

Armadilha de Íons

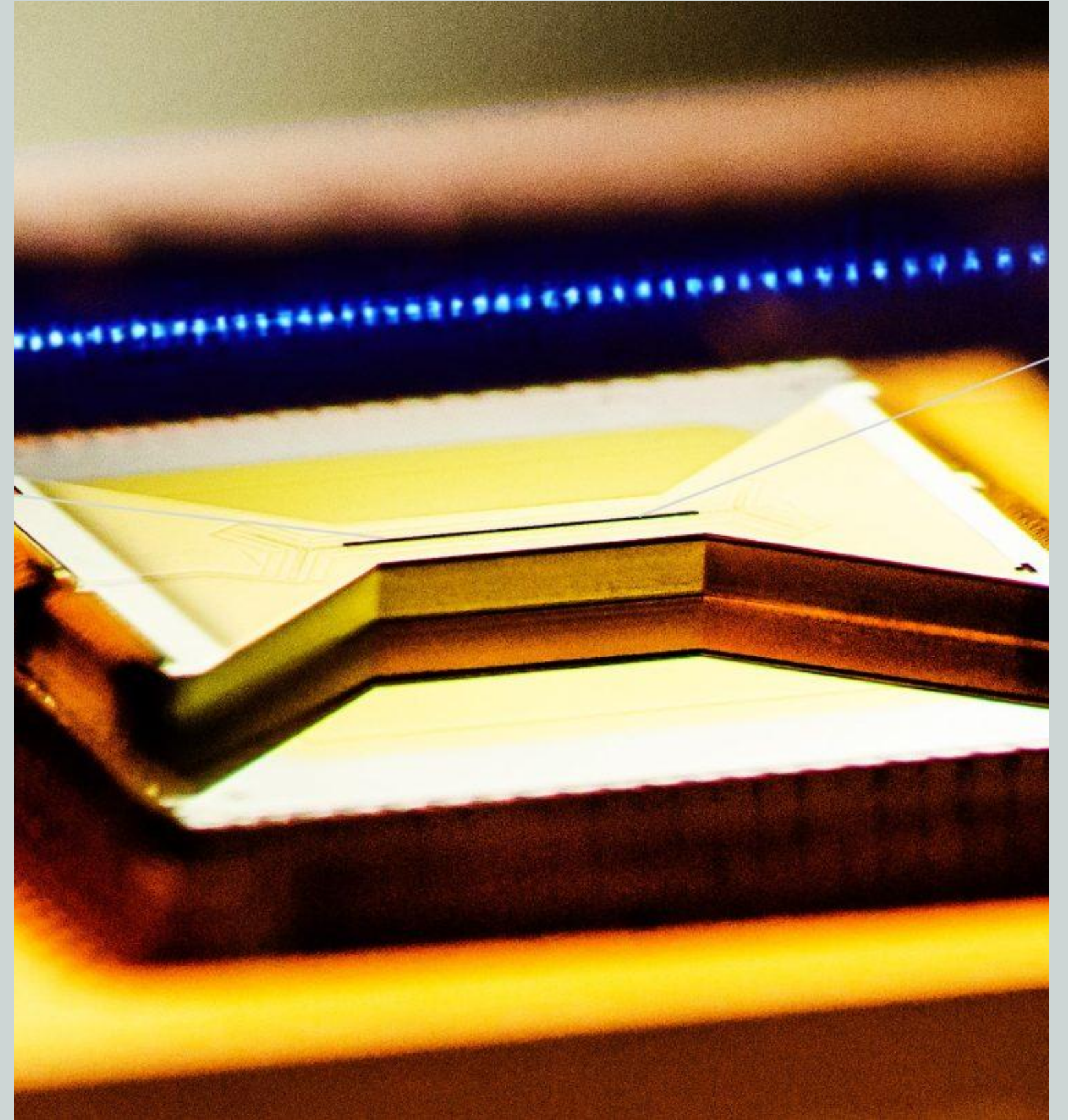
Grupo: Gustavo Carvalho

Leonardo Faustino

Jonas Santos

