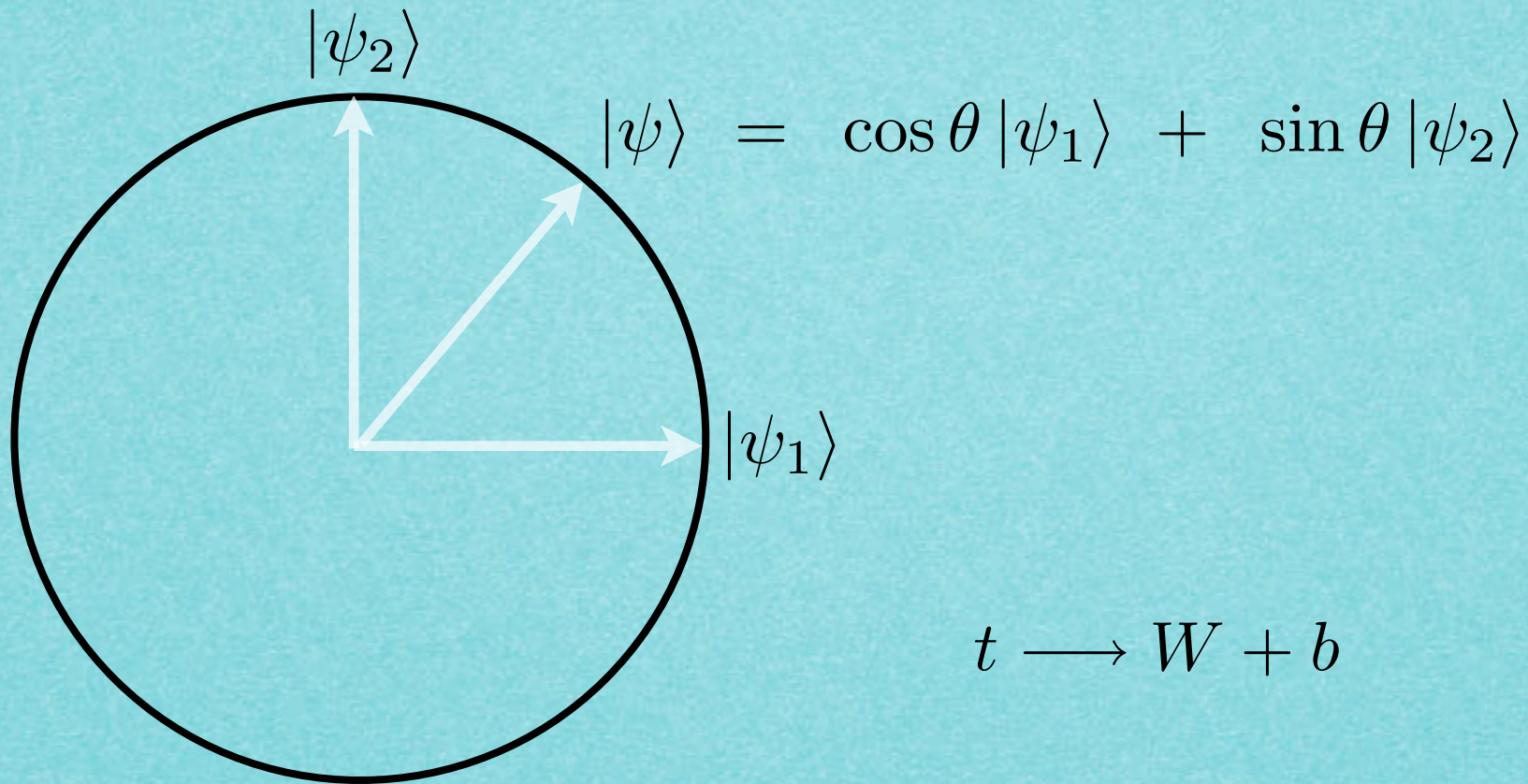
Fonte



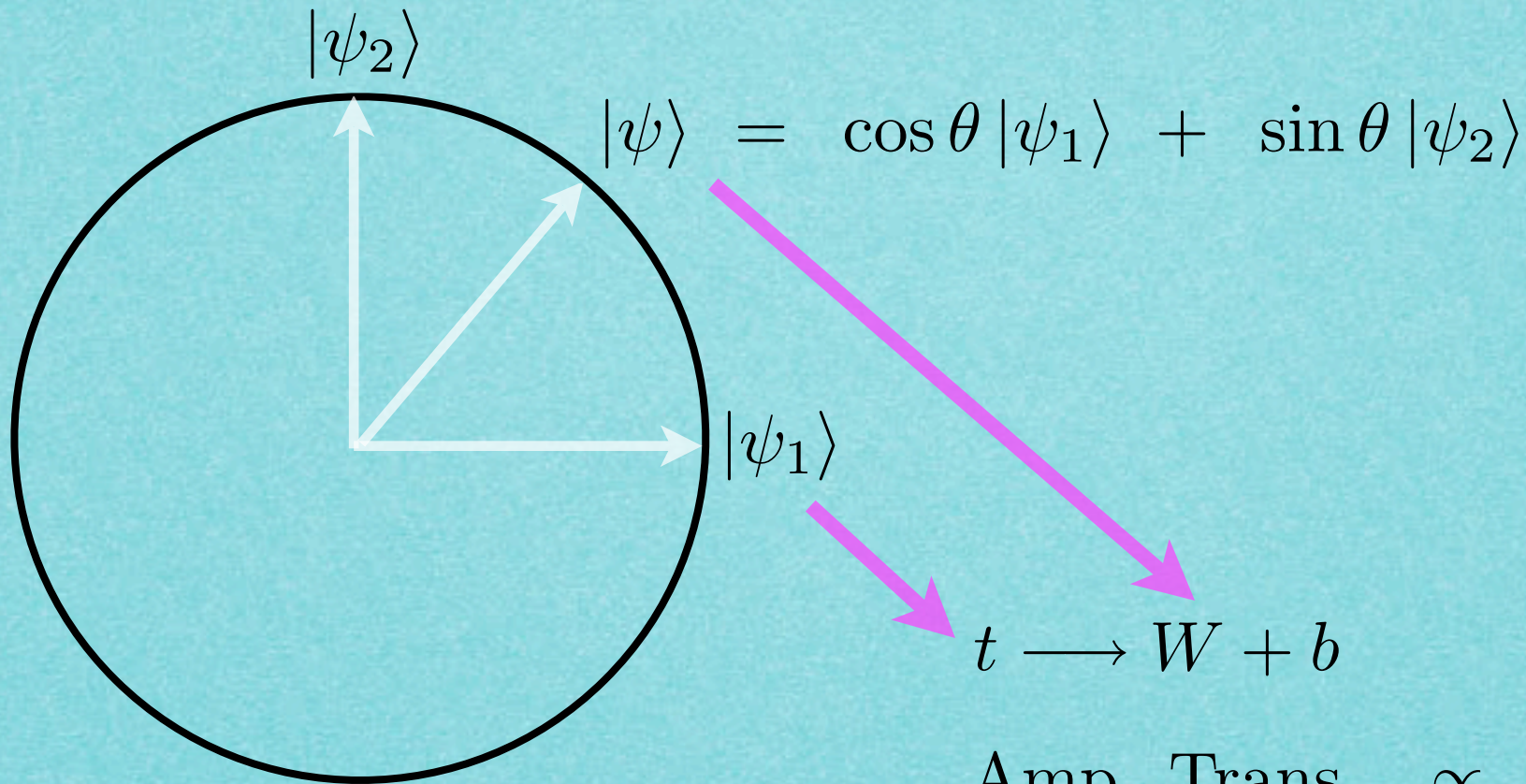
Mecânica Quântica



Mecânica Quântica



Mecânica Quântica



$$t \longrightarrow W + b$$

