

Computação Quântica

Glauco Reis

gsreis@br.ibm.com

- IBM Quantum Ambassador
- **IBM Certified Associate Developer - Quantum Computation using Qiskit v0.2X**
- Badge IBM Quantum Conversations
- LFQ101 – Fundamentals of Quantum Computing – The Linux Foundation
- Badge IBM Quantum Safe Conversations



QUEM SOU EU ?

Tenho um mestrado em Engenharia Elétrica, com área de concentração em Inteligência Artificial e Teoria dos Fractais, Bacharel em Matemática e Cientista da Computação, trabalho com TI desde 1987, passando por segmentos como desenvolvimento de Hardware, Firmware e Assembler, C, C++, Pascal e Java.

Atuei por mais de 20 anos com desenvolvimento em linguagens orientadas para Objetos. Atualmente Arquiteto de Soluções na IBM.

Tenho o tema inteligência artificial como um prazer pessoal

Atuei durante 10 anos com treinamentos, com mais de 4000 horas de treinamentos ministrados de OOP, Java, Modelagem UML, JEE, Websphere
Publiquei um livro sobre notação BPMN

Também fui editor chefe da revista PortalBPM, uma revista de BPM e Modelagem de processos, Fui colunista das revistas MundoJava, JavaMagazine e Developers Magazine, por mais 4 anos em cada uma destas revistas, tendo publicado mais de 100 artigos neste período

Publiquei alguns artigos no site Transformação digital da IBM.

Sou escritor muito ativo no linkedin, com mais de 170 artigos publicados

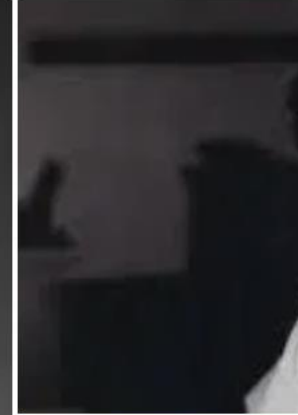


E TAMBÉM COLECIONO COMPUTADORES DA DÉCADA DE 70 E 80

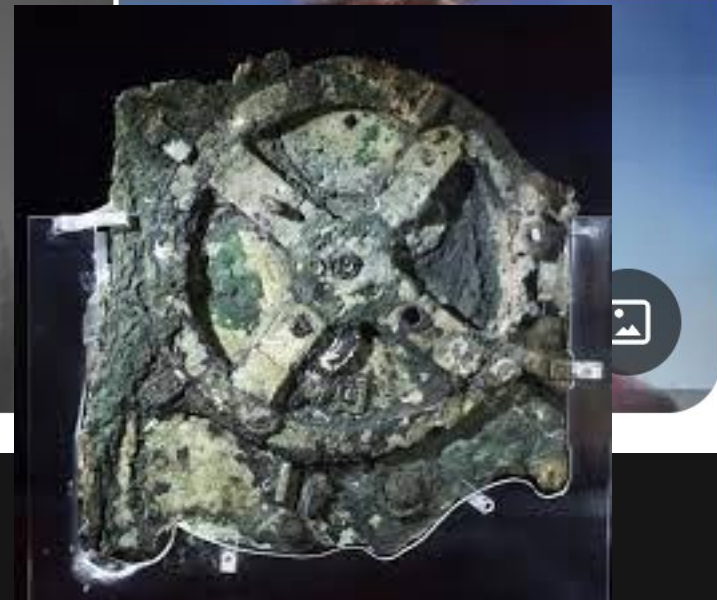


O que é um computador?

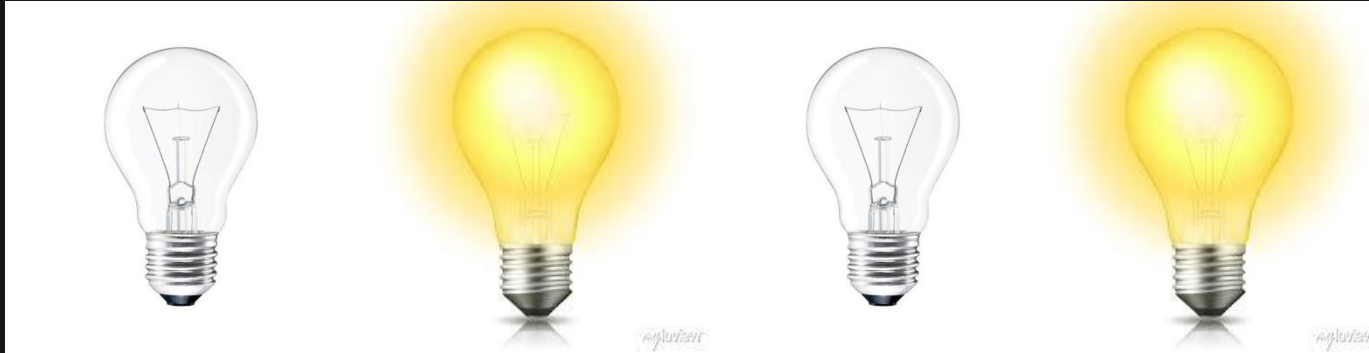
IBM Quantum



estados
operações



O que é um computador?



BIT

BIT

BIT

BIT

Logic Gate Symbols



OR



NOR



AND



NAND



XOR



XNOR



Buffer



NOT

Bits and classical logic circuits

estados

0

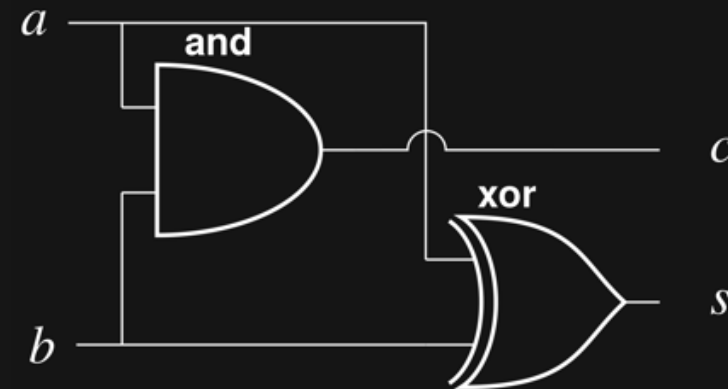
•

•

1

A **bit** is a controllable classical object that is the unit of information

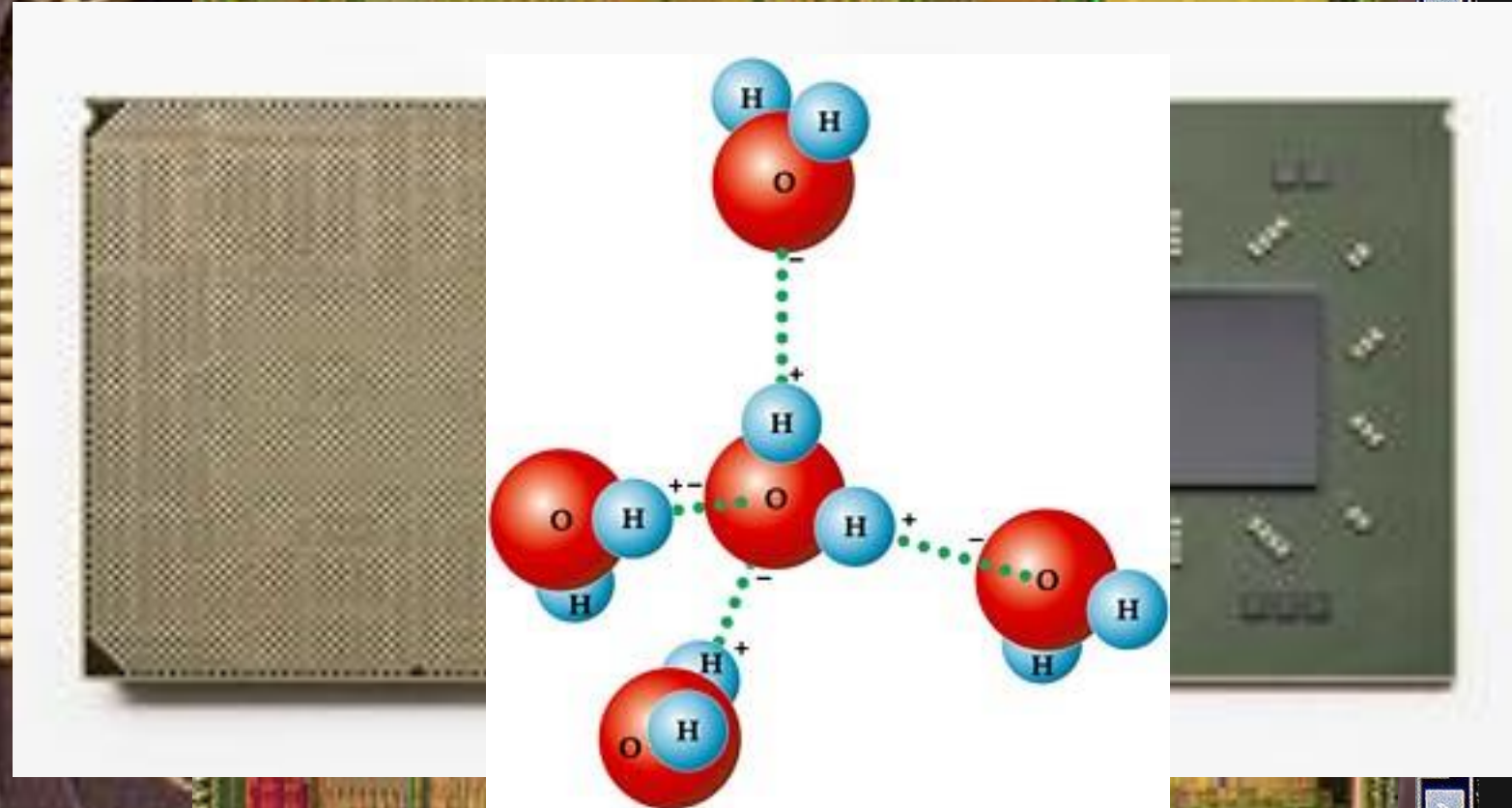
operações



A **classical logic circuit** is a set of gate operations on bits and is the unit of computation

Porque Quantum agora?

