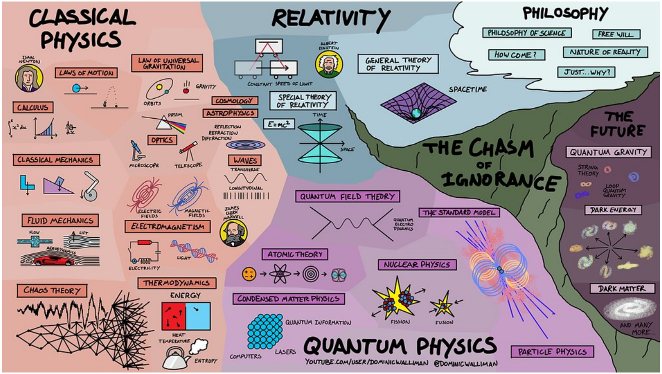
Quantum: Physics & Computation

Lucas Santana e Mateus Hiro Nagata

LAMFO

Outline

Aonde tudo se encaixa? Um mapa de toda a Física



Mas e a Física Quântica?

- Concentra-se em estudar o "microuniverso";
- Surgiu com o objetivo de explicar muitos fenômenos:
  1. Efeito fotoelétrico;
  2. Irradiação de um corpo negro;
  3. Estabilidade da matéria.

Breve Resumo Histórico da Física Quântica...

- **Planck** supôs a resposta para radiação do corpo negro e a catástrofe do violeta

$$E = n \cdot h \cdot \nu$$

- **Einstein** explicou o efeito fotoelétrico, explicando o caráter corpuscular da luz

$$E = h \cdot \nu$$

- **De Broglie** trouxe, finalmente, a noção da dualidade onda partícula

Princípio da Incerteza

- Quanto maior a certeza da posição de uma partícula, menor é a incerteza sobre a quantidade de movimento ou velocidade:

$$\Delta X \cdot \Delta Q \leq \frac{h}{4\pi}$$

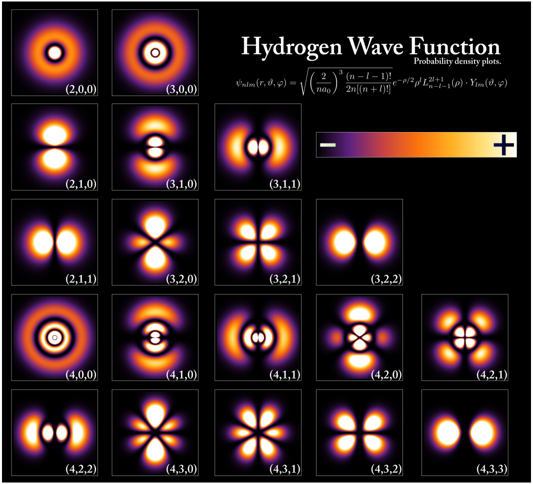
- Então, não podemos determinar com precisão a posição e a velocidade de um elétron ao mesmo tempo.

Equação de Schrödinger

- Baseando-se em seus níveis de energia, as solução da Equação de Schrödinger, servem, basicamente para descrever as regiões de probabilidade de se encontrar um elétron.
- Em outras palavras, consegue-se com essa equação descrever-se a evolução de um estado quântico de um sistema no tempo

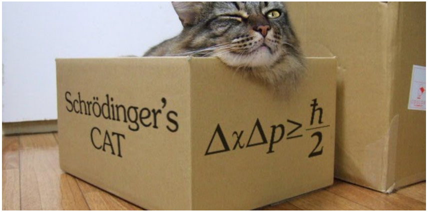
$$-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\psi(\vec{r}) + V(\vec{r})\psi(\vec{r}) = E\psi(\vec{r})$$

Função de Onda para o átomo de hidrogênio



Superposition: E como o está o gato de Schrödinger?

- Schröndinger desenvolveu uma experiência mental para explicar o seu conceito, o famoso gato Schrödinger.