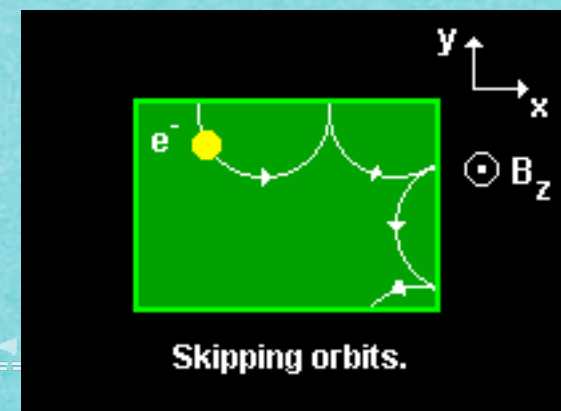
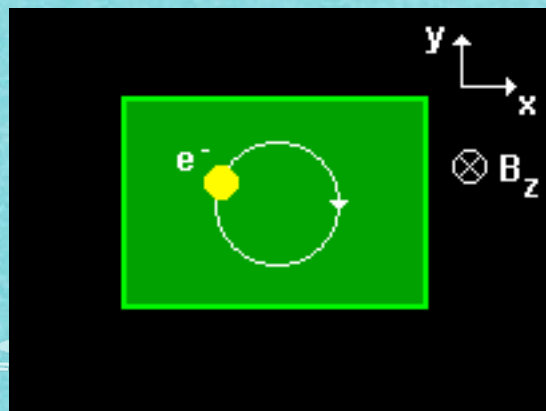
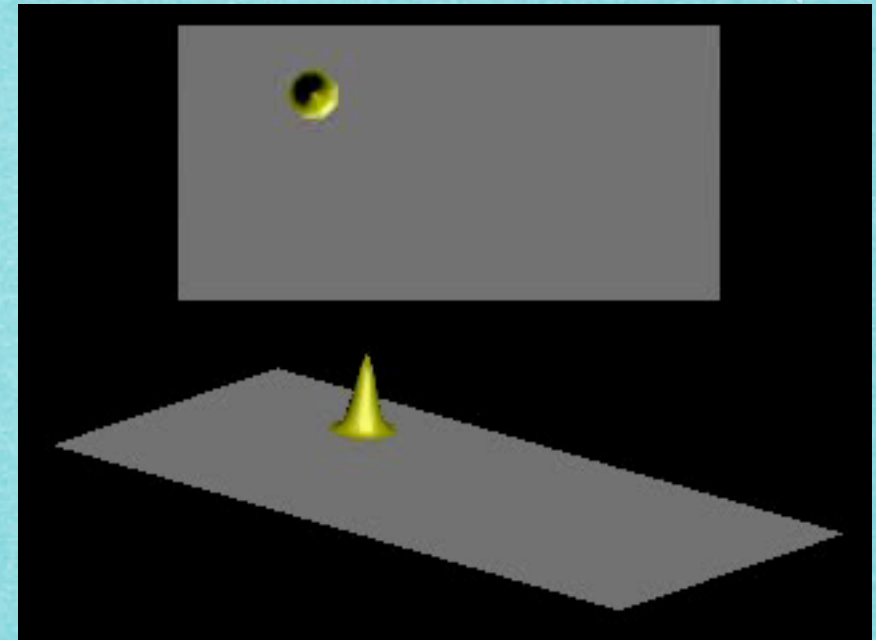
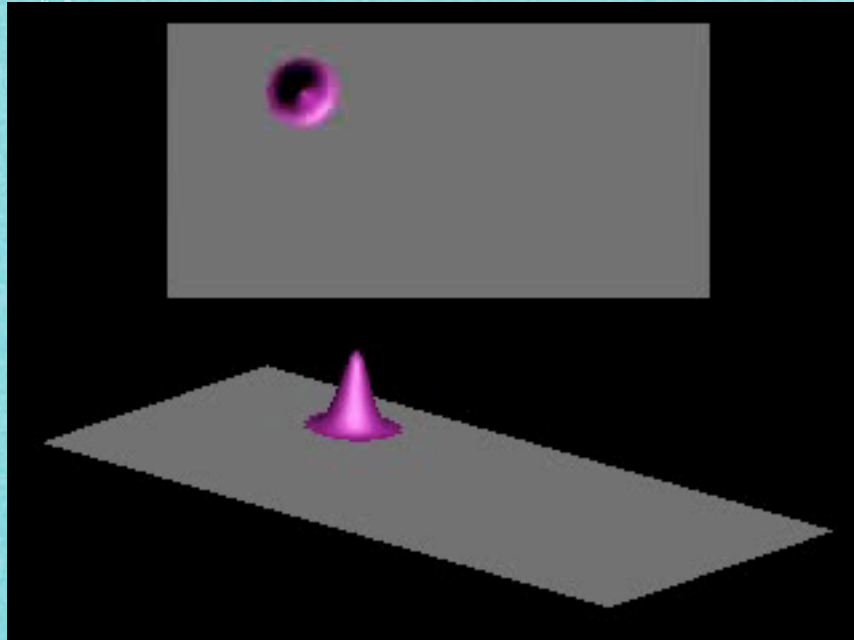
$$\text{Amp. Trans.} \propto \cos \theta$$