IBM Quantum



4004 10Micro

8080 6 Micro

80286 1.5 Micro

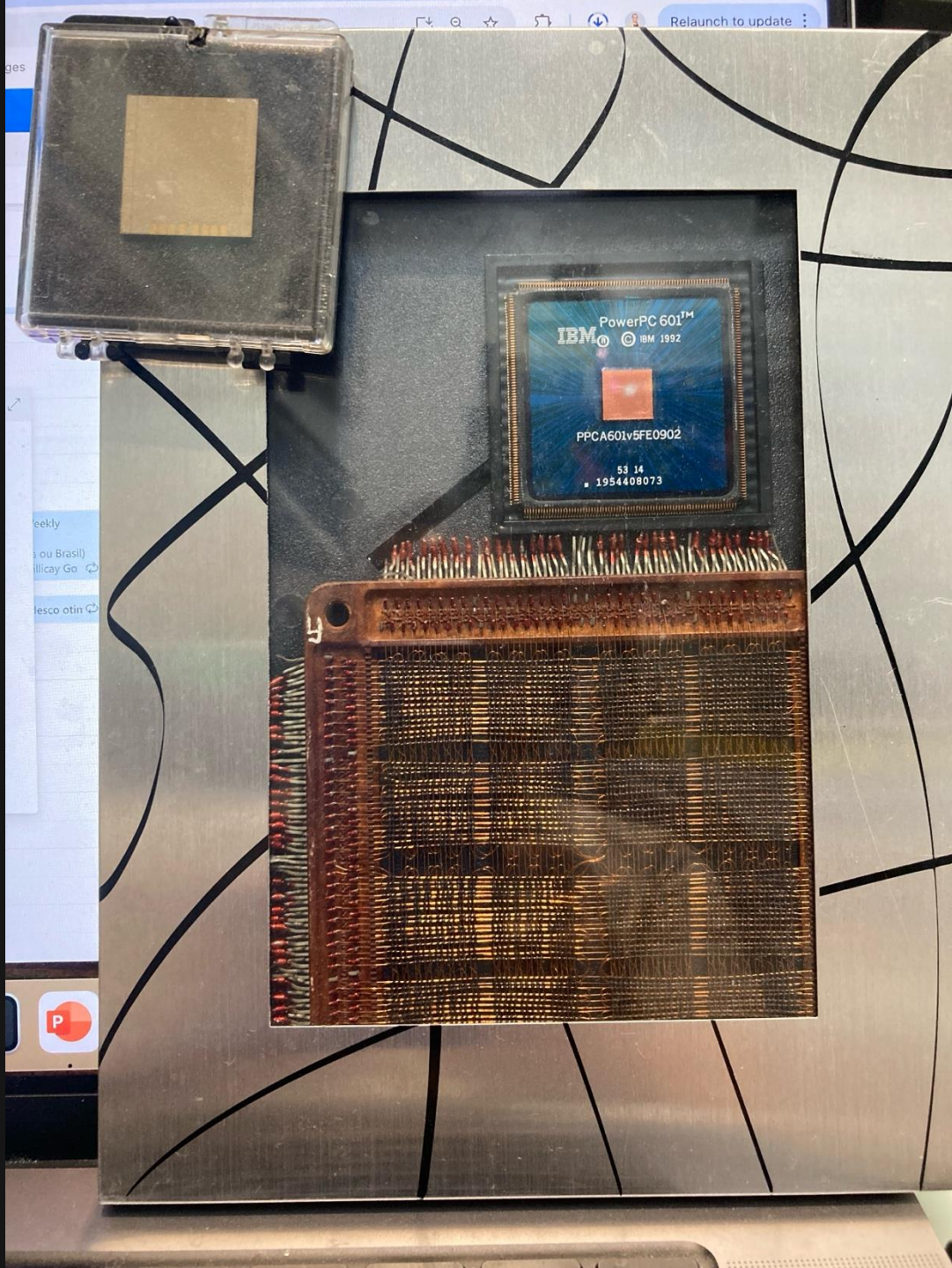
80486 600 nano

80686 400 nano

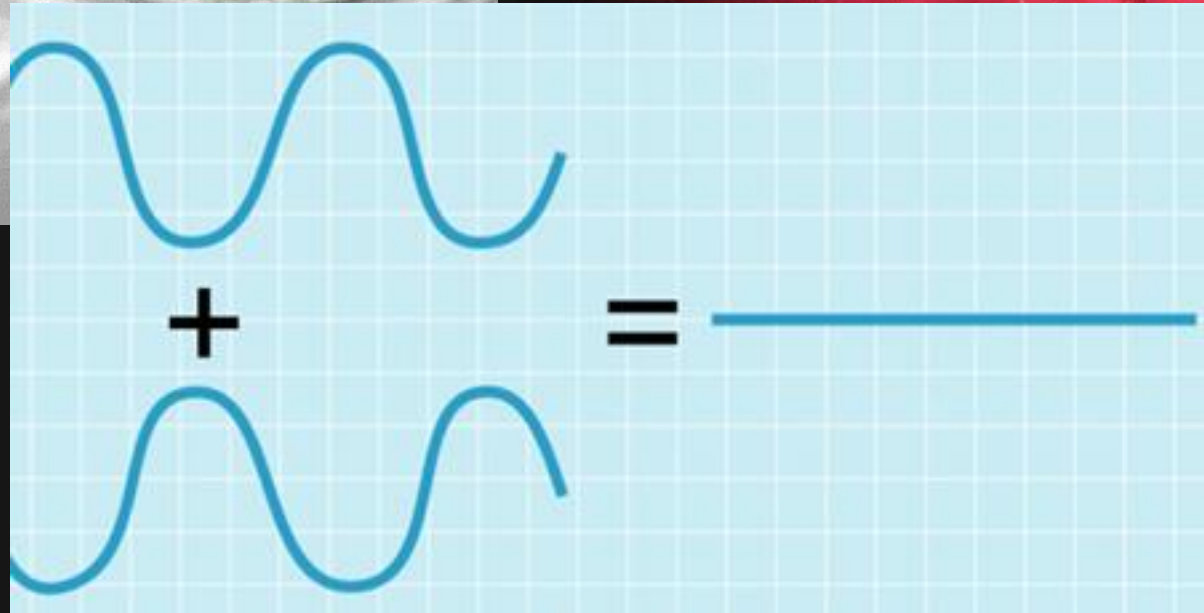
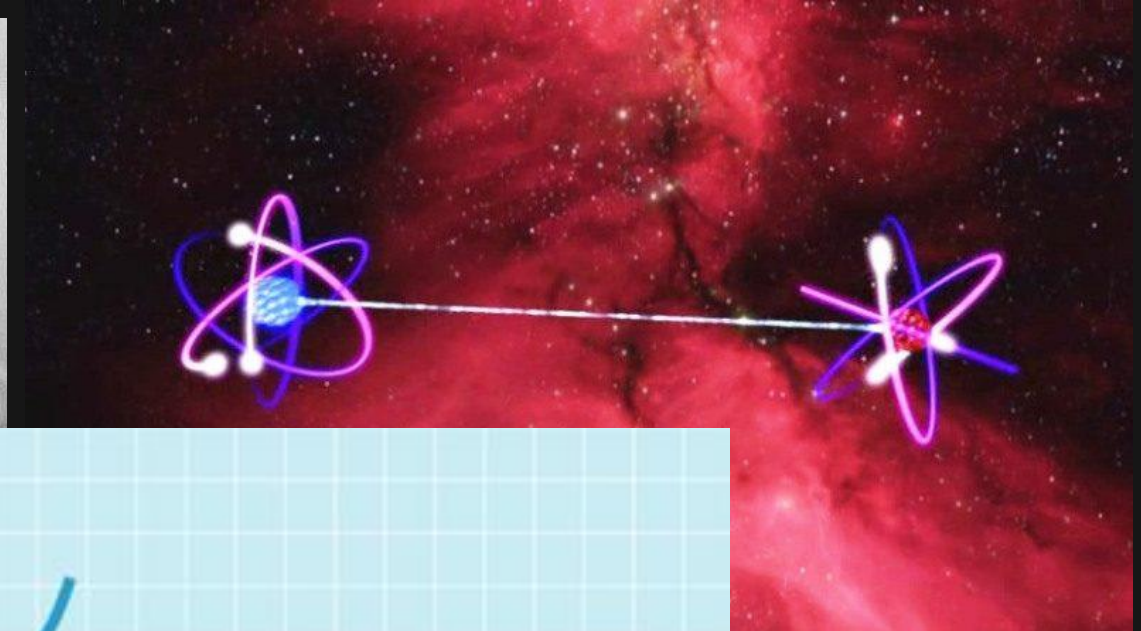
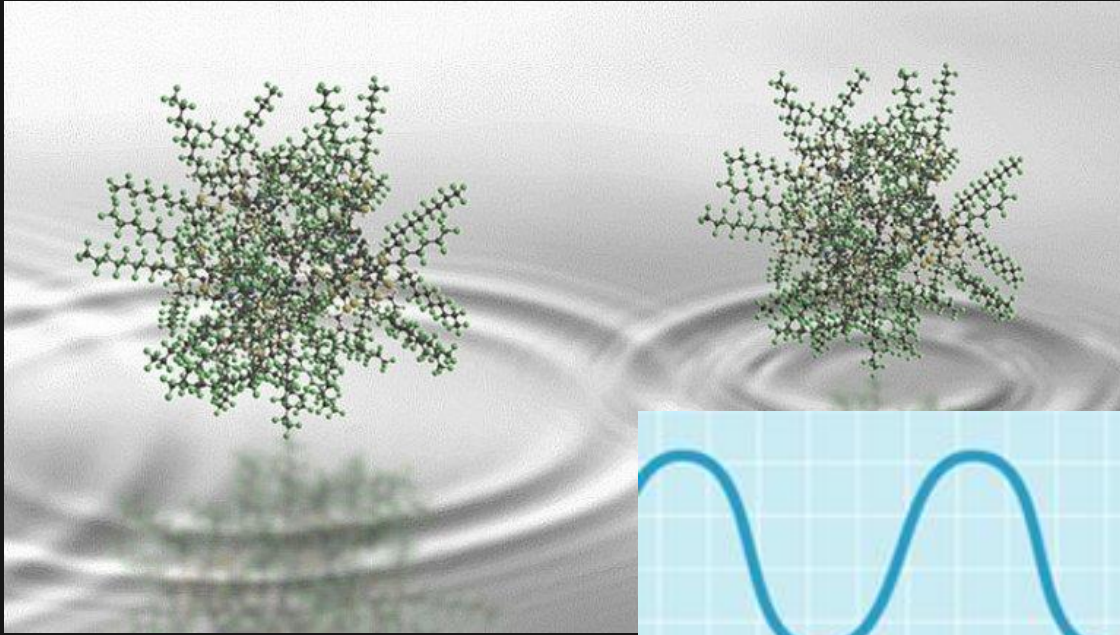
⋮