- A conclusão é que na realidade o gato está vivo e morto ao mesmo tempo dentro da caixa fechada.
- **Mas o que isso tem a ver com computação?**

Definindo a Computação Quântica

- A computação tradicional trabalha com valores definidos de bits (0 e 1)
- O grande trunfo da computação quântica, é que os qbits podem seguir os estados quãnticos de um elétron
- Assim como o gato de Schrödinger, os qbits podem assumir 0 e 1, ao mesmo tempo

Outline

Mitos Quânticos e como superá-los

1. Computador Quântico é um Computador Paralelo Infinito
2. Algoritmos de 100 qbits precisam só de uma máquina de 100 qbits
3. Amanhã todas as minhas senhas vão ser roubadas
4. Vai algum dia funcionar?
5. Supremacia Quântica

Outline

Álgebra Linear

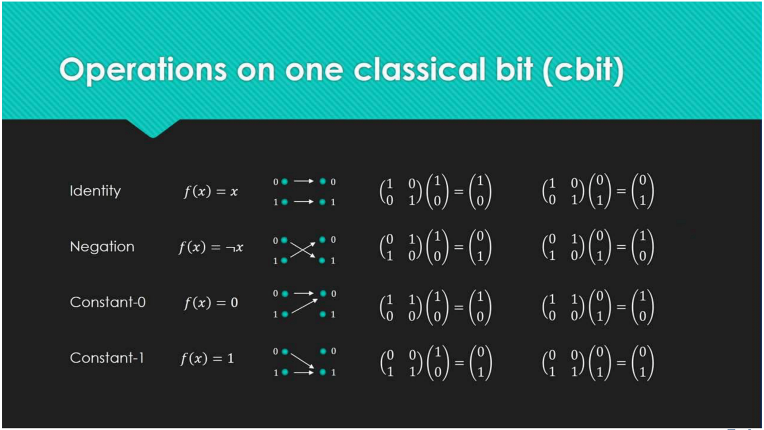
Um bit com valor 0, também escrito como $|0\rangle$

$$\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Um bit com valor 1, também escrito como $|1\rangle$

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

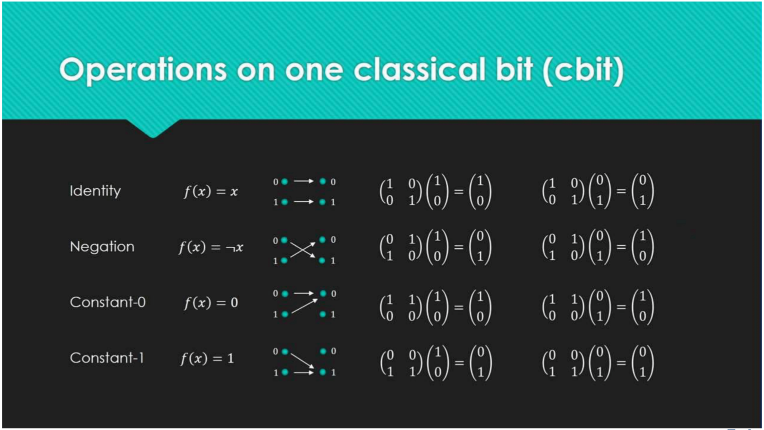
Operações Clássicas com bits (cbits)



Computação Reversa

- Reversível: dado a operação e o resultado, sabemos o input $\rightarrow$ Álgebra Linear
  - Para $Ax = b$, dado b e A, conseguimos chegar a um único x

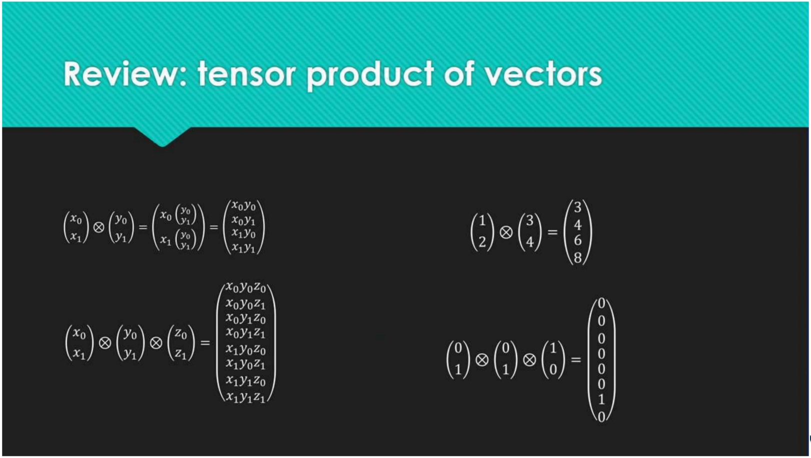
Operações Clássicas com bits (cbits)