$$\text{Prob. Trans.} \propto \cos^2 \theta$$

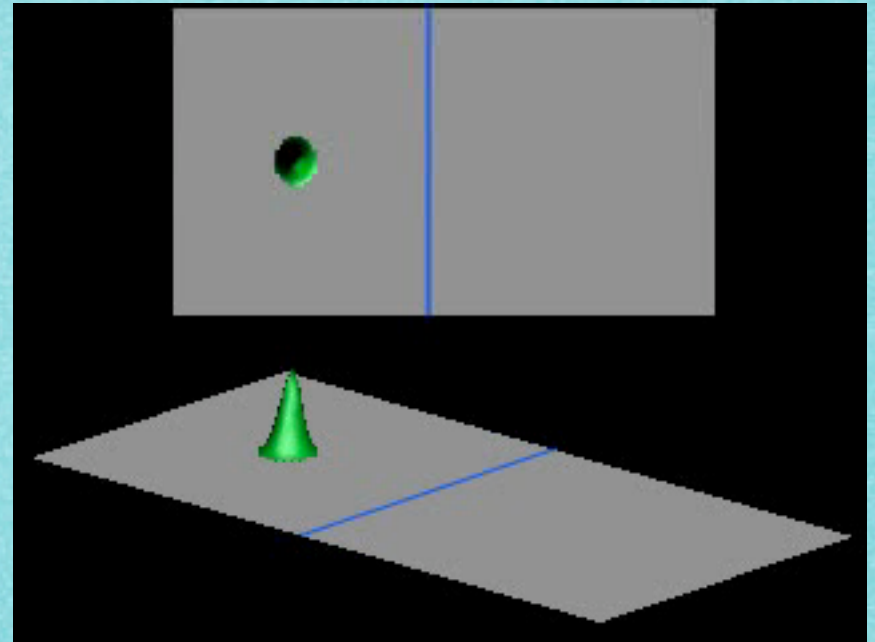
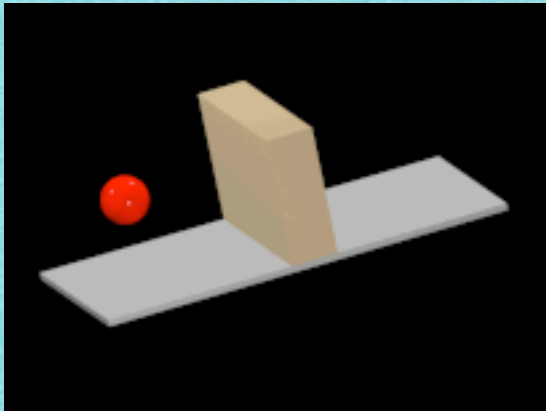
Mecânica Quântica

- ▶ Esqueçam a história da dualidade Onda-Partícula
- ▶ Função de Onda (interpretação probabilística) é tudo o que sabemos sobre o sistema.
- ▶ F.O. = conjunto de vectores sobre esfera (atenção aos seus ângulos)
- ▶ $|\psi|^2$ = densidade de probabilidade
- ▶ Detecção electrão é um fenómeno binário (sim/não)

Mecânica Quântica



Efeito Túnel



- ✓ Decaimento radioactivo
- ✓ junções de semicondutores de tipos diferentes

Mec. Quânt./Transistor

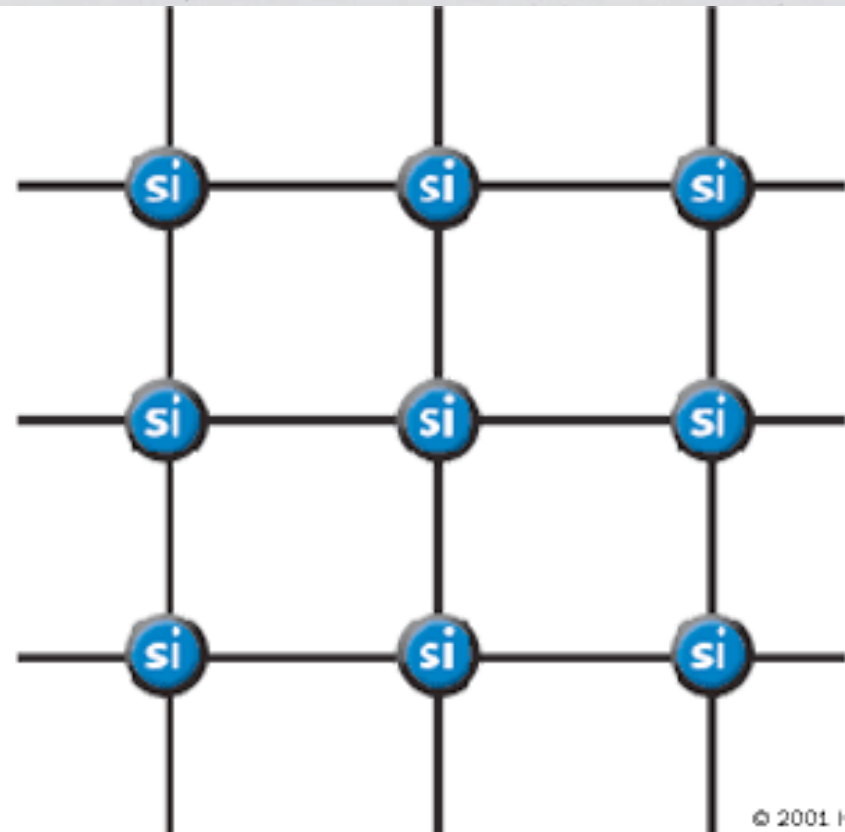


- * **1898** - J.J. Thomson descobre o electrão
- * **1939** - R. Ohl (L. Bell) descobre a junção p-n usando silício
- * **1947** - J. Bardeen, W. Brattain (L. Bell) efeito transistor (silício, germânio) (Prémio Nobel Física 1956)
- * **1958** - J. Kilby (Texas Instrument), R. Noyce (Fairchild Semiconductor) inventam o circuito integrado

Transistor

5 B Boron 2.34	6 C Carbon 2.62	7 N Nitrogen 1.251
13 Al Aluminum 2.70	14 Si Silicon 2.33	15 P Phosphorus 1.82
31 Ga Gallium 5.91	32 Ge Germanium 5.32	33 As Arsenic 5.72

©2001 HowStuffWorks



© 2001 HowStuffWorks

4 electrões de valência

Material Isolador

Transistor

5 B Boron 2.34	6 C Carbon 2.62	7 N Nitrogen 1.251
13 Al Aluminum 2.70	14 Si Silicon 2.33	15 P Phosphorus 1.82
31 Ga Gallium 5.91	32 Ge Germanium 5.32	33 As Arsenic 5.72

©2001 HowStuffWorks

3 electrões de valência

1 electrão “a menos”