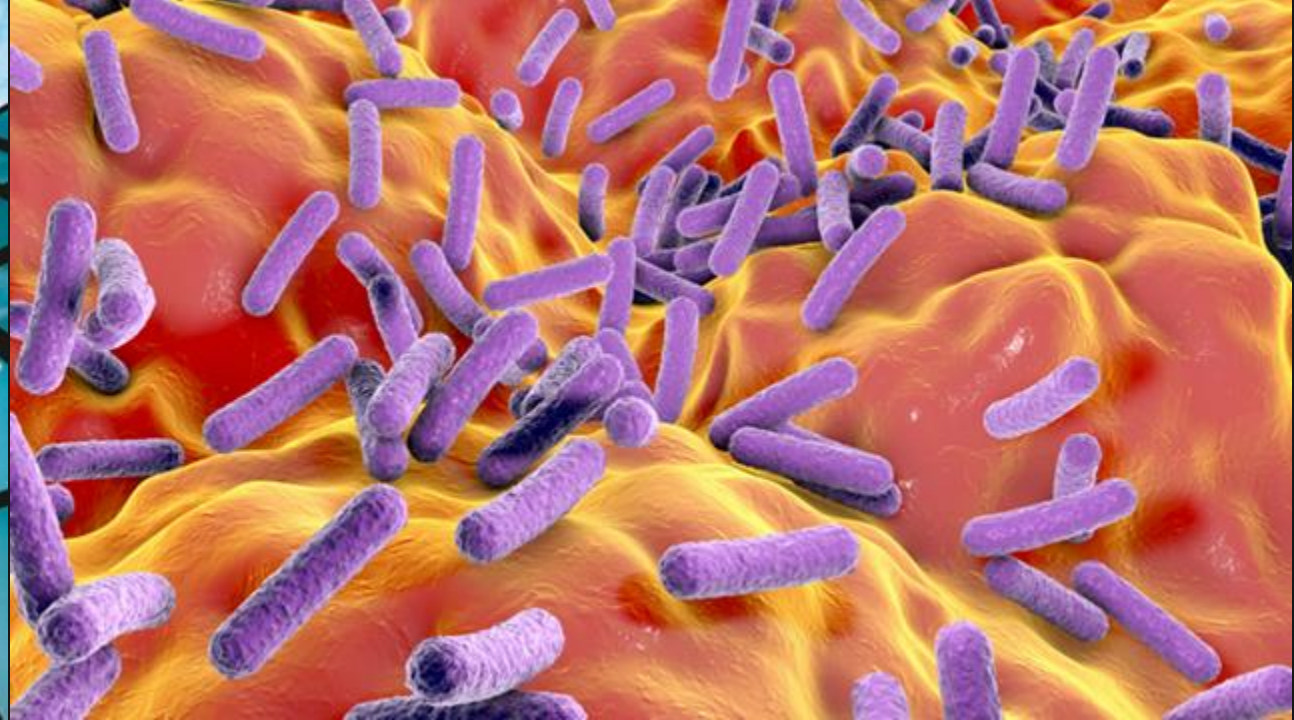
Telam 7 nano

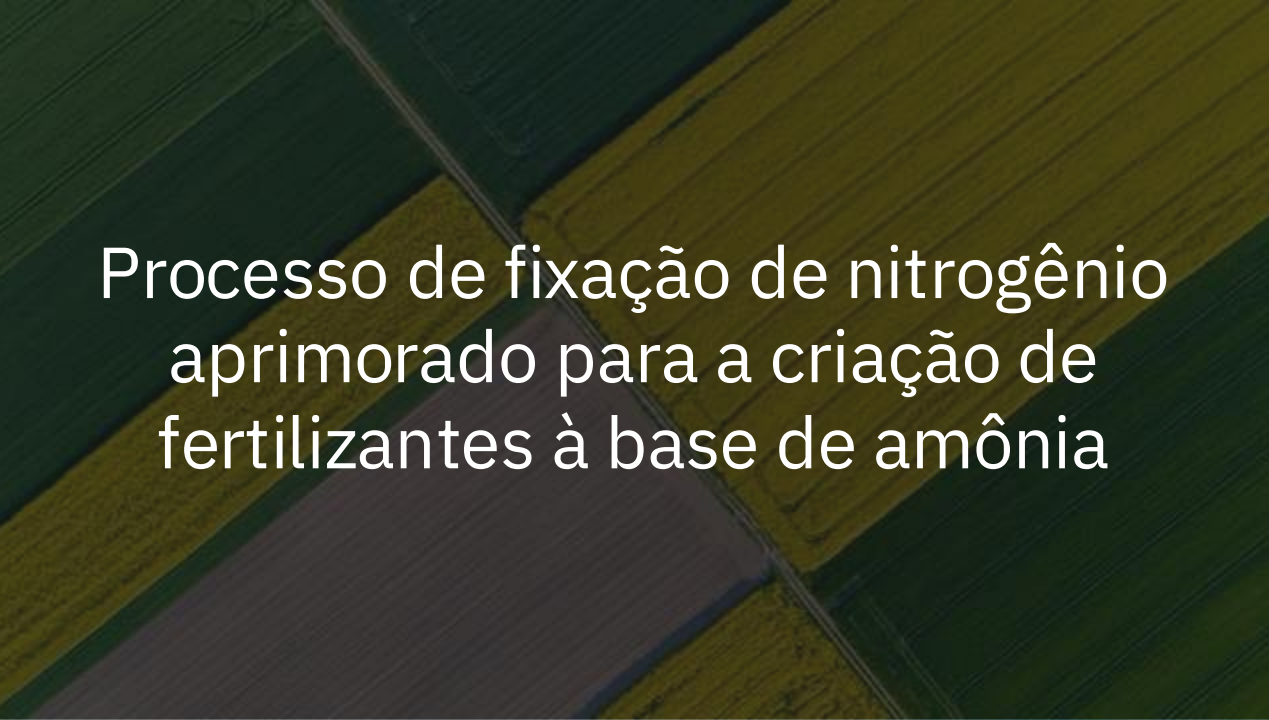
Particula água 0,3nm – 1 nm



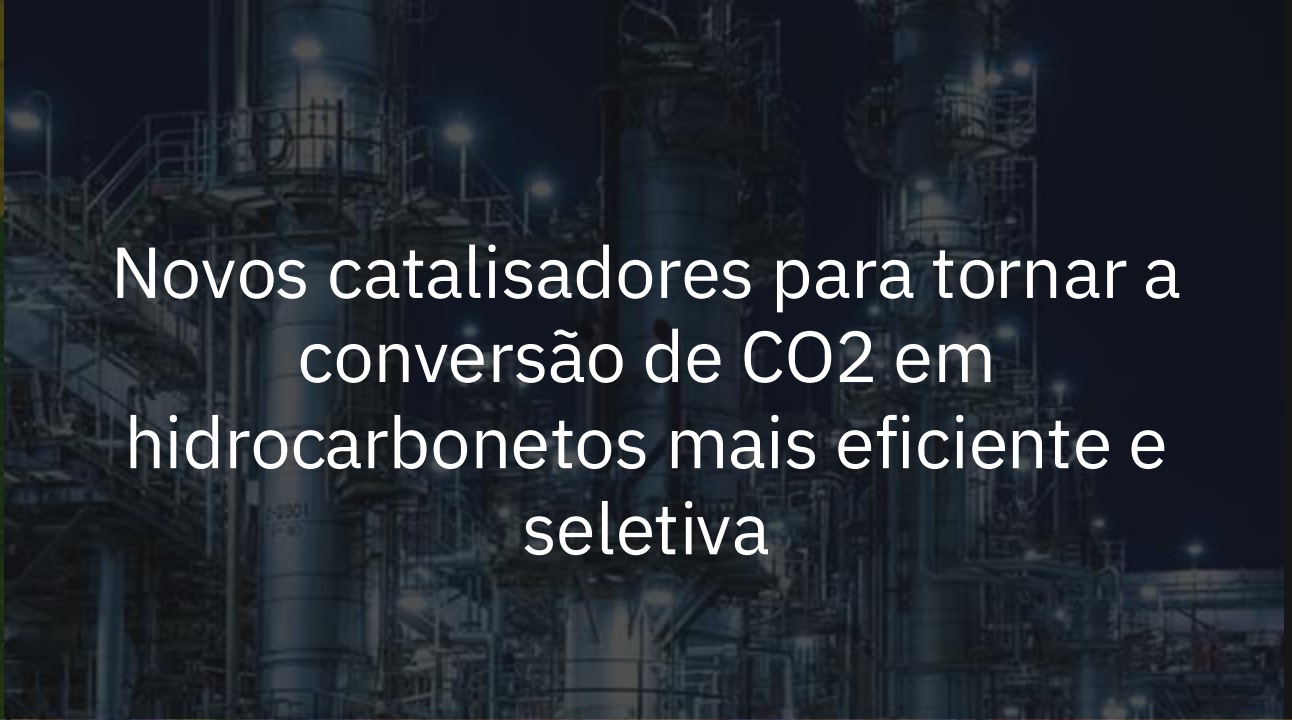
Superposição e entrelaçamento e interferência IBM Quantum