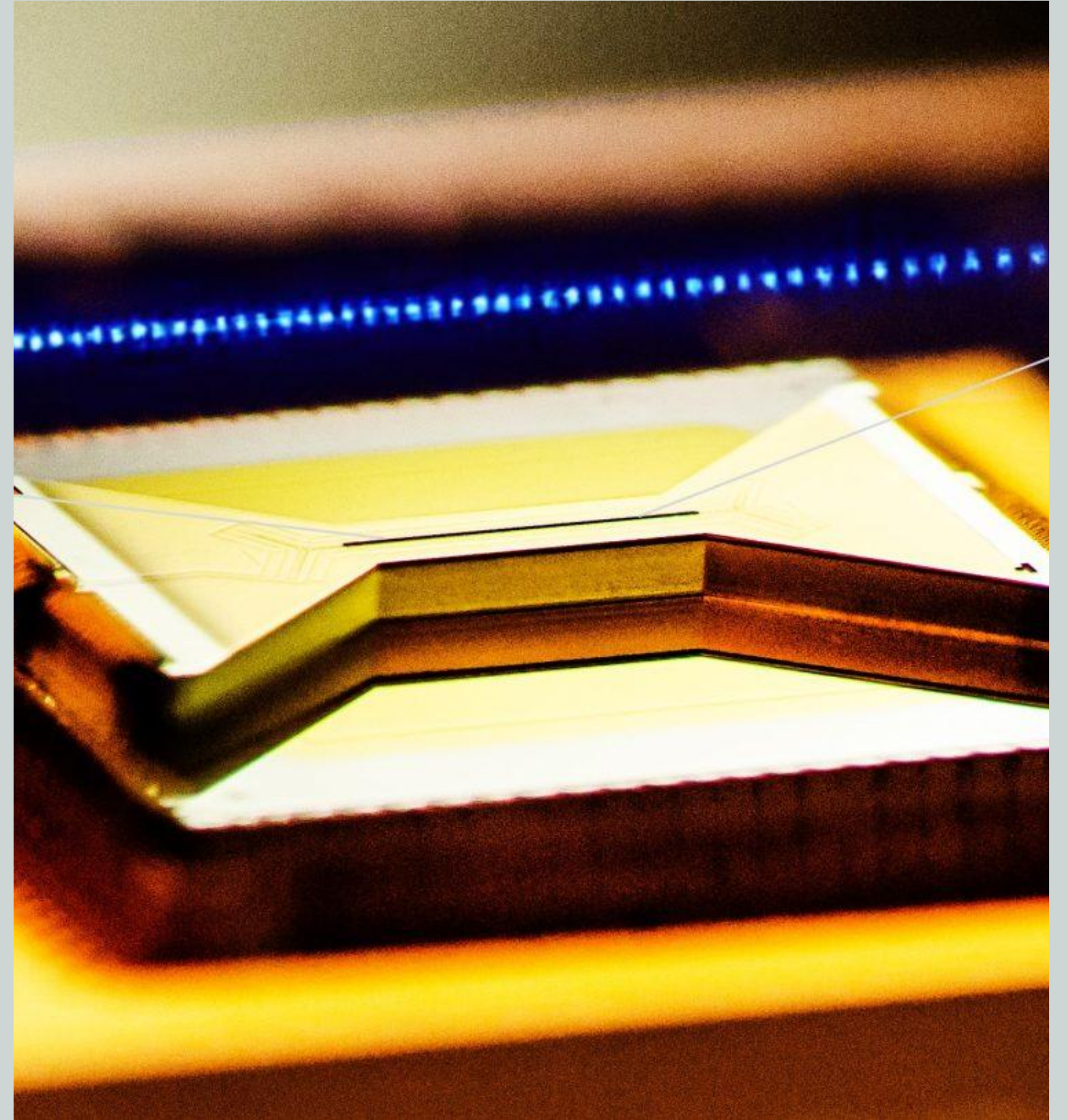
Armadilha de Íons (Ion's trap)

- O que é uma armadilha de Íons?