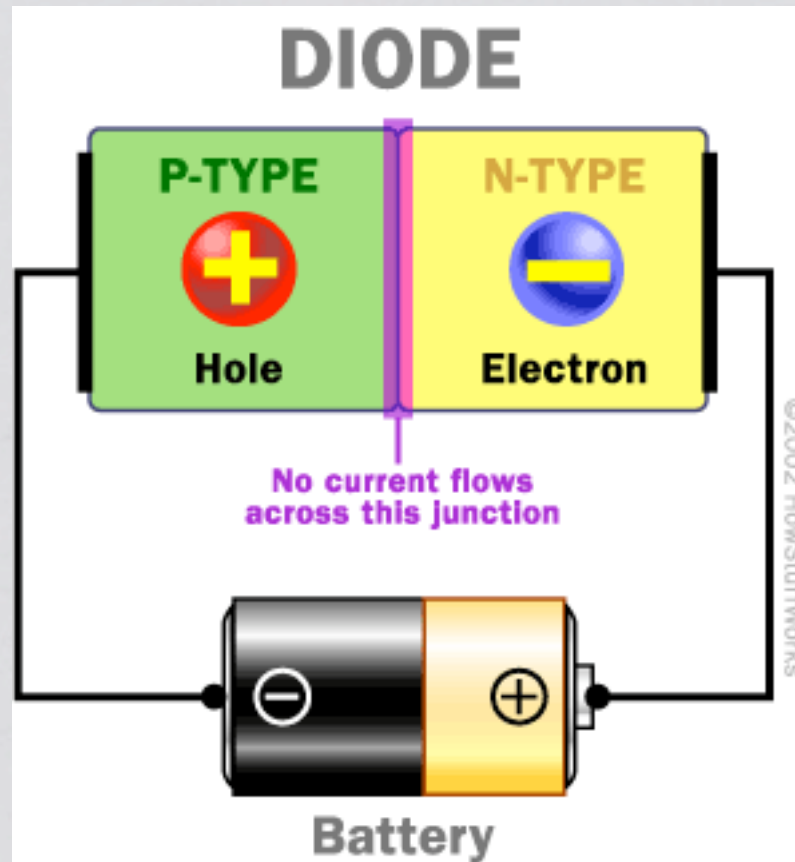
tipo - P

5 electrões de valência

1 electrão “livre”

tipo - N

Diode



Computadores

Montes de transistores + circuitos integrados

Circuitos Lógicos = manipulação da informação

bit (binary digit)

Inform dígito binário: a) a menor unidade na notação numérica binária que pode ter o valor 0 ou 1; b) a menor unidade de dado que um sistema pode tratar

in communication and information theory, a unit of information equivalent to the result of a choice between only two possible alternatives, as between 1 and 0 in the binary number system generally used in digital computers. The term is shortened from the words "binary digit." It is also applied to a unit of computer memory corresponding to the ability to store the result of a choice between two alternatives.

Numeração binária

$$2573 = 2 \times 10^3 + 5 \times 10^2 + 7 \times 10^1 + 3 \times 10^0$$

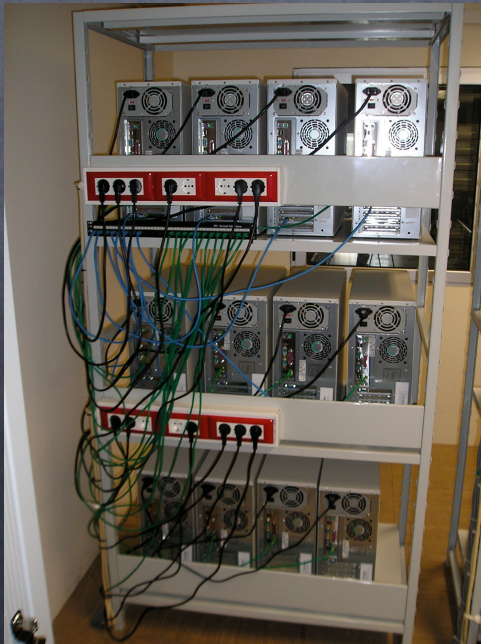
$$1101 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0$$

$$1101_2 = 13_{10}$$

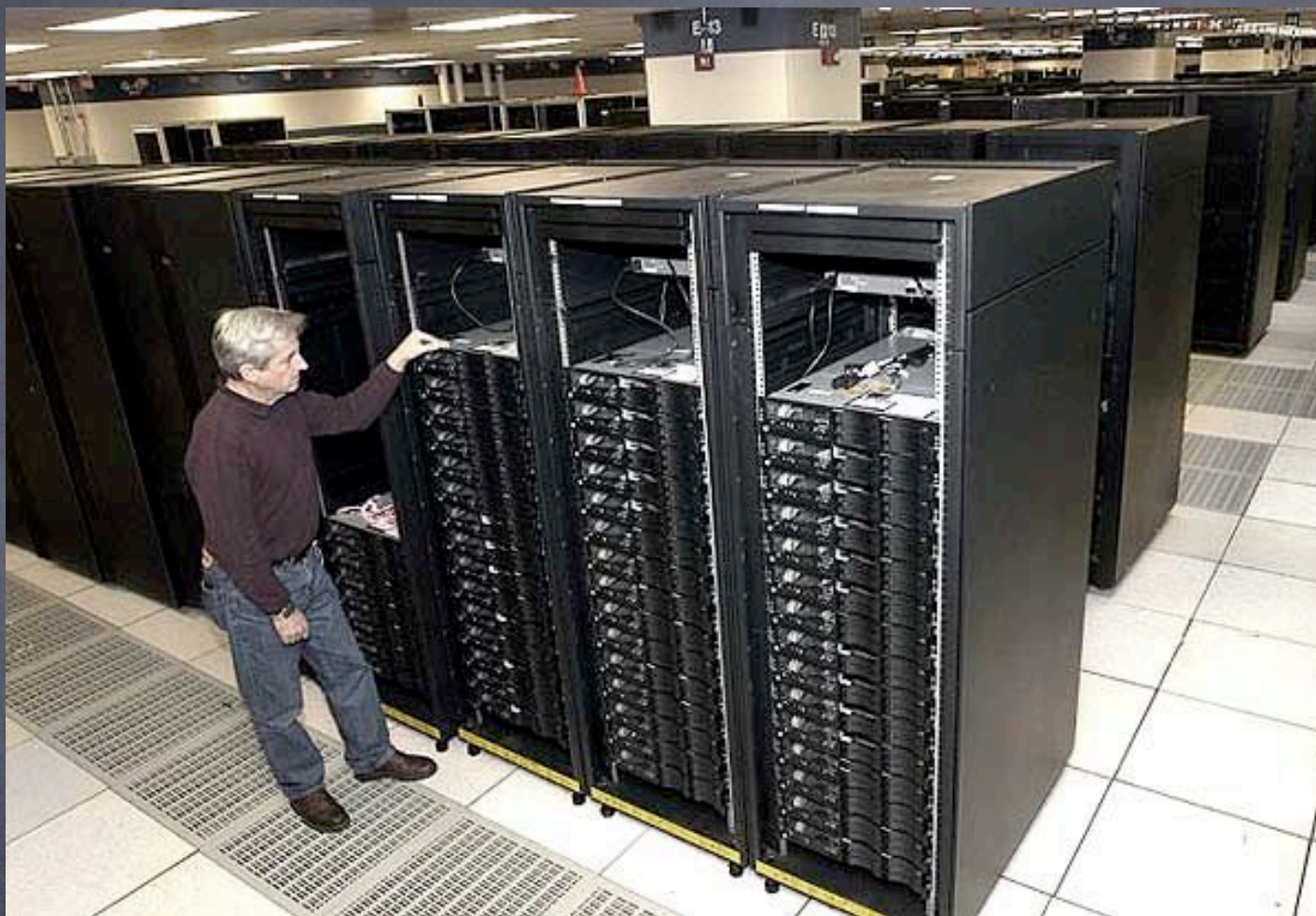
Operações básicas implementadas com base em circuitos lógicos (álgebra booleana)

Computação hoje

HPC: Milipeia



GRID: Centopeia



BladeCenter QS22/LS21 Cluster, PowerXCell 8i 3.2 Ghz / Opteron DC 1.8 GHz , Voltaire Infiniband