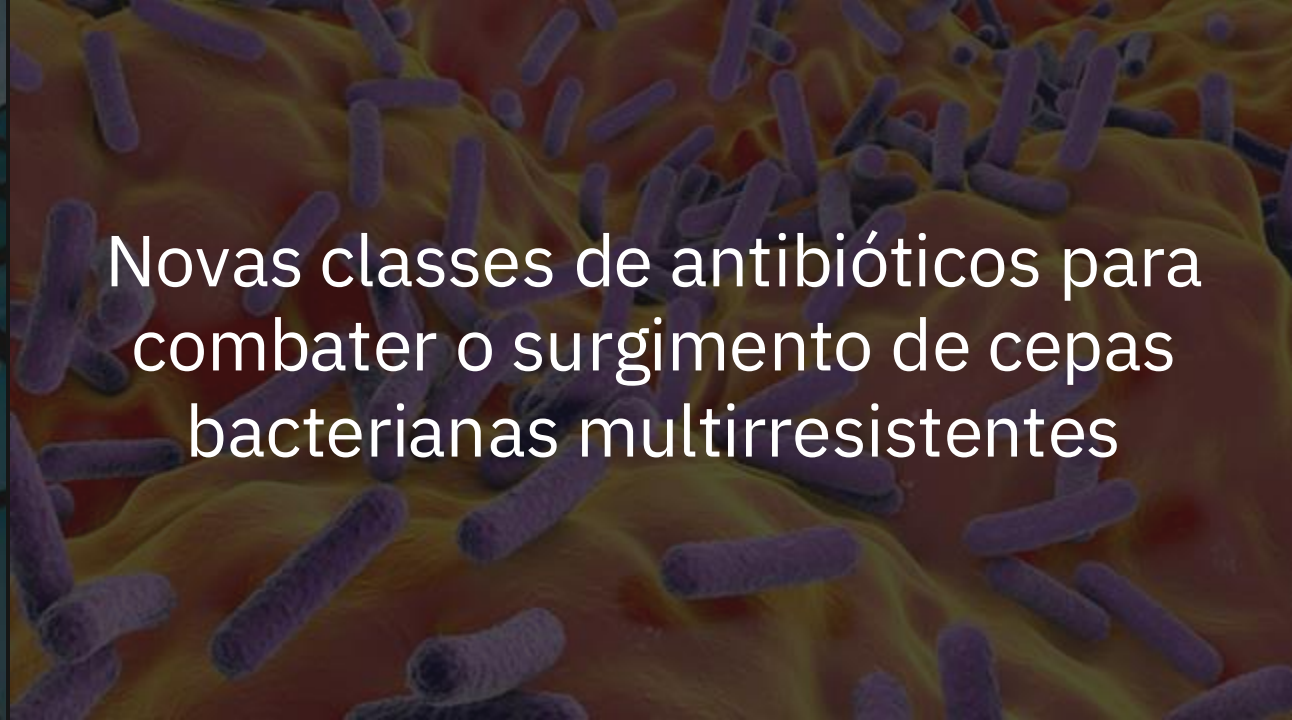
Processo de fixação de nitrogênio
aprimorado para a criação de
fertilizantes à base de amônia



Novos catalisadores para tornar a
conversão de CO₂ em
hidrocarbonetos mais eficiente e
seletiva



Melhores modelos financeiros para
melhorar a estabilidade, a
previsibilidade e o crescimento das
economias mundiais



Novas classes de antibióticos para
combater o surgimento de cepas
bacterianas multirresistentes

Um dos supercomputadores mais poderosos do mundo

IBM Quantum

Oak Ridge National Laboratory US Department of Energy

Summit supercomputer specs

200 quadrillion calculations
per second

9216 IBM Power 9 processors

27,648 NVIDIA GPUs

250 PB File System

IBM Red Hat Enterprise Linux
(RHEL) v 7.4 Operating System



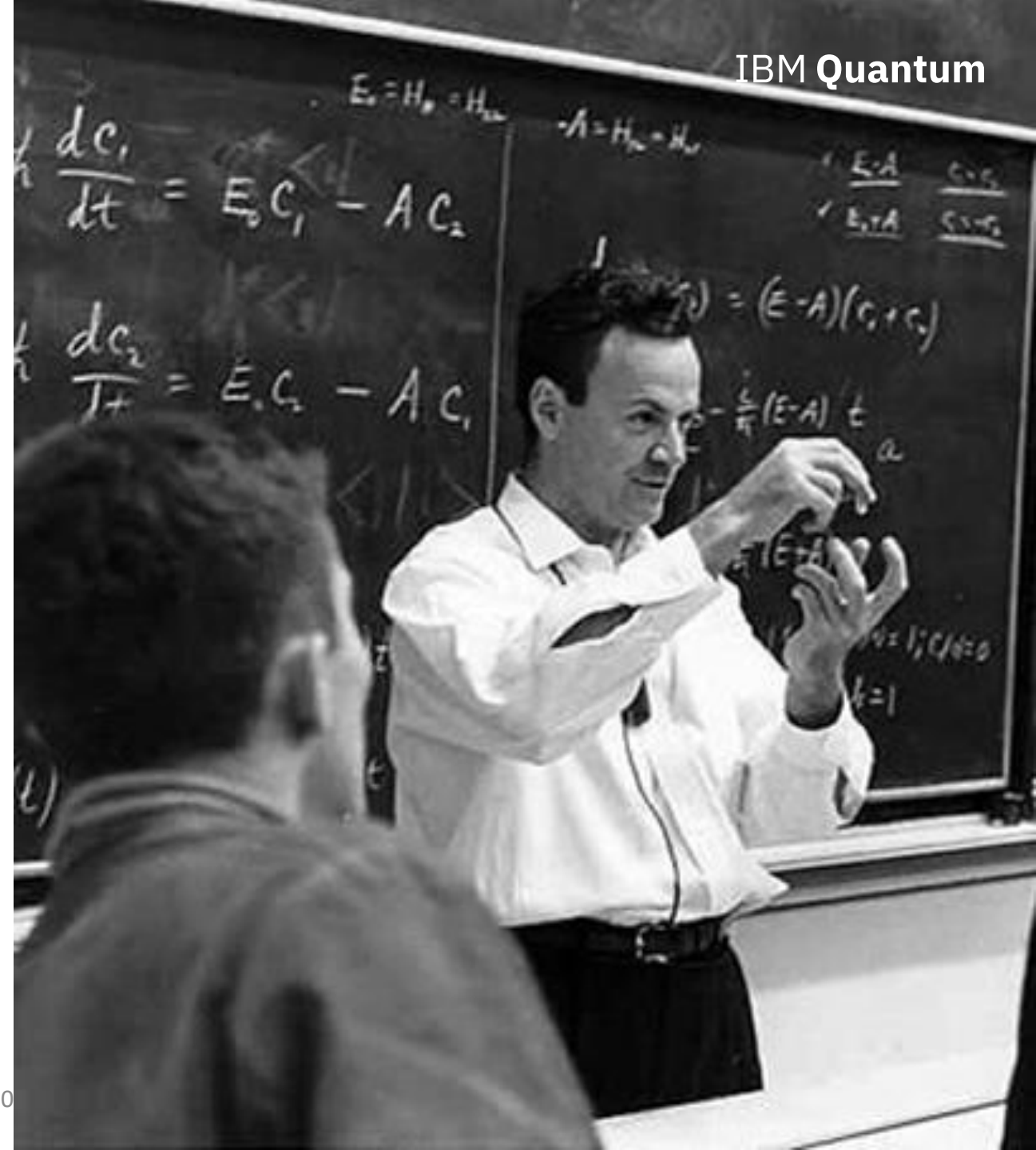
<https://www.ibm.com/thought-leadership/summit-supercomputer/>

- “Não estou feliz com todas as análises que acompanham apenas a teoria clássica, porque a natureza não é clássica, caramba, e se você quiser fazer uma simulação da natureza, é melhor torná-la mecânica quântica ...”

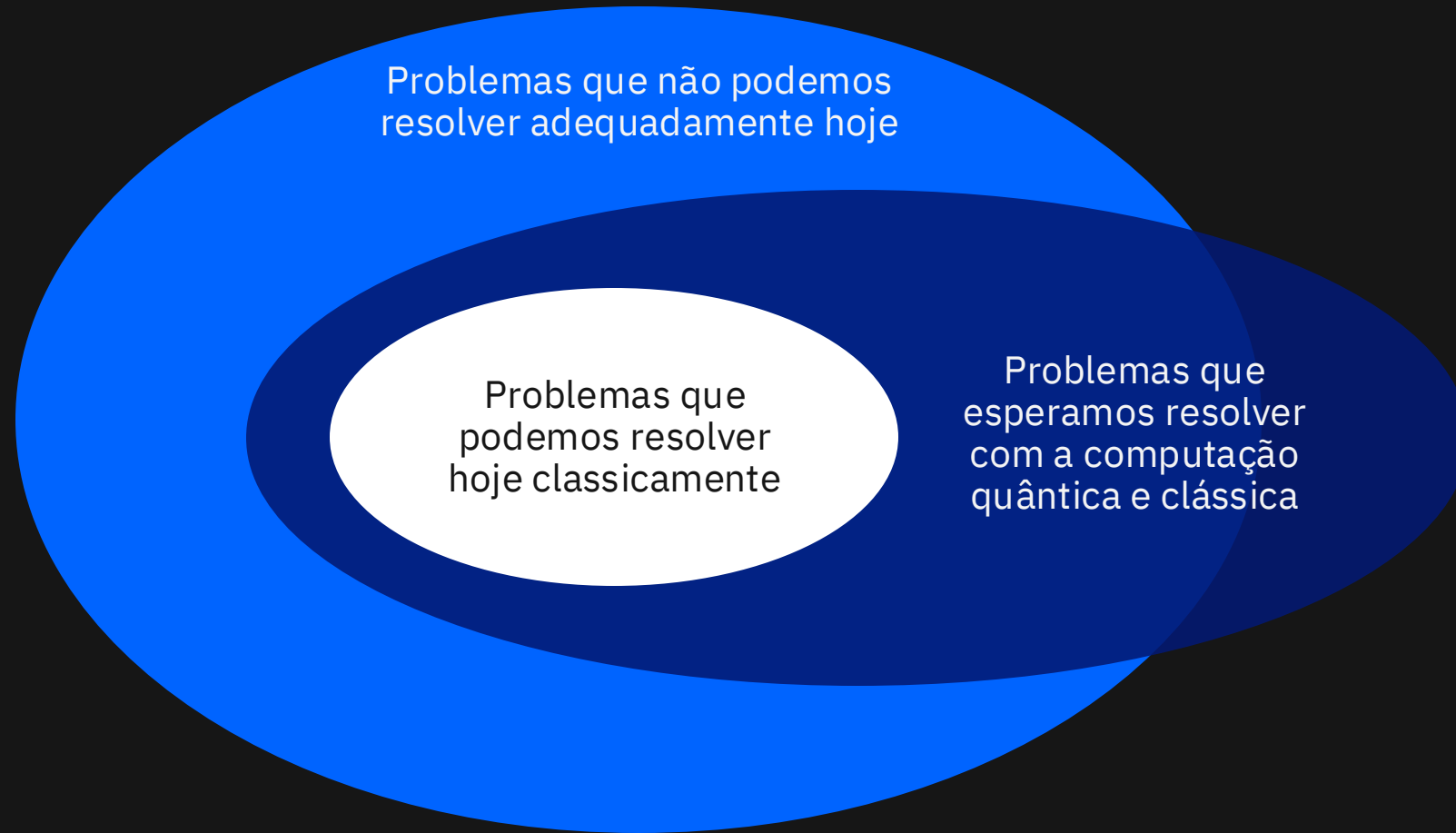
Richard P. Feynman
Department of Physics,
California Institute of Technology

International Journal of Theoretical
Physics,
Vol 21, Nos. 6/7, 1982

IBM Quantum



Por que quantum?



Apesar da sofisticação que a computação "clássica" se tornou, existem muitos problemas científicos e de negócios para os quais mal arranhamos a superfície.