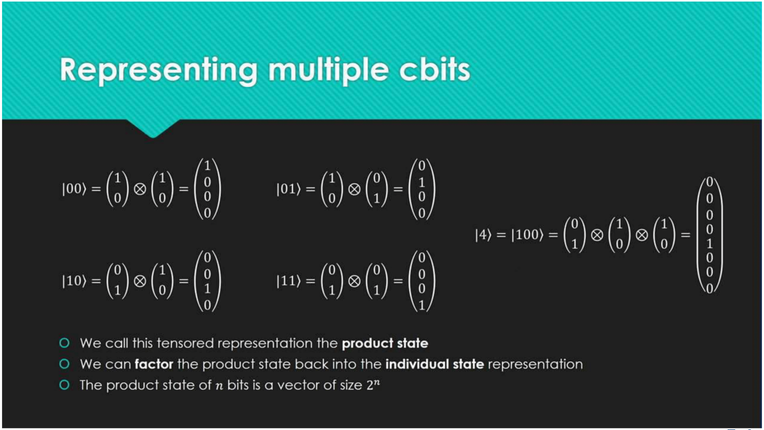
Operations on one classical bit (cbit)

Identity	$f(x) = x$	$\begin{pmatrix}1 & 0\\0 & 1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}1 & 0\\0 & 1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix}$
Negation	$f(x) = \neg x$	$\begin{pmatrix}0 & 1\\1 & 0\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}0 & 1\\1 & 0\end{pmatrix}\begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix}$
Constant-0	$f(x) = 0$	$\begin{pmatrix}1 & 1\\0 & 0\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}1 & 1\\0 & 0\end{pmatrix}\begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix}$
Constant-1	$f(x) = 1$	$\begin{pmatrix}0 & 0\\1 & 1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix}0 & 0\\1 & 1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix}$

Produto Tensorial



Múltiplos cbits



Operação CNOT

Opera em 2 bits que são o "bit de controle"e o "bit objetivo"
Control bit $= 1 \rightarrow$ gira o Target bit

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$C\left|10\right\rangle = \left|11\right\rangle$
$C\left|11\right\rangle = \left|10\right\rangle$
$C\left|01\right\rangle = \left|01\right\rangle$
$C\left|00\right\rangle = \left|00\right\rangle$

Advanced Topic

Operations on multiple cbits: CNOT

$$C|10\rangle = C\left(\begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix}\otimes\begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix}\right) = \begin{pmatrix}1&0&0&0\\0&1&0&0\\0&0&0&1\\0&0&1&0\end{pmatrix}\begin{pmatrix}0\\0\\1\\0\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}0\\0\\0\\1\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix}\otimes\begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix} = |11\rangle$$

$$C|11\rangle = C\left(\begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix}\otimes\begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix}\right) = \begin{pmatrix}1&0&0&0\\0&1&0&0\\0&0&0&1\\0&0&1&0\end{pmatrix}\begin{pmatrix}0\\0\\0\\1\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}0\\0\\1\\0\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix}\otimes\begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix} = |10\rangle$$

Atenção!