129600 Processadores

A Física e os computadores

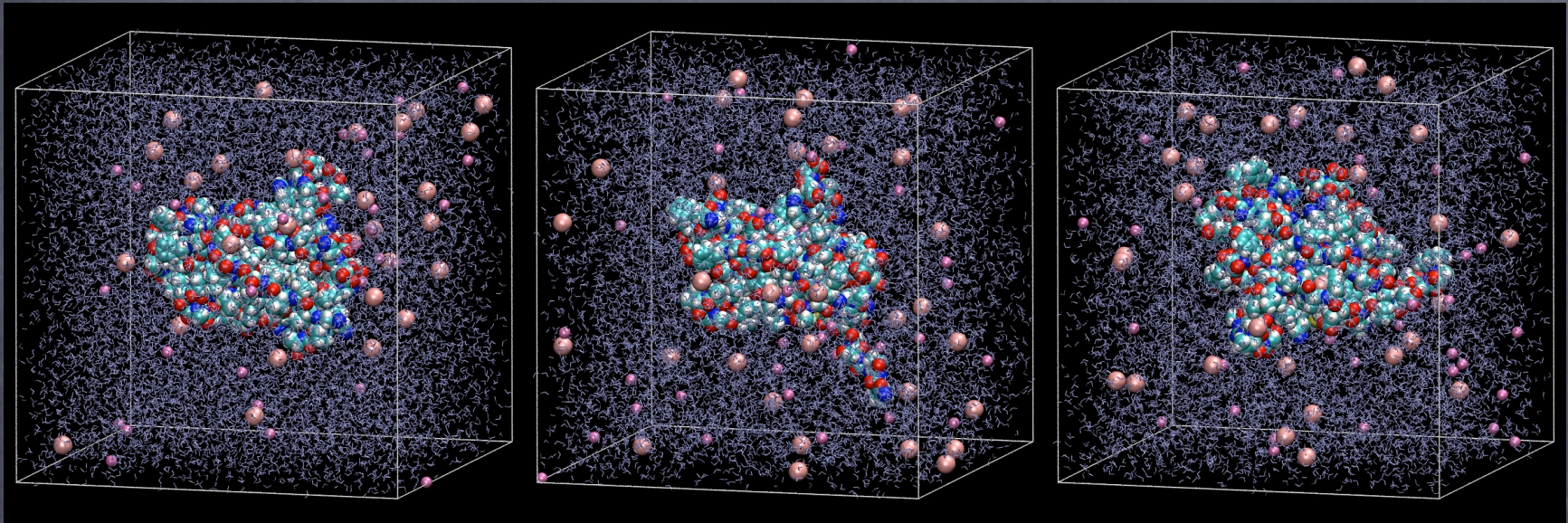


Do muito grande
(astrofísica)...

ao muito pequeno
(física de partículas)



A Biologia e os computadores

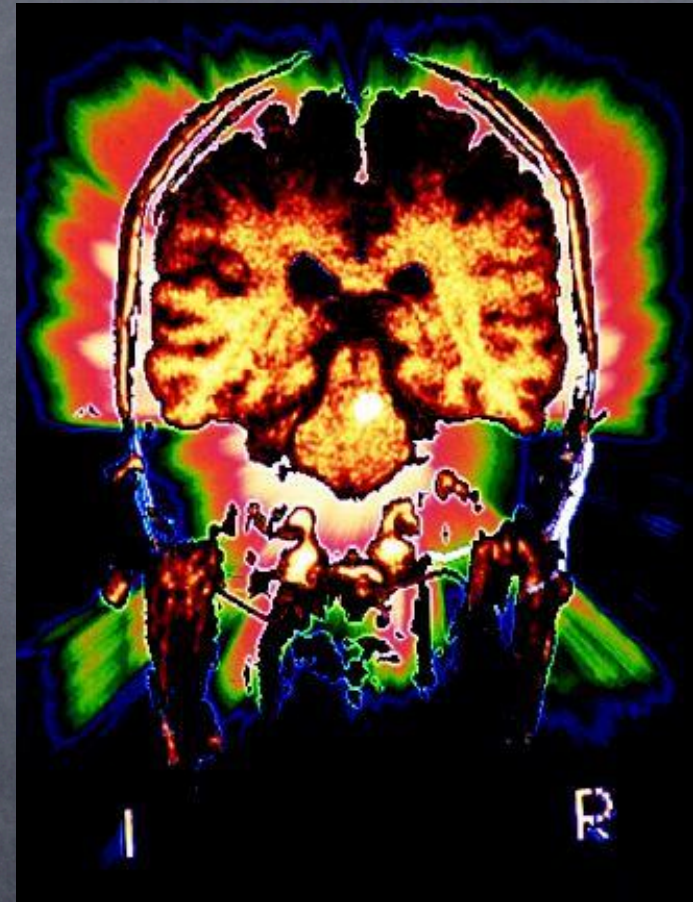


Usados para estudar as interações entre as moléculas biológicas

A Medicina e os computadores



O poder computacional é fundamental para a imagiologia médica





A computação é hoje essencial em todos os domínios da Ciência.