Experimentos da física

<https://www.linkedin.com/pulse/quantumania-e-os-computadores-qu%C3%A2nticos-glaucorreis/>

<https://www.linkedin.com/pulse/o-computador-qu%C3%A2ntico-e-agu%C3%A1tico-glaucorreis/>

<https://www.linkedin.com/pulse/do-bin%C3%A1rio-ao-qu%C3%A2ntico-e-m%C3%BAltiplasm%C3%A3os-de-lucy-glaucorreis/>

<https://www.linkedin.com/pulse/matem%C3%A1tica-do-pel%C3%A9-e-quantum-computing-glaucorreis/>

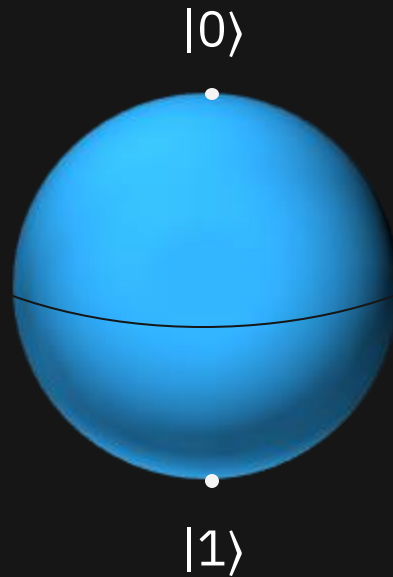
<https://www.linkedin.com/pulse/o-curioso-caso-de-benjamin-hadamard-button-e-qbit-glaucorreis/>

<https://www.linkedin.com/pulse/uma-guitarra-qu%C3%A2ntica-e-m%C3%BAsica-do-futuro-glaucorreis/>

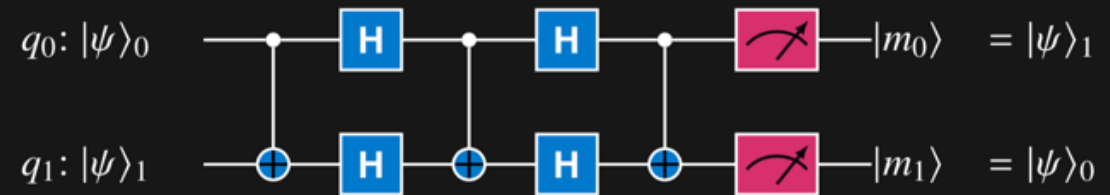
<https://www.linkedin.com/pulse/como-pode-algo-estar-em-dois-lugares-ao-mesmo-tempo-glaucorreis/>

<https://www.linkedin.com/pulse/retrospectiva-2021-glaucorreis/>

Bits quânticos (qubits) e circuitos quânticos

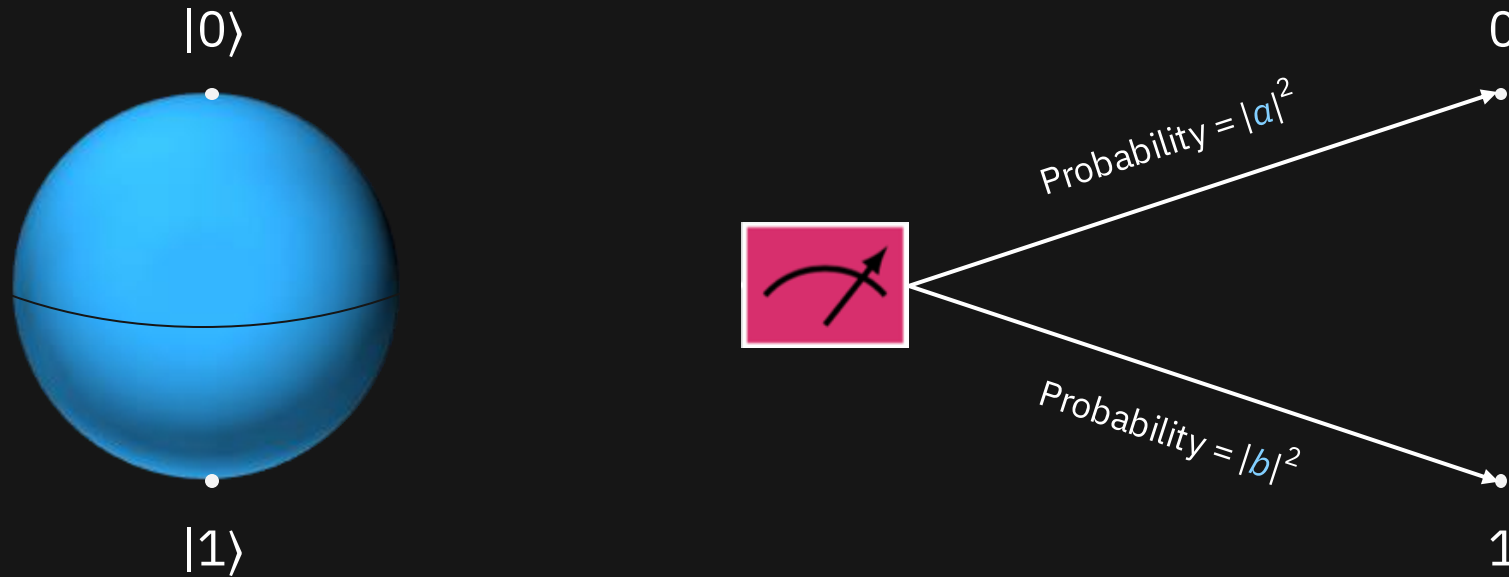


Um bit quântico ou qubit é um objeto quântico controlável que é a unidade de informação



Um circuito quântico é um conjunto de operações de porta quântica em qubits e é a unidade de computação

Bits e qubits

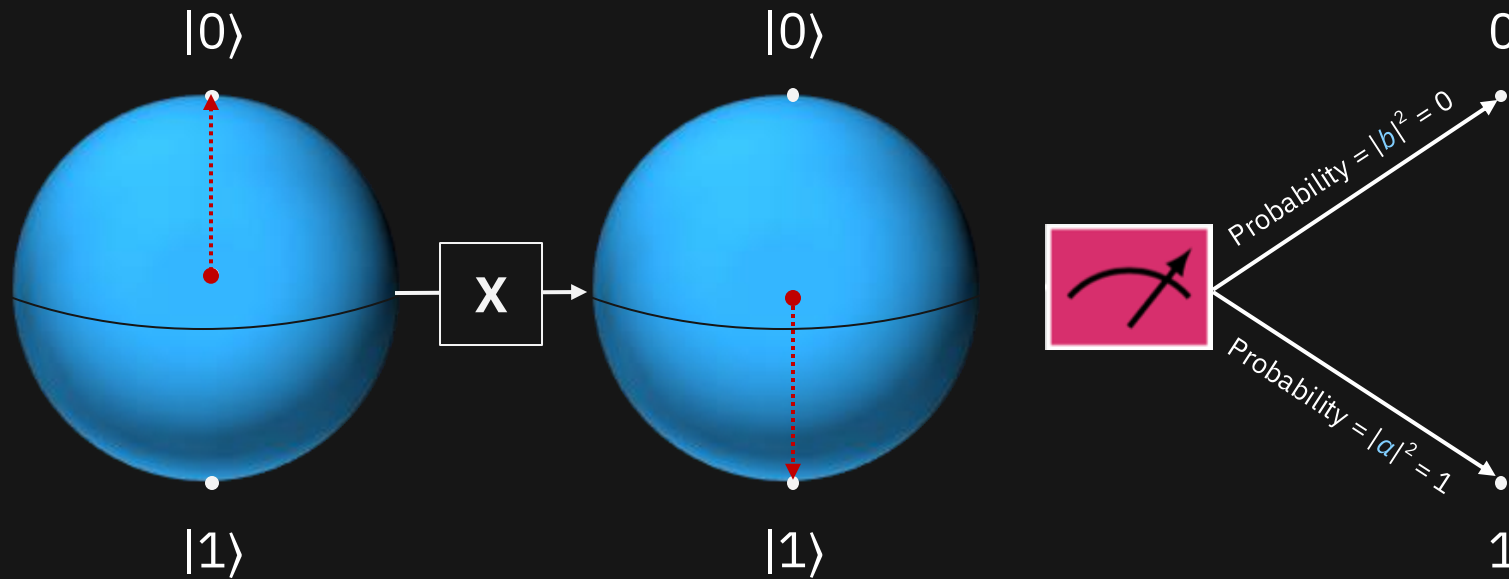


O estado de um qubit é uma combinação de $|0\rangle$ e $|1\rangle$:
 $a|0\rangle + b|1\rangle$

Isso significa que um único qubit contém duas informações.

Quando medimos um qubit, ele se torna 0 ou 1 com base na probabilidade.

Bits e qubits: o efeito da porta X em $|0\rangle$



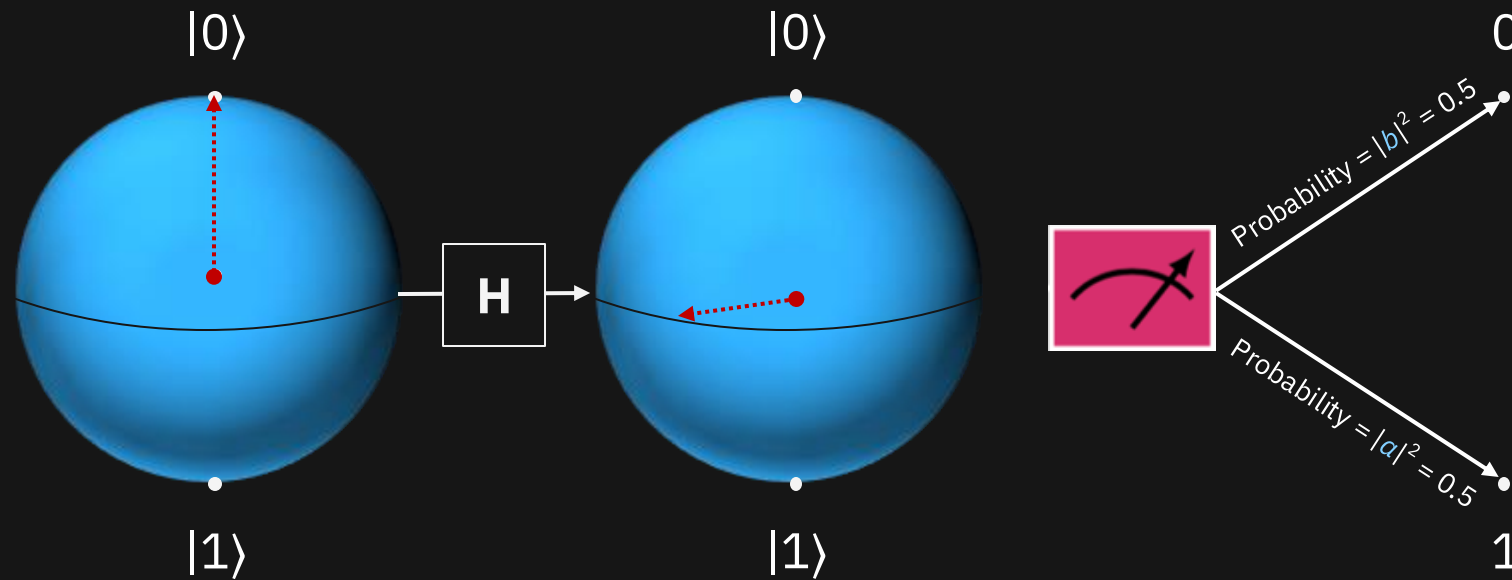
The **X** gate reverses $|0\rangle$ and $|1\rangle$:

$$a |0\rangle + b |1\rangle \mapsto b |0\rangle + a |1\rangle$$

$a = 1$ and $b = 0$, so $|0\rangle$ is mapped to $|1\rangle$.