ATENÇÃO O GATO DE SCHRÖDINGER ESTÁ NO PRÓXIMO SLIDE

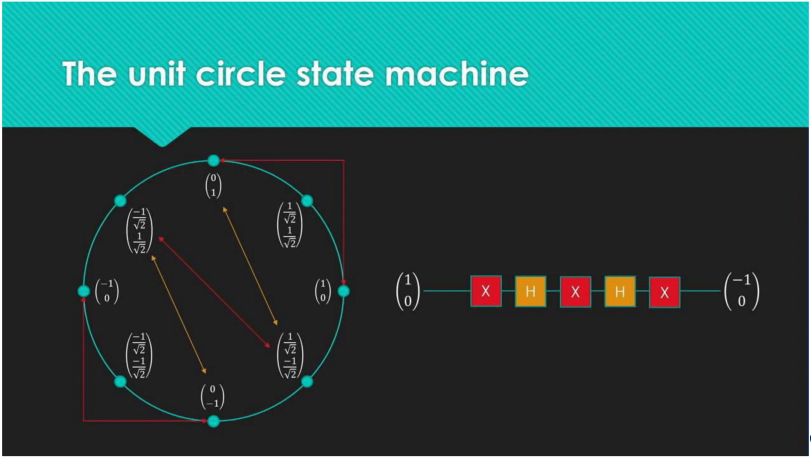
Eis o Gato

- qbit $= \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix}$

Eis o Gato

- qbit $= \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix}$ tal que a,b são complexos e $||a||^2 + ||b||^2 = 1$

Círculo Unitário



Superposição

- Como bit pode ser 1 e 0 ao mesmo tempo?
- Quando mensuramos o valor colapsa pra 0 ou 1
- Se qbit tem valores $\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix}$, então colapsa pra 0 com probabilidade $||a||^2$ e pra 1 com probabilidade $||b||^2$
  - Então $\begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}$ tem $||\frac{1}{\sqrt{2}}||^2$ chance de ser 0 e de ser 1 (cara-ou-coroa)
  - Também $\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$ tem 100% de chance de colapsar para 1

Operações em Qbits

A ideia é manipular os qbits antes de mensurá-los.

- Bit flip/Negação $\rightarrow$ Trocar a ordem dos bits

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} \\ \frac{\sqrt{3}}{2} \end{pmatrix}$$

- CNOT $\rightarrow$ Trocar o último bit de dois bits se...
- Constant-0, Constant-1, Identidade, Negação...

Porta de Hadamard

- Porta de Hadamard pega input de 0 ou 1 bit e coloca em superposição iguais

$$H|0\rangle = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}$$

$$H|1\rangle = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}$$

Porta de Hadamard

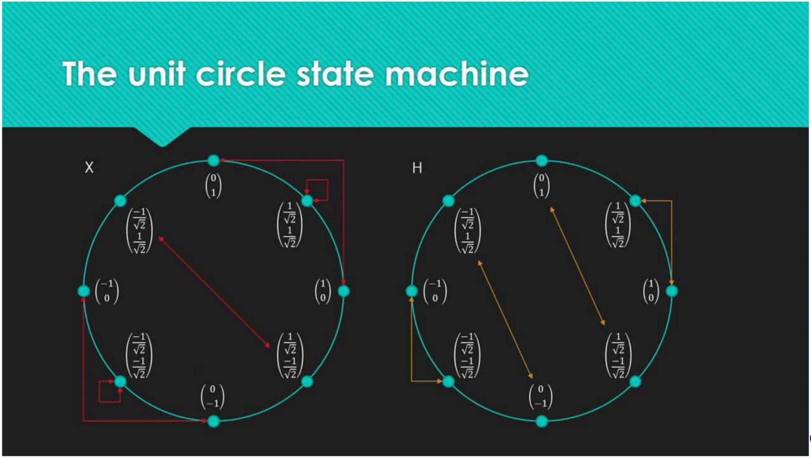
- Agora a inversa também tem uma função análoga

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

- Podemos sair da superposição sem mensuração!
- Podemos estruturar a computação quântica deterministicamente ao invés de probabilisticamente

Bit Flip e Porta de Hadamard



Outline

A pergunta de 1 milhão de dólares

O que há dentro da caixa preta?

1. Identidade
2. Negação
3. Constant-1
4. Constant-0

A pergunta de 1 milhão de dólares 2.0

O que há dentro da caixa preta?