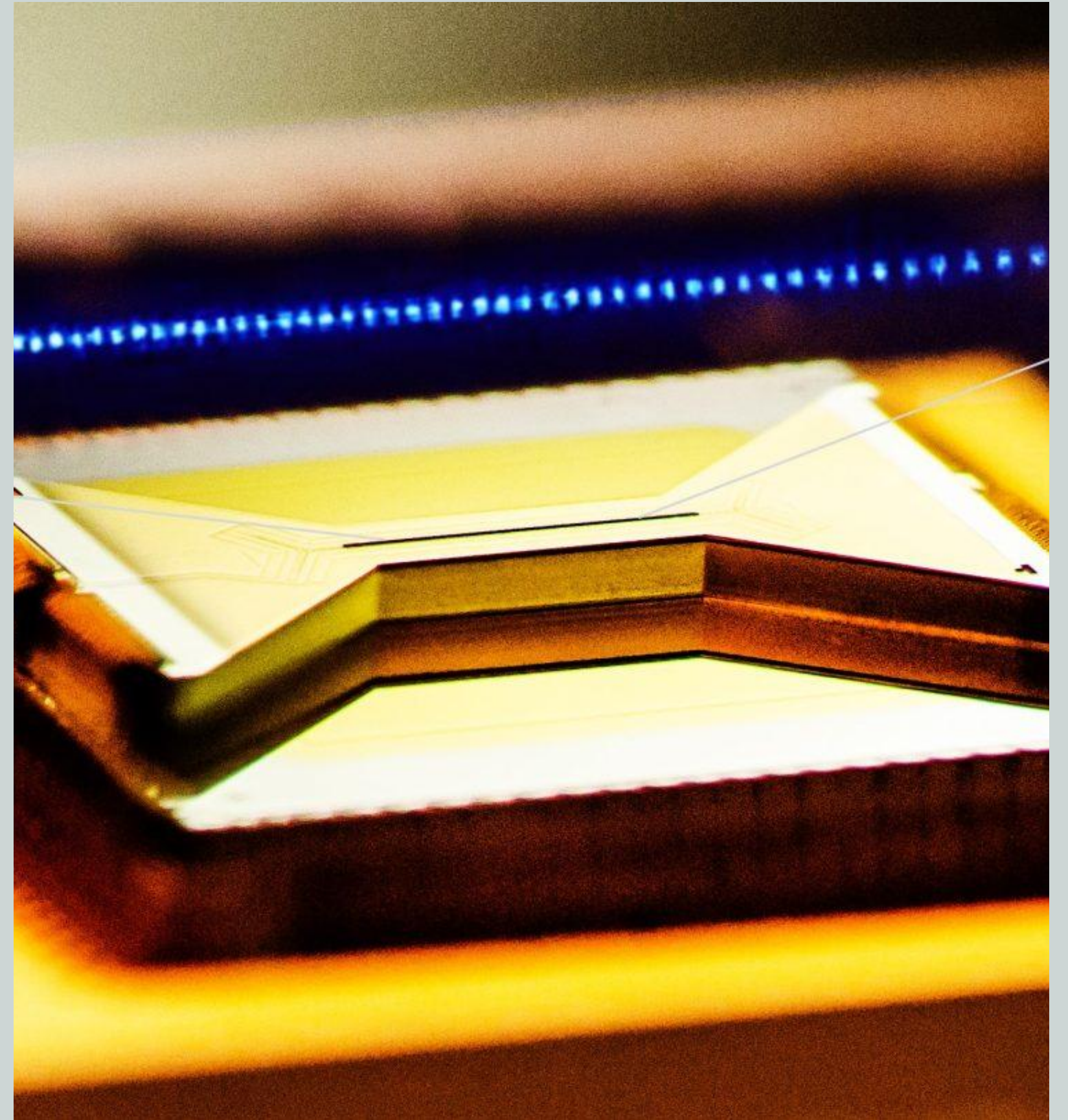
Armadilha de Íons (Ion's trap)

- O que é uma armadilha de Íons?
- Por que usar um Íon?