Computação Quântica

Estudo do processamento de informação com recurso a sistemas quânticos

Mecânica Quântica

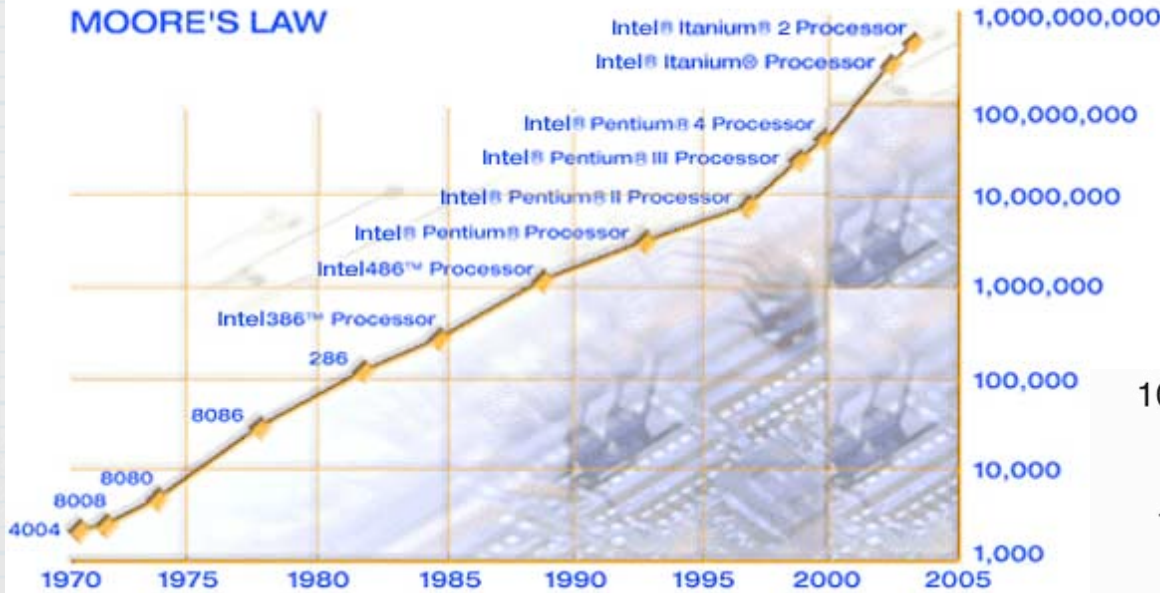
Ciências da Computação

Teoria da Informação

Criptografia

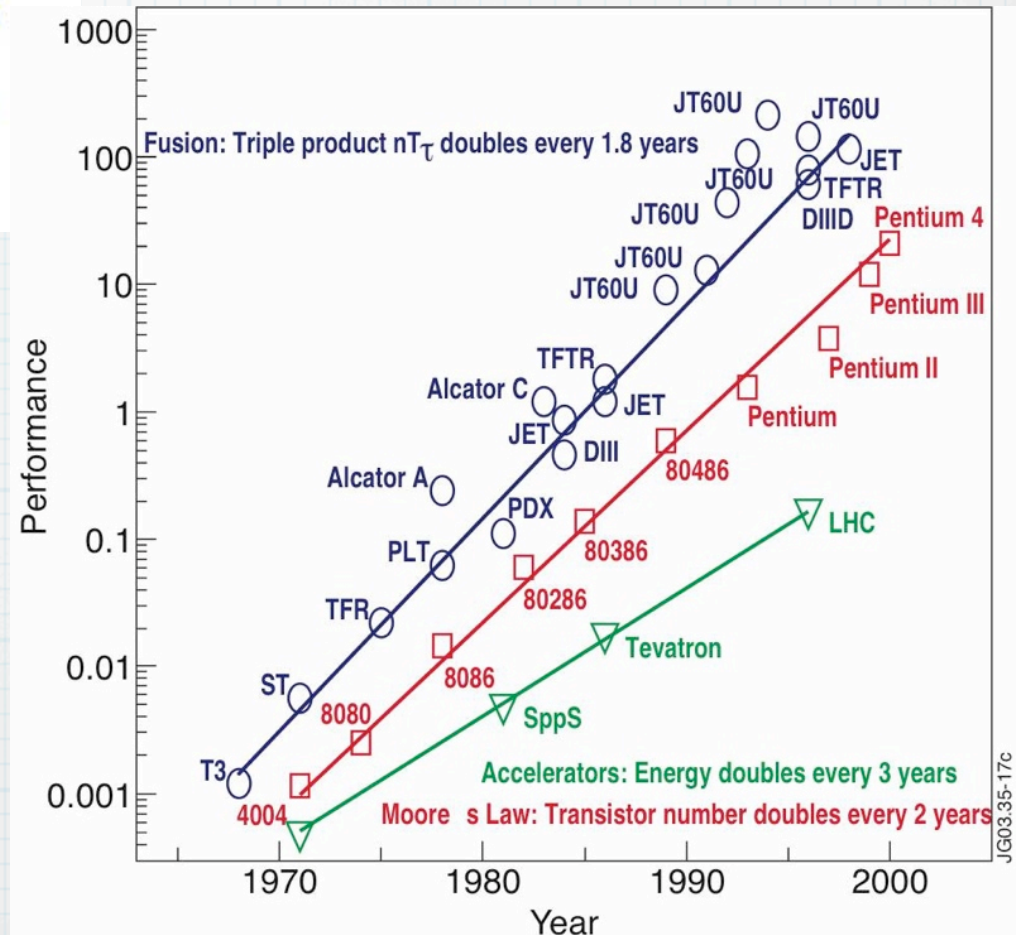
Leis de Moore: poder de cálculo duplica, a custo constante cada 2 anos; preço da produção de chips com maior miniaturização cresce exponencialmente

Computação Quântica



"If the automobile industry advanced as rapidly as the semiconductor industry, a Rolls Royce would get a million miles per gallon, and it would be cheaper to throw it away than to park it".

Gordon Moore



Computação Quântica

- * maior capacidade de cálculo
- * maior capacidade de armazenamento de informação
- * 1970-1980: R. Feynman (CalTech), P. Benioff (ANL), D. Deutsch (U. Oxford), C. Bennett (IBM)
- * 1994: Peter Shor (AT&T) inventa algoritmo eficiente para a factorização de números primos num Comp. Quânt.
- * 1998: Chuang (U. Berkeley) primeiro computador quântico com 2-qubits