Quando medido, o resultado é 1 com 100% de probabilidade.

Bits e qubits: o efeito da porta H em $|0\rangle$



The **H** gate maps $|0\rangle$ via

$$|0\rangle \mapsto \frac{1}{\sqrt{2}} |0\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}} |1\rangle = a |0\rangle + b |1\rangle$$

Since $a = b = 1/\sqrt{2}$, $|a|^2 = |b|^2 = 1/2$.

Quando medida, a probabilidade de obter 0 ou 1 é a mesma, 0,5.

Aleatoriedade quântica!

A computação quântica usa ideias essenciais da mecânica quântica

Superposição

A superposição está criando um estado quântico que é uma combinação de $|0\rangle$ e $|1\rangle$
 $a|0\rangle + b|1\rangle$

onde

a e b são números complexos

$$|a|^2 + |b|^2 = 1$$

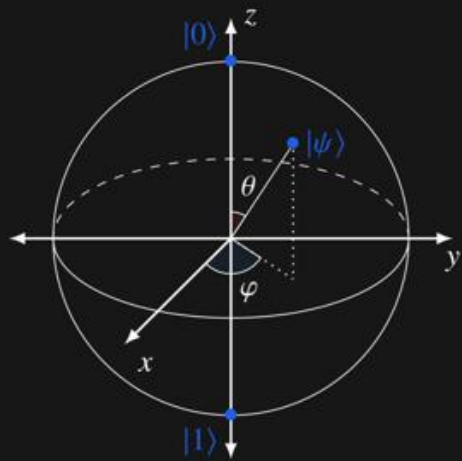
Dois estados quânticos são equivalentes se diferirem apenas por um múltiplo constante u onde $|u| = 1$.

Isso ocorre porque

$$|a|^2 + |b|^2 = |au|^2 + |bu|^2 = 1$$

A computação quântica usa ideias essenciais da mecânica quântica

Superposição



A superposição está criando um estado quântico que é uma combinação de $|0\rangle$ e $|1\rangle$

$$a |0\rangle + b |1\rangle$$

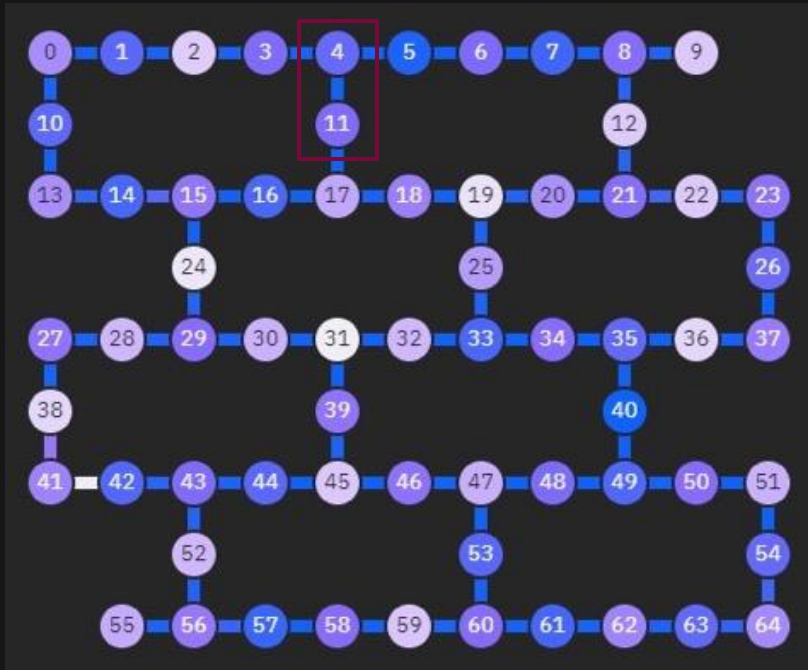
Essas condições nos permitem mapear o qubit na Esfera de Bloch.

Observe que, se a e b forem diferentes de zero, o estado do qubit conterá $|0\rangle$ e $|1\rangle$.

Isso é o que as pessoas querem dizer quando dizem que um qubit pode ser "0 e 1 ao mesmo tempo".

A computação quântica usa ideias essenciais da mecânica quântica

Emaranhamento



Com dois qubits, obtemos combinações como

$$a |00\rangle + b |01\rangle + c |10\rangle + d |11\rangle$$

onde

$|01\rangle$ significa que o primeiro qubit é $|0\rangle$ e o segundo é $|1\rangle$

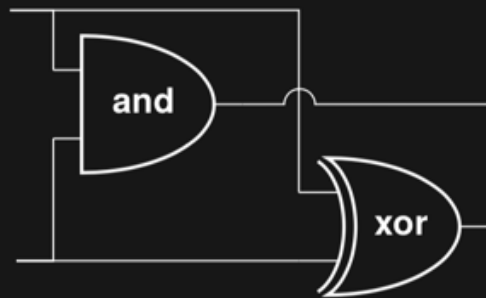
a , b , c e d são números complexos e

$$|a|^2 + |b|^2 + |c|^2 + |d|^2 = 1$$

Se dois ou mais dos a , b , c e d forem diferentes de zero e não pudermos separar os qubits, eles estarão emaranhados com correlação perfeita e não serão mais independentes.

A computação quântica usa ideias essenciais da mecânica quântica

Portas / operações



Os circuitos lógicos clássicos usam operações como e, ou, não, nand e xor. Também chamamos esses portões.

Os circuitos quânticos usam portas reversíveis que alteram os estados quânticos de um, dois ou mais qubits.

$$q_0: |0\rangle \xrightarrow{\text{H}} \text{[Measurement]} |m_0\rangle = |0\rangle \text{ or } |1\rangle$$

$$q_1: |0\rangle \xrightarrow{\text{H}} \text{[Measurement]} \xrightarrow{\text{H}} \text{[Measurement]} |m_1\rangle = |0\rangle \text{ or } |1\rangle$$

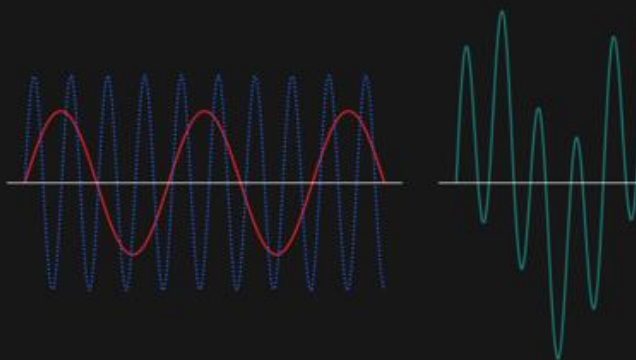
$$q_2: |0\rangle \xrightarrow{\text{H}} \xrightarrow{\text{H}} \text{[Measurement]} |m_2\rangle = |0\rangle$$

$$q_0: |\psi\rangle_0 \xrightarrow{\text{CNOT}} \xrightarrow{\text{H}} \xrightarrow{\text{CNOT}} \text{[Measurement]} |m_0\rangle = |\psi\rangle_1$$

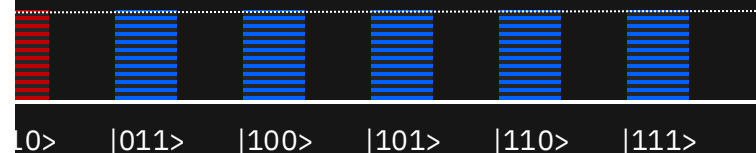
$$q_1: |\psi\rangle_1 \xrightarrow{\text{CNOT}} \xrightarrow{\text{H}} \xrightarrow{\text{CNOT}} \text{[Measurement]} |m_1\rangle = |\psi\rangle_0$$

A computação quântica usa ideias essenciais da mecânica quântica

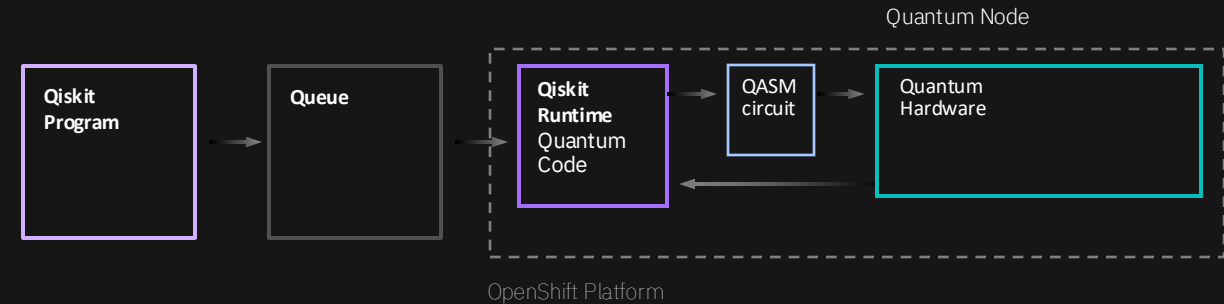
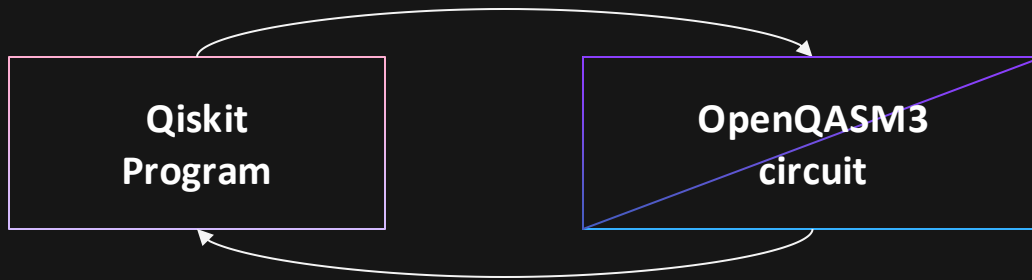
Interferência