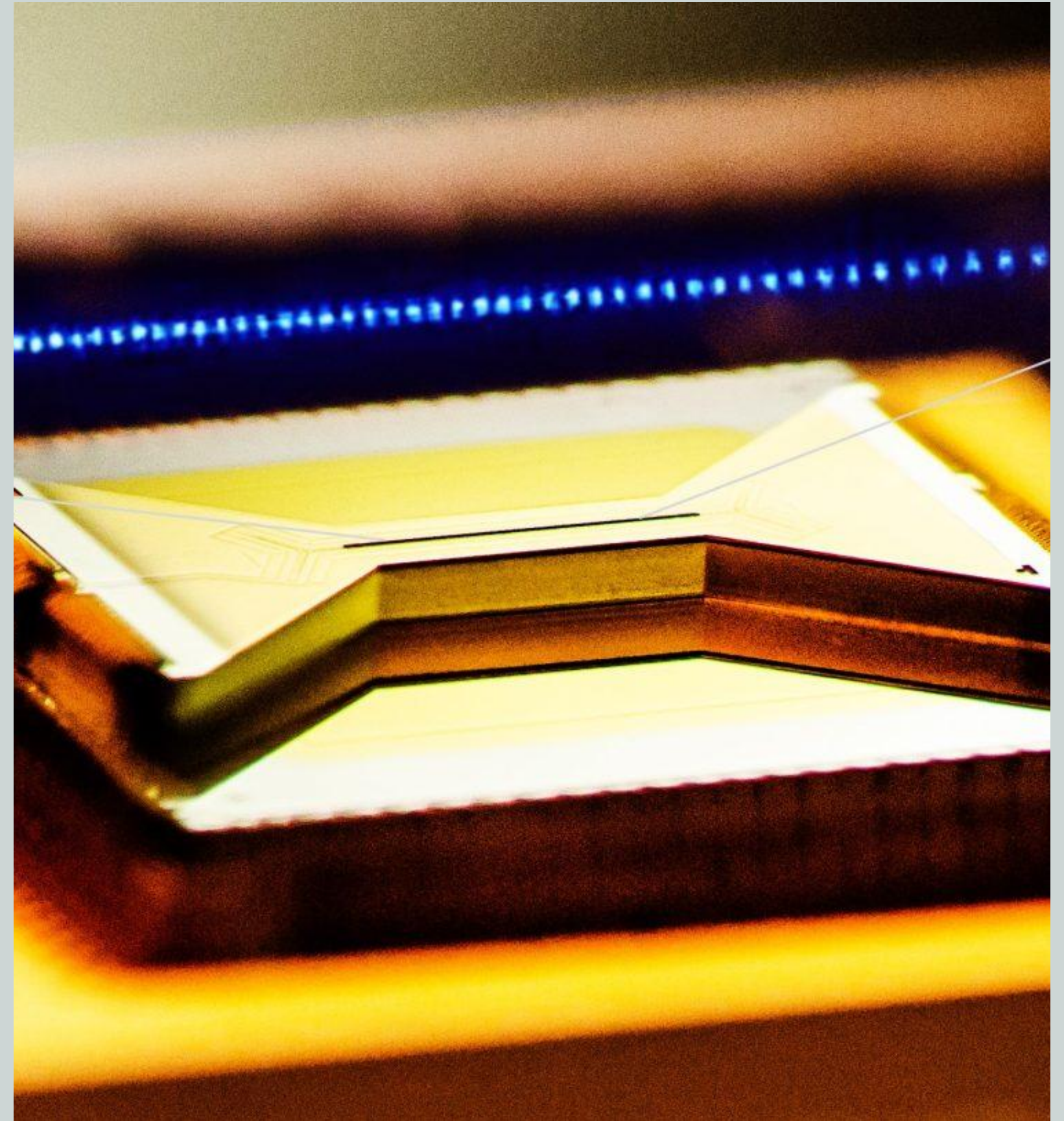
Armadilha de Íons (Ion's trap)

- O que é uma armadilha de Íons?
- Por que usar um Íon?
- Como o Íon se torna um qubit?