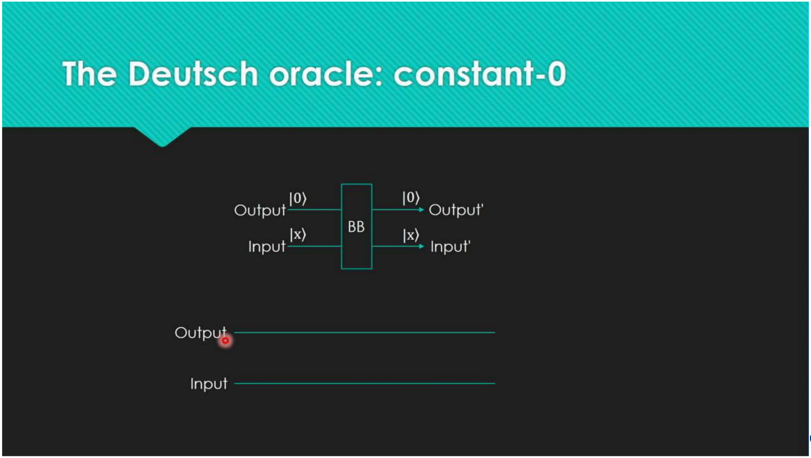
Variável

1. Identidade
2. Negação

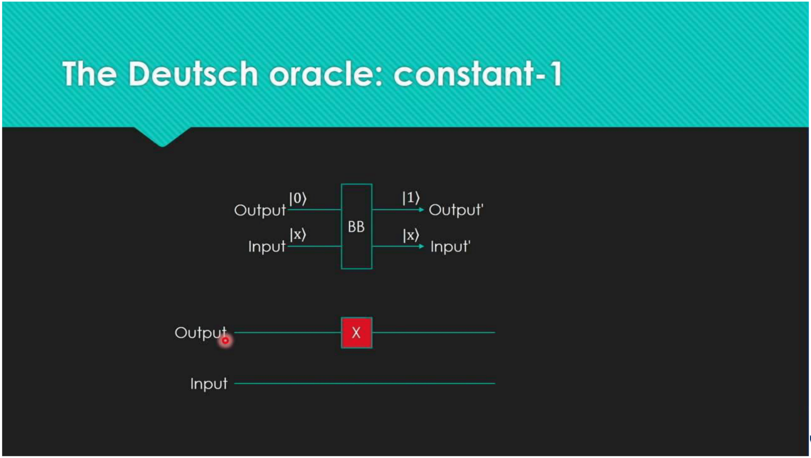
Constante

1. Constant-1
2. Constant-0

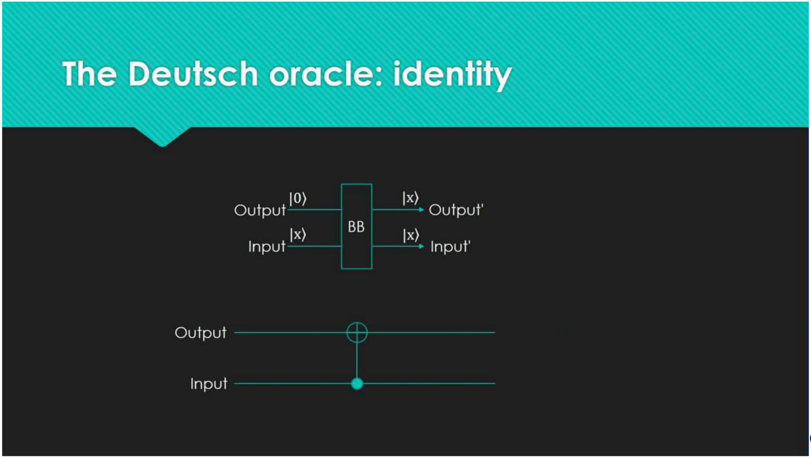
Deutsch Oracle



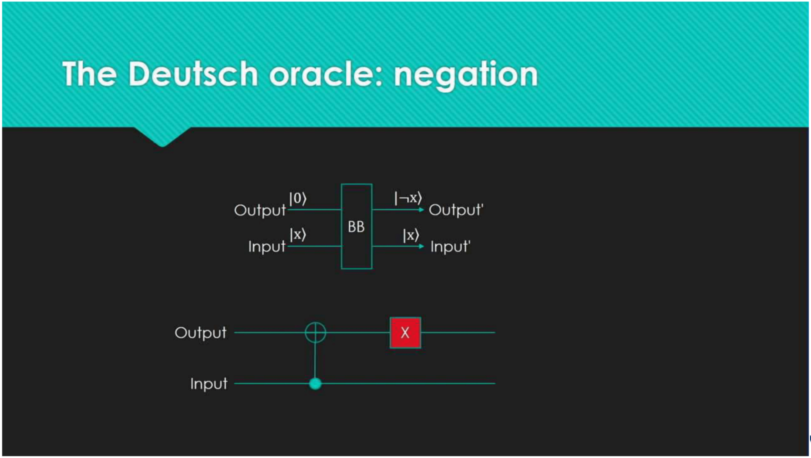