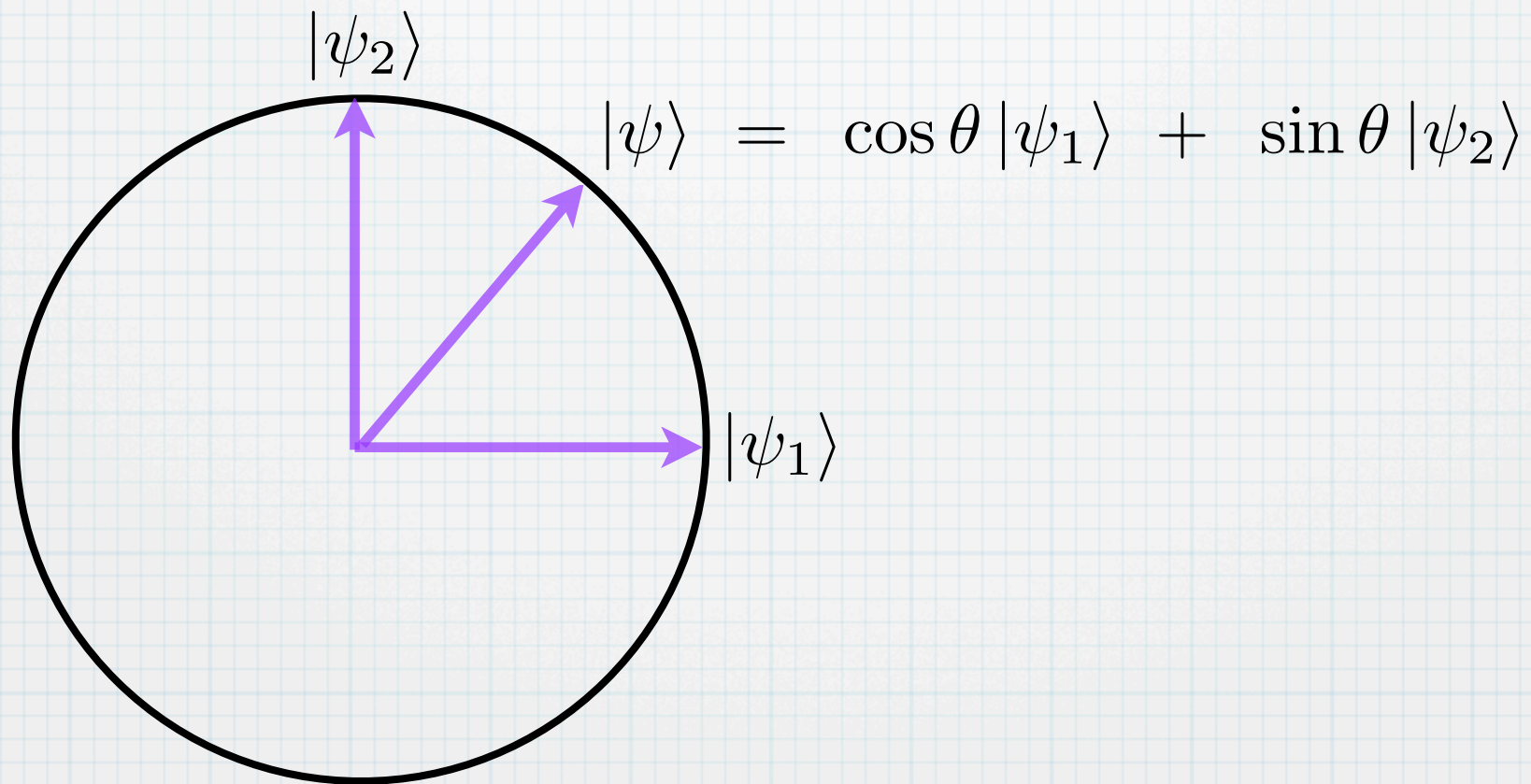
Qubit

$\{|0\rangle, |1\rangle\}$ base computacional

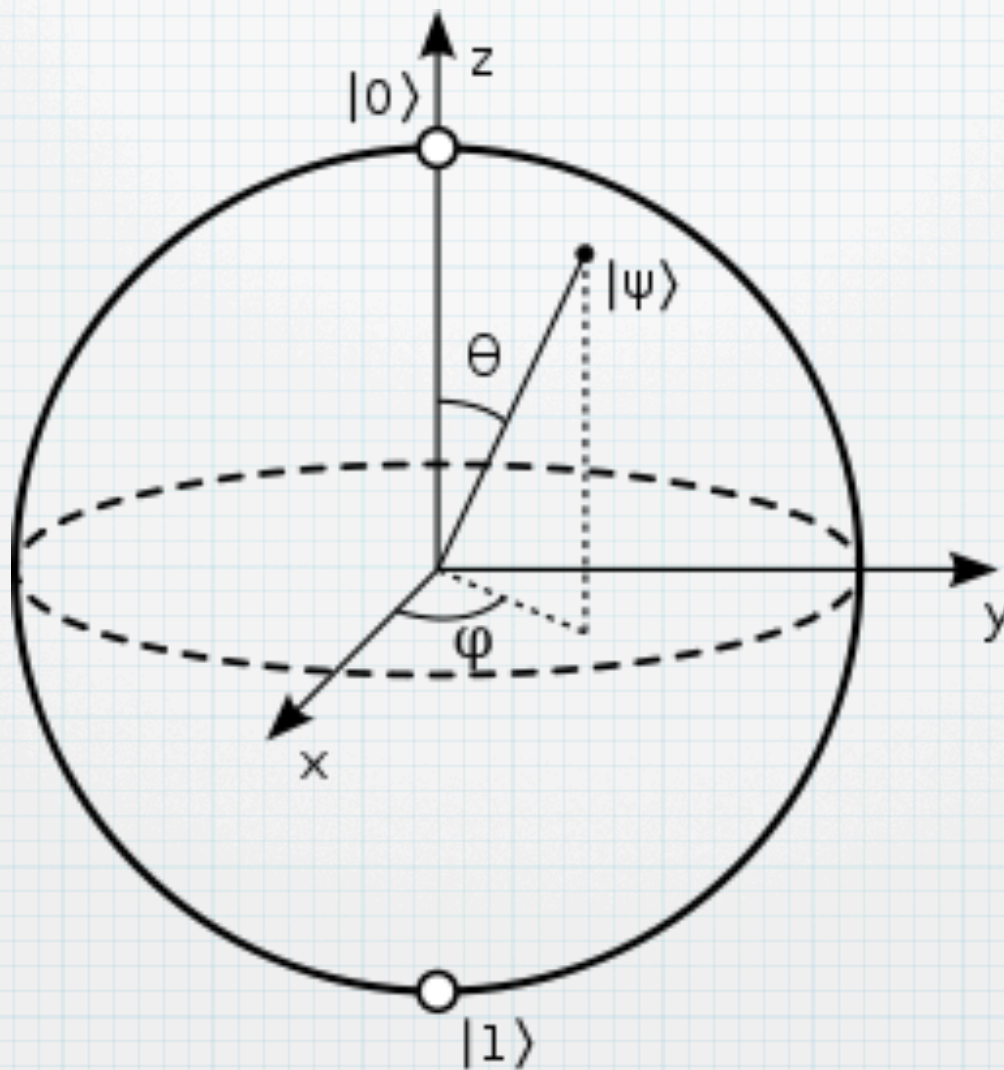
$|\psi\rangle = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle$ qubit

		$ 0\rangle$	$ 1\rangle$
Fotão único	polarização	Horizontal	Vertical
	Número fotões	0 fotões	1 fotão
Electrão	spin	$+1/2$	$-1/2$
	número electrões	0 electrões	1 electrão
Núcleo	spin	Up	Down
Redes Ópticas	spin atómico	Up	Down

Qubit



Qubit



D-Wave

The Quantum Computing Company <http://www.dwavesys.com/>

Most powerful ever quantum chip undergoing tests

New Scientist, 24 Feb 2009

Quantum computers have the potential to be vastly more powerful than conventional machines because they exploit the rules of quantum mechanics to perform many calculations in parallel. They are difficult to build, however, because quantum information is easily destroyed. The most powerful machines to date can cope with only a handful of quantum bits, or qubits, making them little more capable than a hand-held calculator.

the prototype chip built by D-Wave Systems in Burnaby, British Columbia, Canada, is designed to handle 128 qubits of information. The data is stored in 128 superconducting niobium loops as either a clockwise or an anticlockwise current, representing a 0 or a 1, or as a qubit with both currents at the same time in a quantum superposition. When the information needs to be processed, the individual qubits are manipulated by a magnetic field. To make the entire chip superconduct so that the currents can flow indefinitely without dissipating heat, it is cooled to 0.01 °C above absolute zero.

The team has already tested a 28-qubit version

could allow D-Wave to create the world's first commercial quantum computer

procurem google/you tube

quantum computing, D-Wave

Já existem computadores quânticos?

Já existem computadores quânticos?

Há quem diga que sim!!!

Já existem computadores quânticos?

Há quem diga que sim!!!



Já existem computadores quânticos?

Há quem diga que sim!!!



Não há contudo qualquer evidência!!!