A interferência nos permite aumentar a probabilidade de obter a resposta certa e diminuir a chance de obter a resposta



Qiskit Runtime

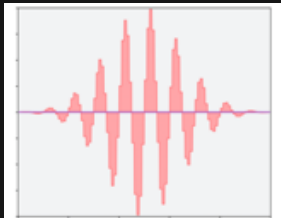
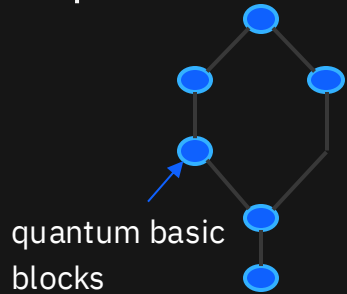


A high-performance system also requires **low-latency interaction to generic classical compute.**

OpenQASM3

Uma linguagem para expressar circuitos dinâmicos

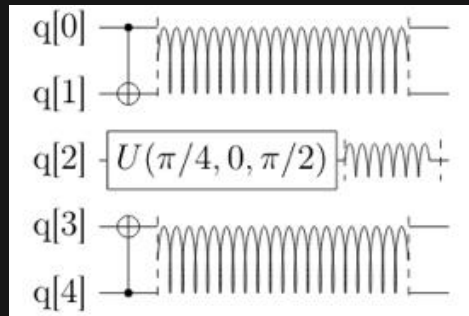
Fluxo de controle clássico, instruções e tipos de dados



Relações de tempo inspiradas no TeX

For example,

Boxes and glues in TeX



Boxes and stretches in OpenQASM3

OPENQASM 3.0;

```
qubit q;           // phase estimation qubit
qubit r;           // target qubit for the controlled-unitary gate
angle[16] c;       // phase estimation bits
```

// prepare uniform superposition of eigenvectors of phase

h r;

// iterative phase estimation loop

```
for i in [1:n] {
    reset q;
    h q;
    ctrl @ pow[2 ** i] @ U q, r;
    inv @ phase(c) q;
    h q;
    measure q -> c[0];

    // next iteration acts on the next bit
    c <<= 1;
}
```

<https://qiskit.github.io/openqasm/>



2019
Falcon
27 Qubits



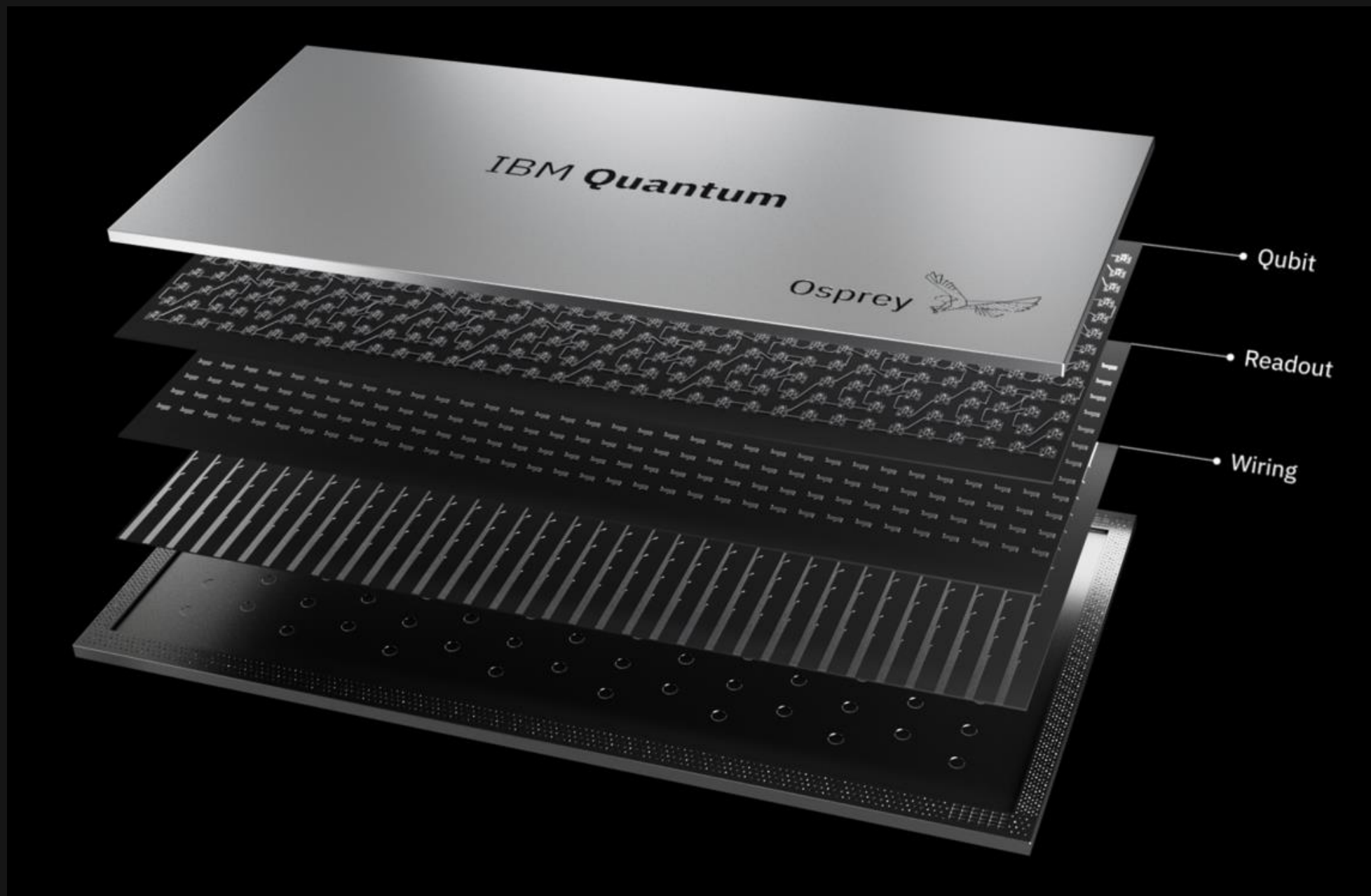
2020
Hummingbird
65 Qubits



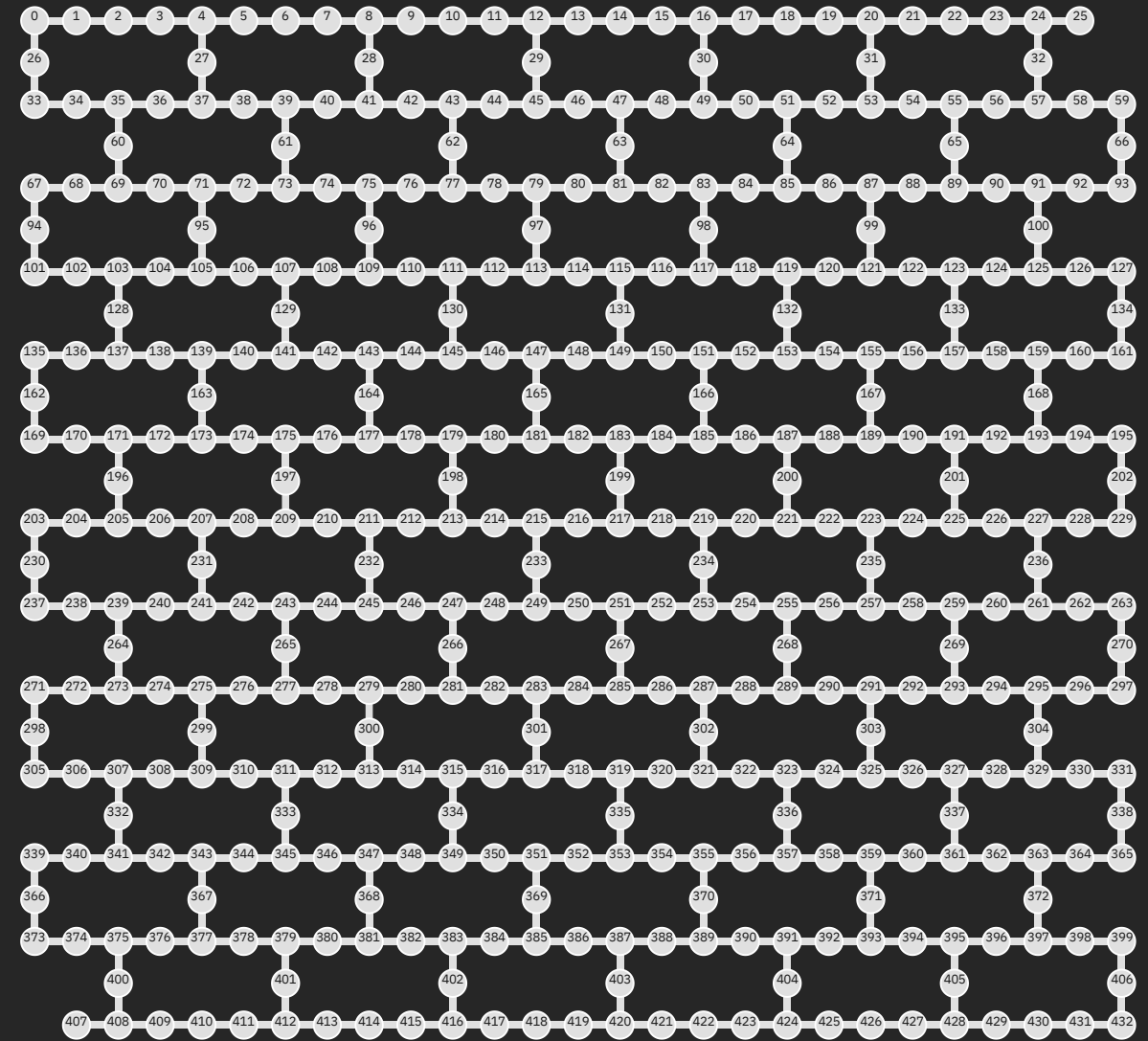
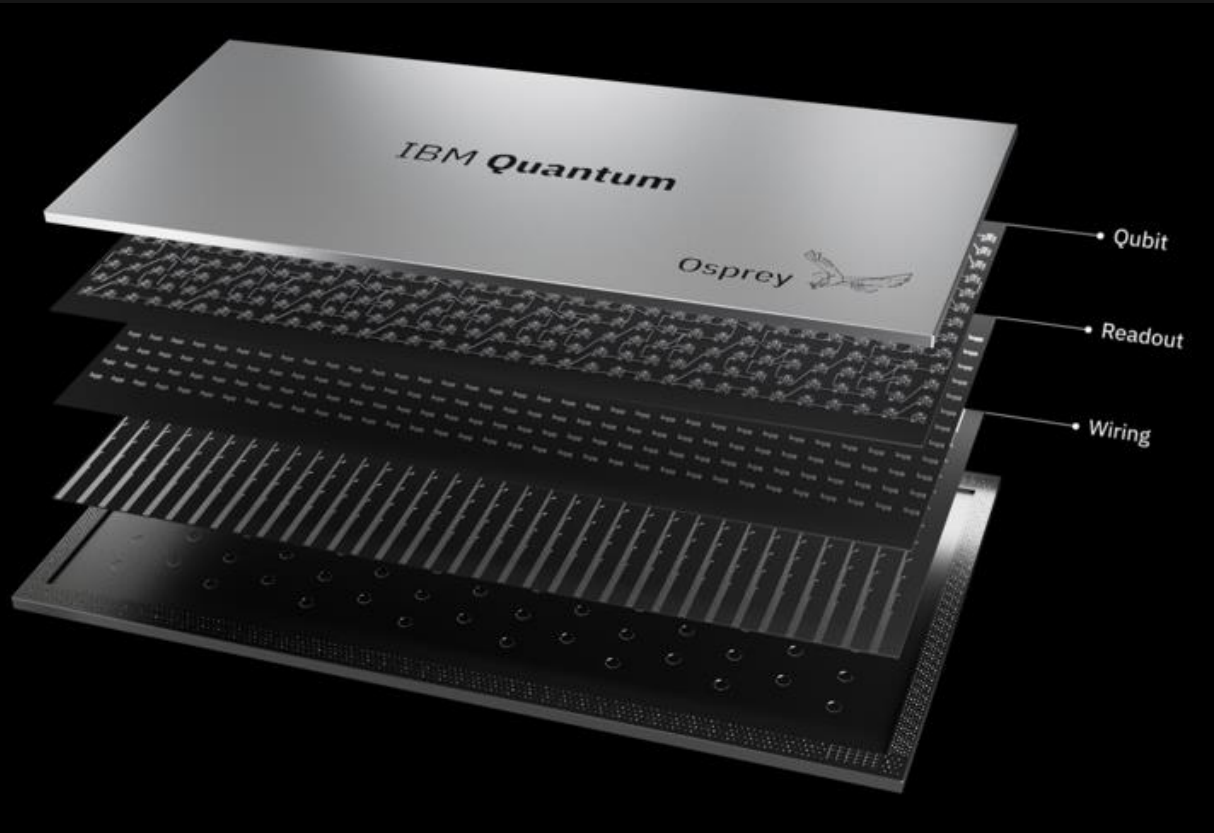
2021
Eagle
127 Qubits