Deutsch Oracle



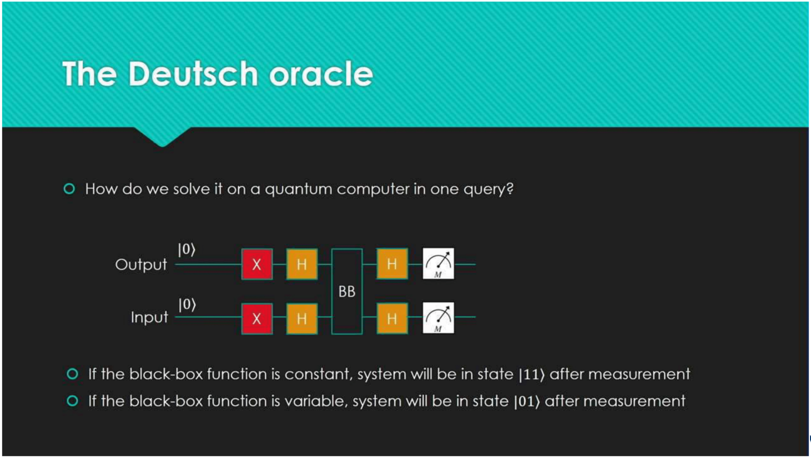
Deutsch Oracle



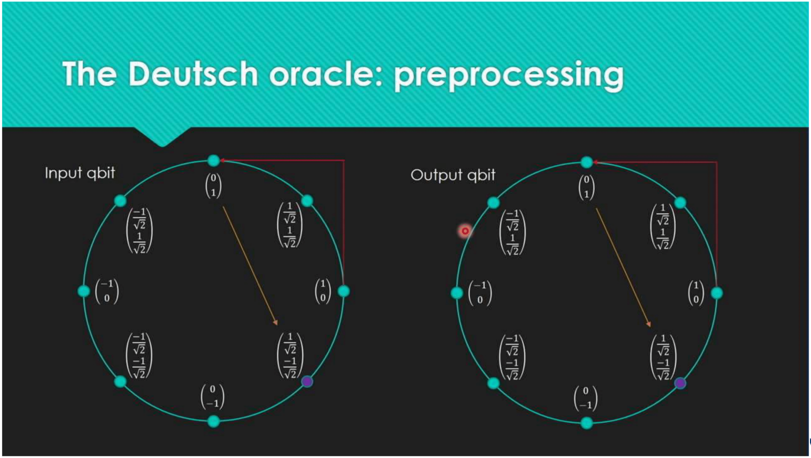
Deutsch Oracle



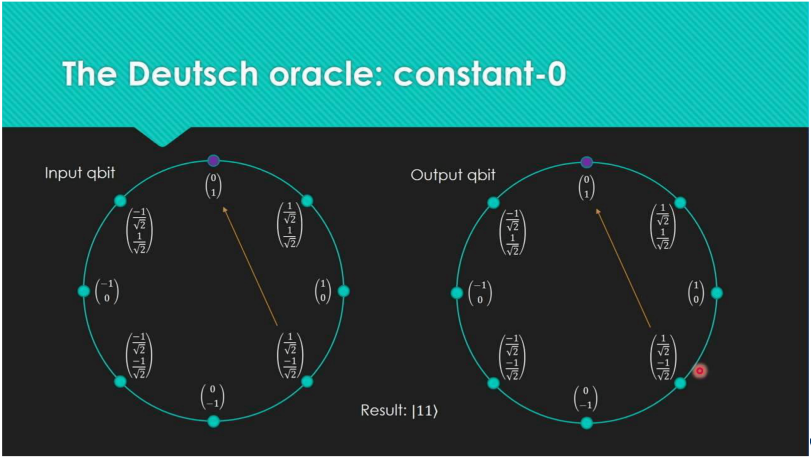
Deutsch Oracle: Está provado a supremacia quântica