Computação Quântica

não é possível clonar um qubit
conforme com as leis da Mecânica Quântica

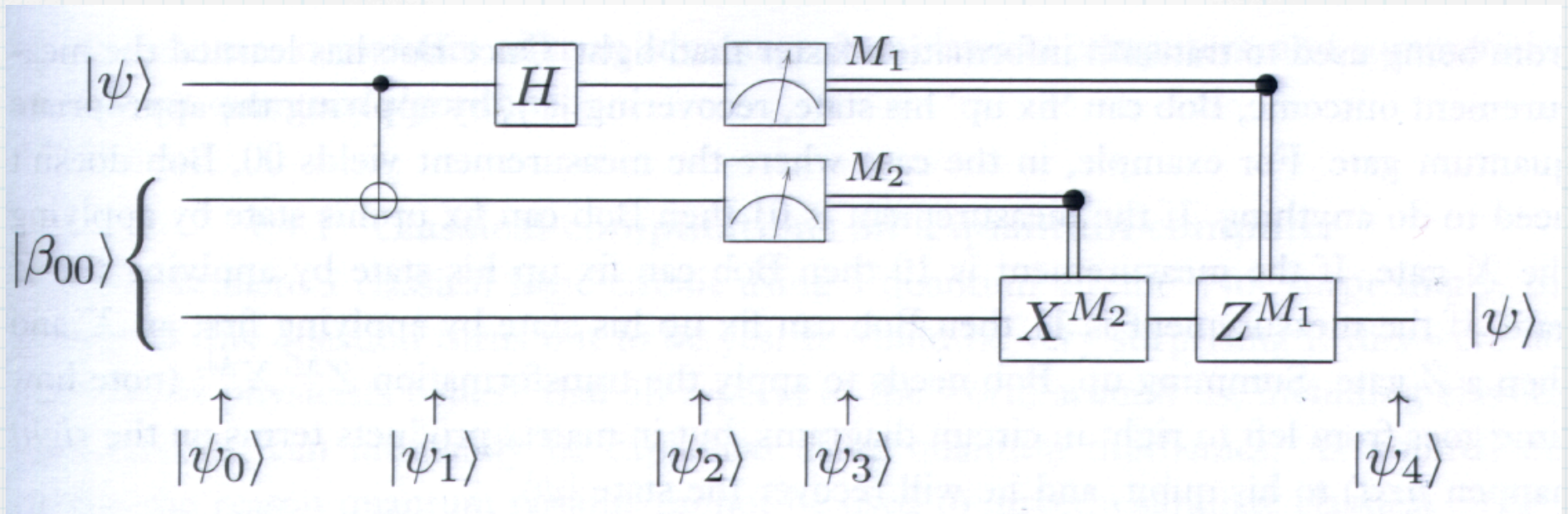
Teleportação Quântica

ou o segredo de copiar um estado quântico

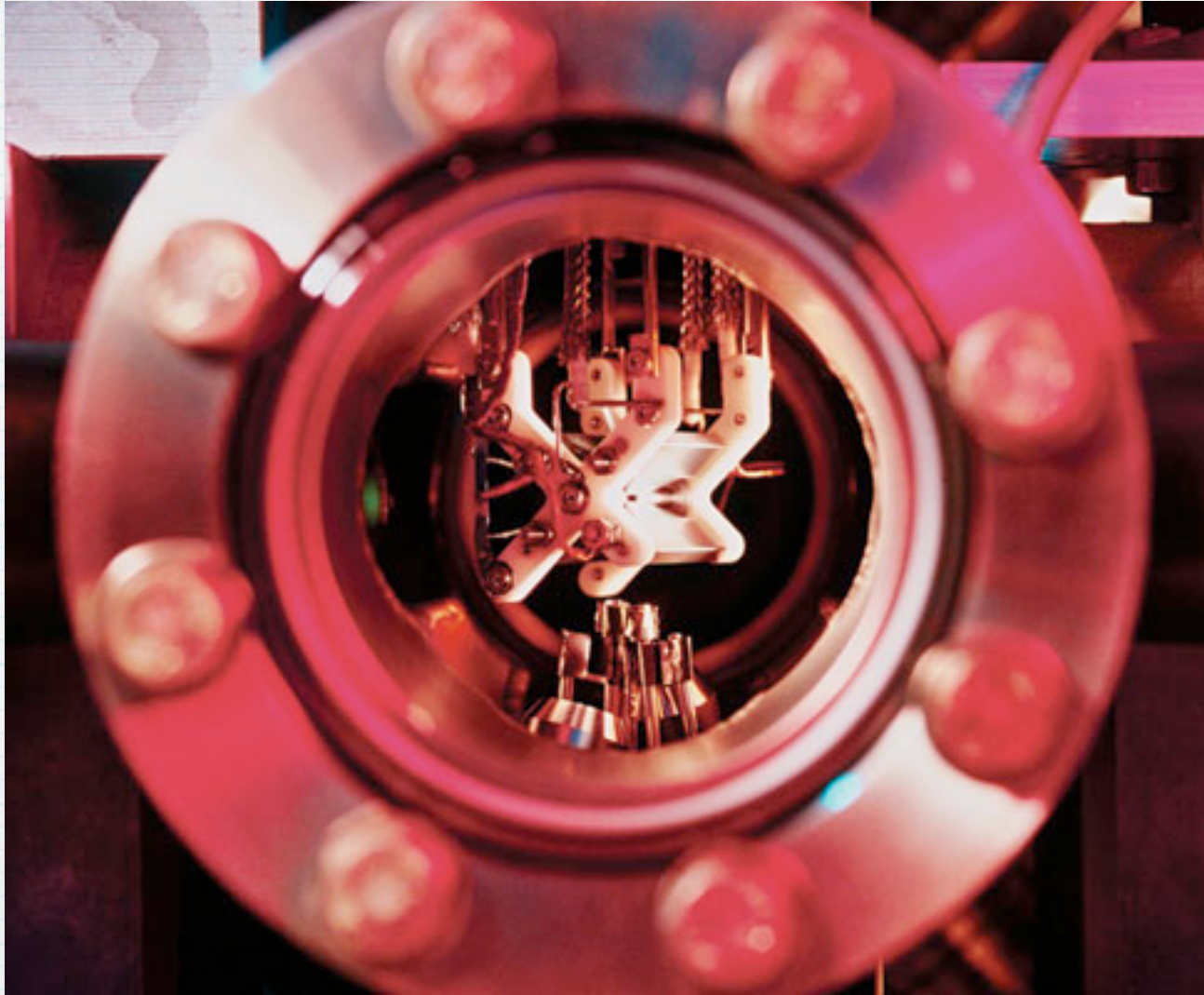
World Record: 600m teleportação da polarização da luz sobre o rio Danúbio por equipa da Universidade de Viena, Áustria, em 2004.

Teleportação Quântica

ou o segredo de copiar um estado quântico



World Record: 600m teleportação da polarização da luz sobre o rio Danúbio por equipa da Universidade de Viena, Áustria, em 2004.



Teleportação entre átomos separados por cerca de 1m
Universidade de Maryland, Janeiro de 2009

EXPERIMENTAL SETUP -- OVERVIEW

Single photons from each of two ions in separate traps interact at a beamsplitter. If both detectors record a photon simultaneously, the ions are entangled. At that point, Ion A is measured, revealing exactly what operation must be performed on Ion B in order to teleport Ion A's information.