2022
Osprey
433 Qubits



Osprey – 433 Qubits



Osprey connectivity map

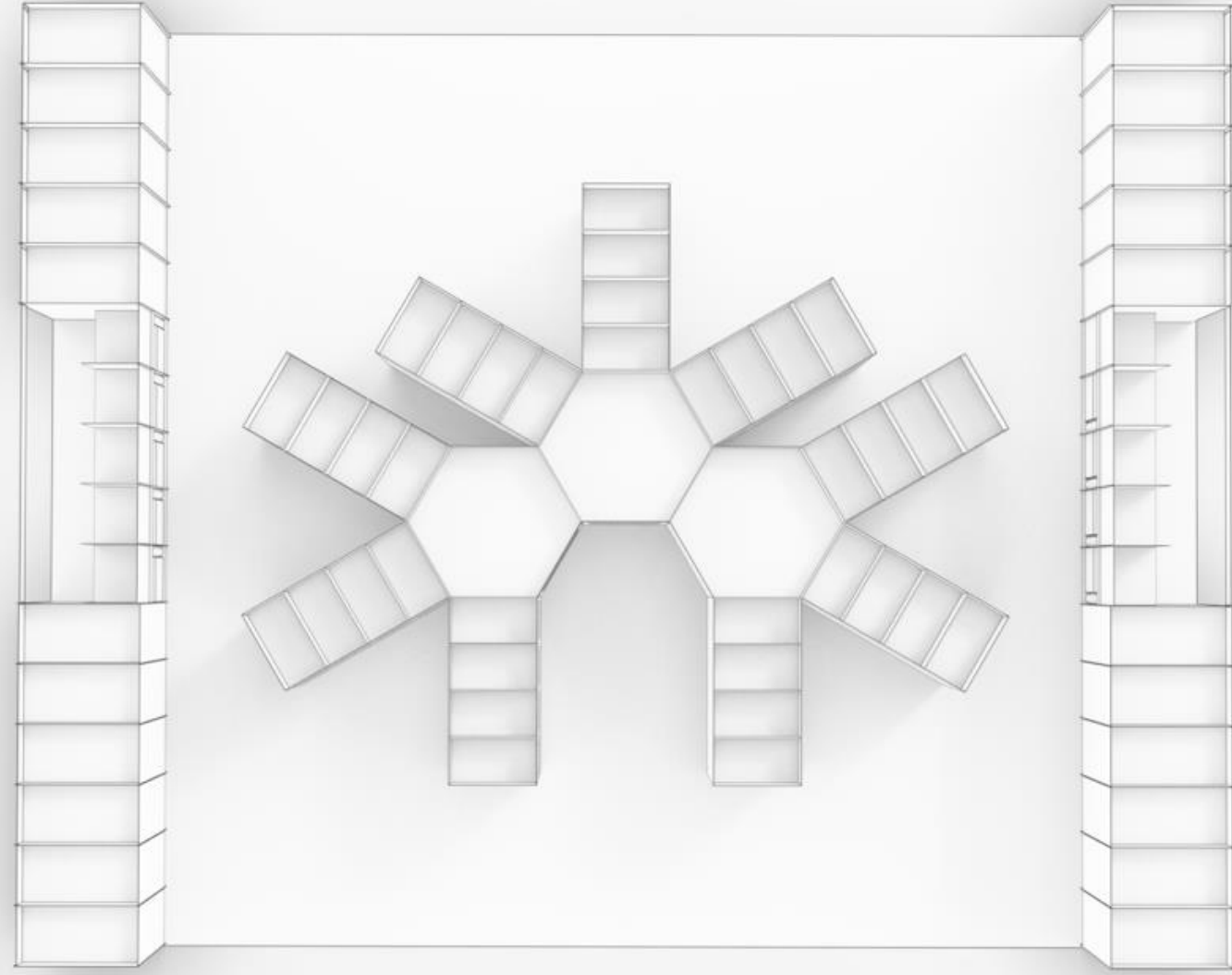
Cryogenic Platform KIDE

Rethink user access

Multiple and dedicated cooling units

Expandable into clusters





Development and Innovation Roadmap

	2016–2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2033+
	Run quantum circuits on the IBM Quantum Platform	Release multi-dimensional roadmap publicly with initial aim focused on scaling	Enhancing quantum execution speed by 100x with Qiskit Runtime	Bring dynamic circuits to unlock more computations	Enhancing quantum execution speed by 5x with quantum serverless and Execution modes	Improving quantum circuit quality and speed to allow 5K gates with parametric circuits	Enhancing quantum execution speed and parallelization with partitioning and quantum modularity	Improving quantum circuit quality to allow 7.5K gates	Improving quantum circuit quality to allow 10K gates	Improving quantum circuit quality to allow 15K gates	Improving quantum circuit quality to allow 100M gates	Beyond 2033, quantum-centric supercomputers will include 1000's of logical qubits unlocking the full power of quantum computing
Data Scientist						Platform	Code assistant	Functions	Mapping Collection	Specific Libraries		General purpose QC libraries
Researchers						Middleware						
Quantum Physicist						Quantum Serverless	Transpiler Service	Resource Management	Circuit Knitting x P	Intelligent Orchestration		Circuit libraries
	IBM Quantum Experience		QASM3	Dynamic circuits	Execution Modes	Heron (5K) Error Mitigation 5k gates 133 qubits Classical modular 133x3 = 399 qubits	Flamingo (5K) Error Mitigation 5k gates 156 qubits Quantum modular 156x7 = 1092 qubits	Flamingo (7.5K) Error Mitigation 7.5k gates 156 qubits Quantum modular 156x7 = 1092 qubits	Flamingo (10K) Error Mitigation 10k gates 156 qubits Quantum modular 156x7 = 1092 qubits	Flamingo (15K) Error Mitigation 15k gates 156 qubits Quantum modular 156x7 = 1092 qubits	Starling (100M) Error correction 100M gates 200 qubits Error corrected modularity	Blue Jay (1B) Error correction 1B gates 2000 qubits Error corrected modularity
	Early Canary 5 qubits Albatross 16 qubits Penguin 20 qubits Prototype 53 qubits	Falcon Benchmarking 27 qubits	Eagle Benchmarking 127 qubits									

Innovation Roadmap

Software Innovation	IBM Quantum Experience	Qiskit Circuit and operator API with compilation to multiple targets	Application modules Modules for domain specific application and algorithm workflows	Qiskit Runtime Performance and abstract through Primitives	Serverless Demonstrate concepts of quantum centric-supercomputing	AI enhanced quantum Prototype demonstrations of AI enhanced circuit transpilation	Resource management System partitioning to enable parallel execution	Scalable circuit knitting Circuit partitioning with classical reconstruction at HPC scale	Error correction decoder Demonstration of a quantum system with real-time error correction decoder				
Hardware Innovation	Early Canary 5 qubits Penguin 20 qubits Albatross 16 qubits Prototype 53 qubits	Falcon Demonstrate scaling with I/O routing with Bump bonds 	Hummingbird Demonstrate scaling with multiplexing readout 	Eagle Demonstrate scaling with MLW and TSV 	Osprey Enabling scaling with high density signal delivery 	Condor Single system scaling and fridge capacity 	Flamingo Demonstrate scaling with modular connectors 	Kookaburra Demonstrate scaling with nonlocal c-coupler 	Cockatoo Demonstrate path to improved quality with logical memory 	Starling Demonstrate path to improved quality with logical gates 			
						Heron Architecture based on tunable-couplers 	Crossbill m-coupler 						

Executed by IBM

On target

IBM Quantum