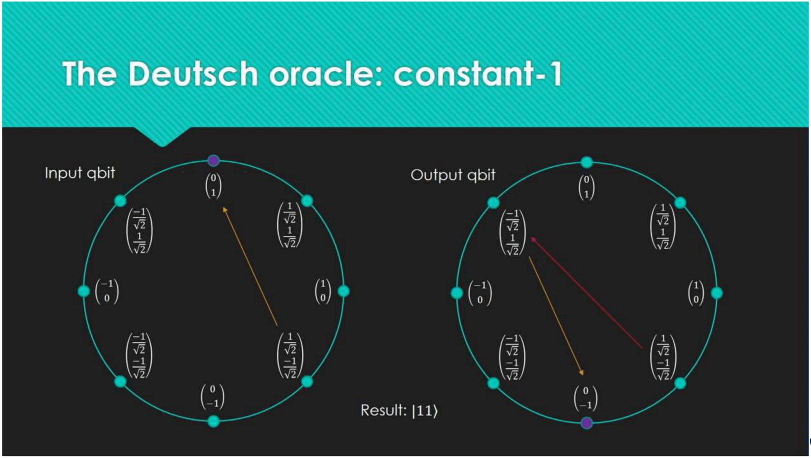
Preprocessamento



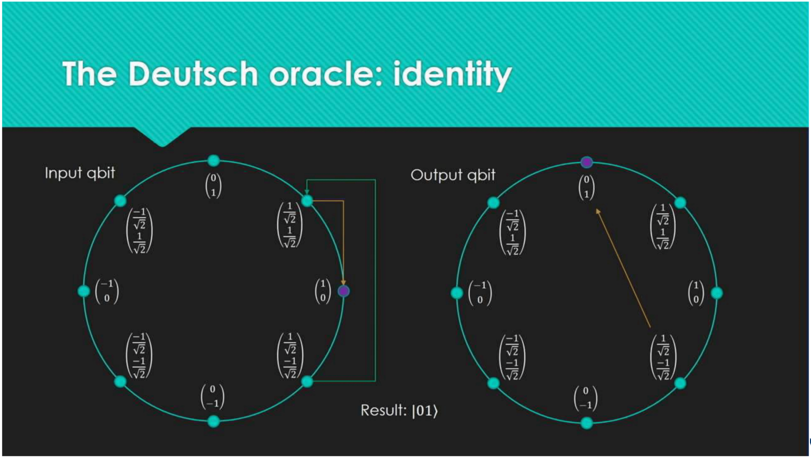
Se a caixa preta for Constant-0?



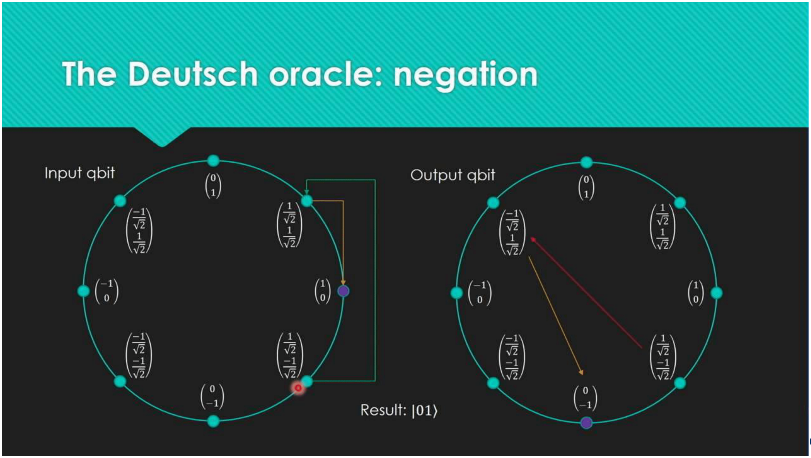
Se a caixa preta for Constant-1?



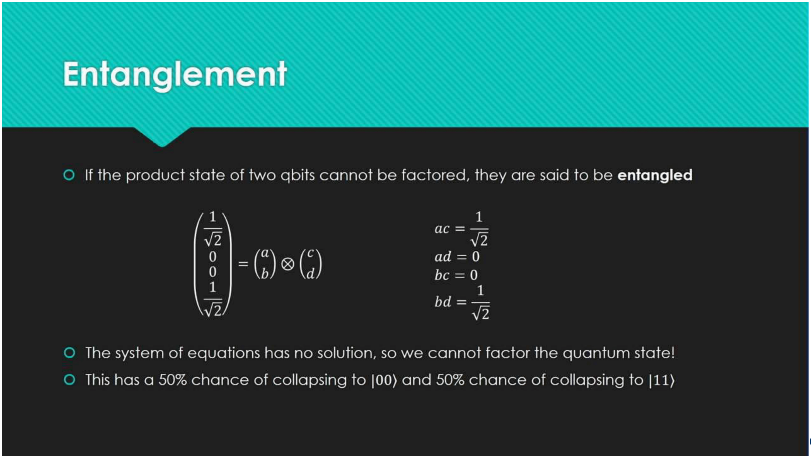
Se a caixa preta for Identidade?



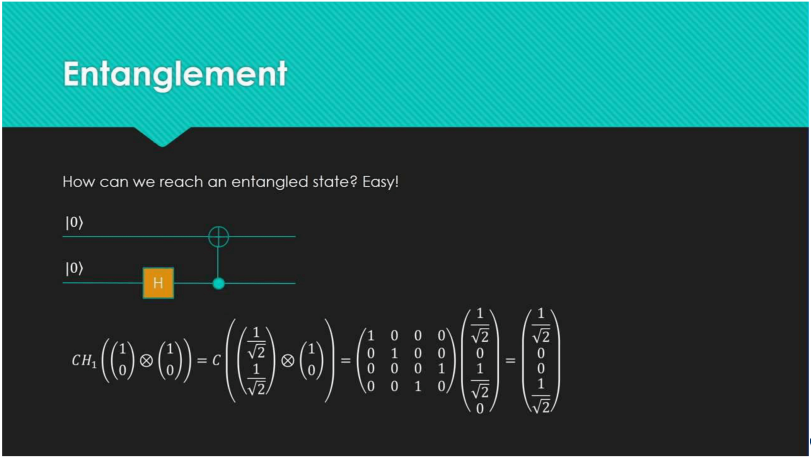
Se a caixa preta for Negação?



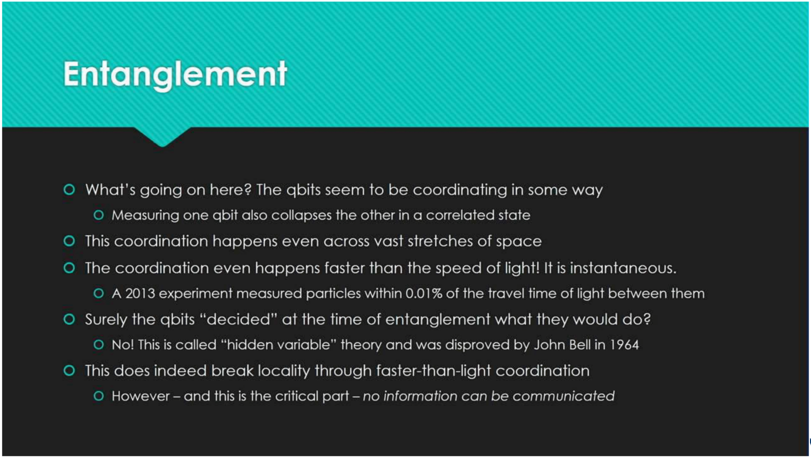
Entrelaçamento Quântico e Teletransporte



Entrelaçamento Quântico e Teletransporte



Entrelaçamento Quântico e Teletransporte



Logo aí Links Clicáveis

- Quantum Computing for Computer Scientists
- Map of Physics
- Quantum Experience IBM
- Five Common Misconceptions
- Computing Hackathon
- qiskit

Quantum: Physics & Computation

Lucas Santana e Mateus Hiro Nagata

LAMFO