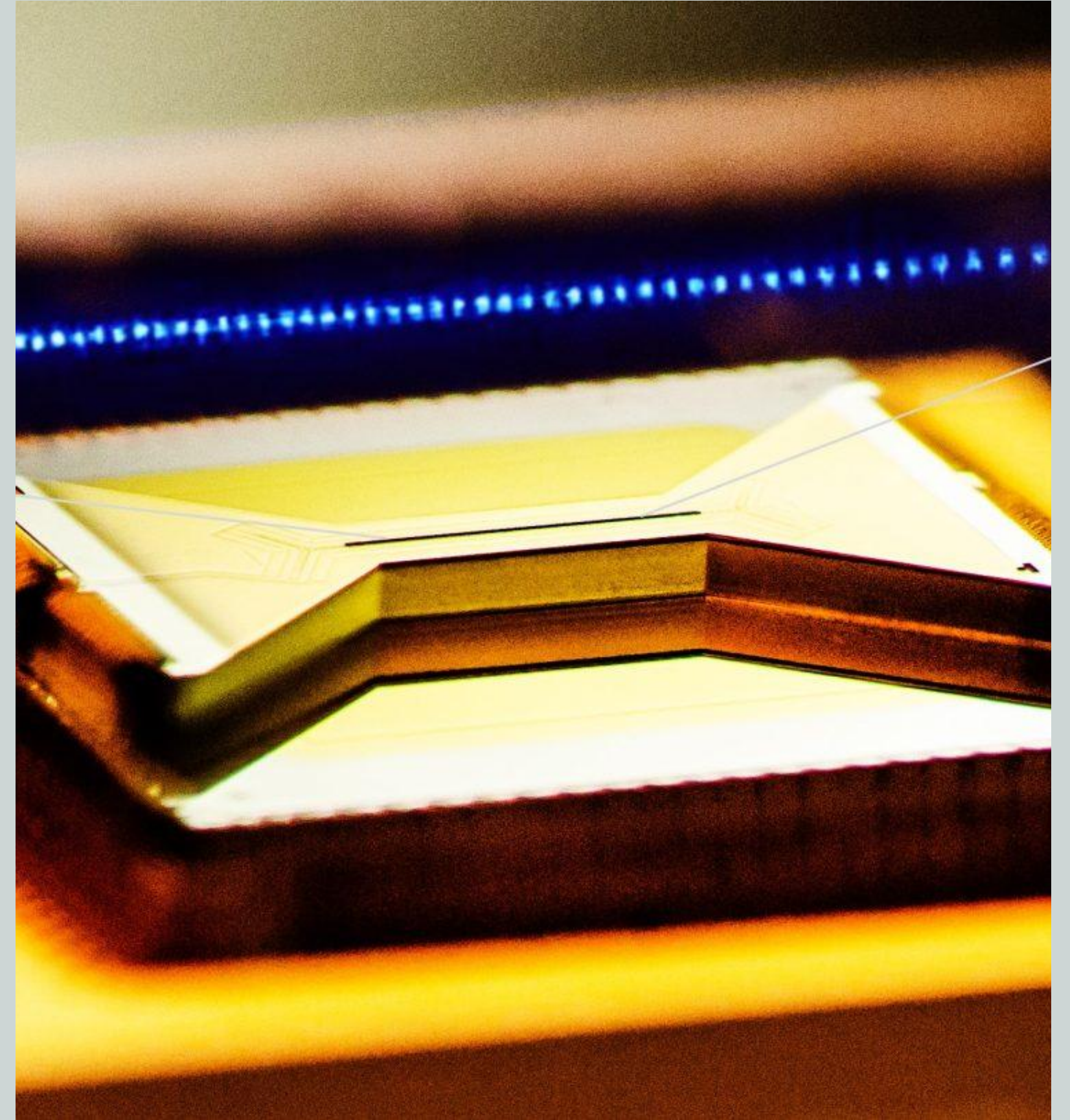
Armadilha de Íons (Ion's trap)

- O que é uma armadilha de Íons?
- Por que usar um Íon?
- Como o Íon se torna um qubit?
- Como controlamos o qubit?



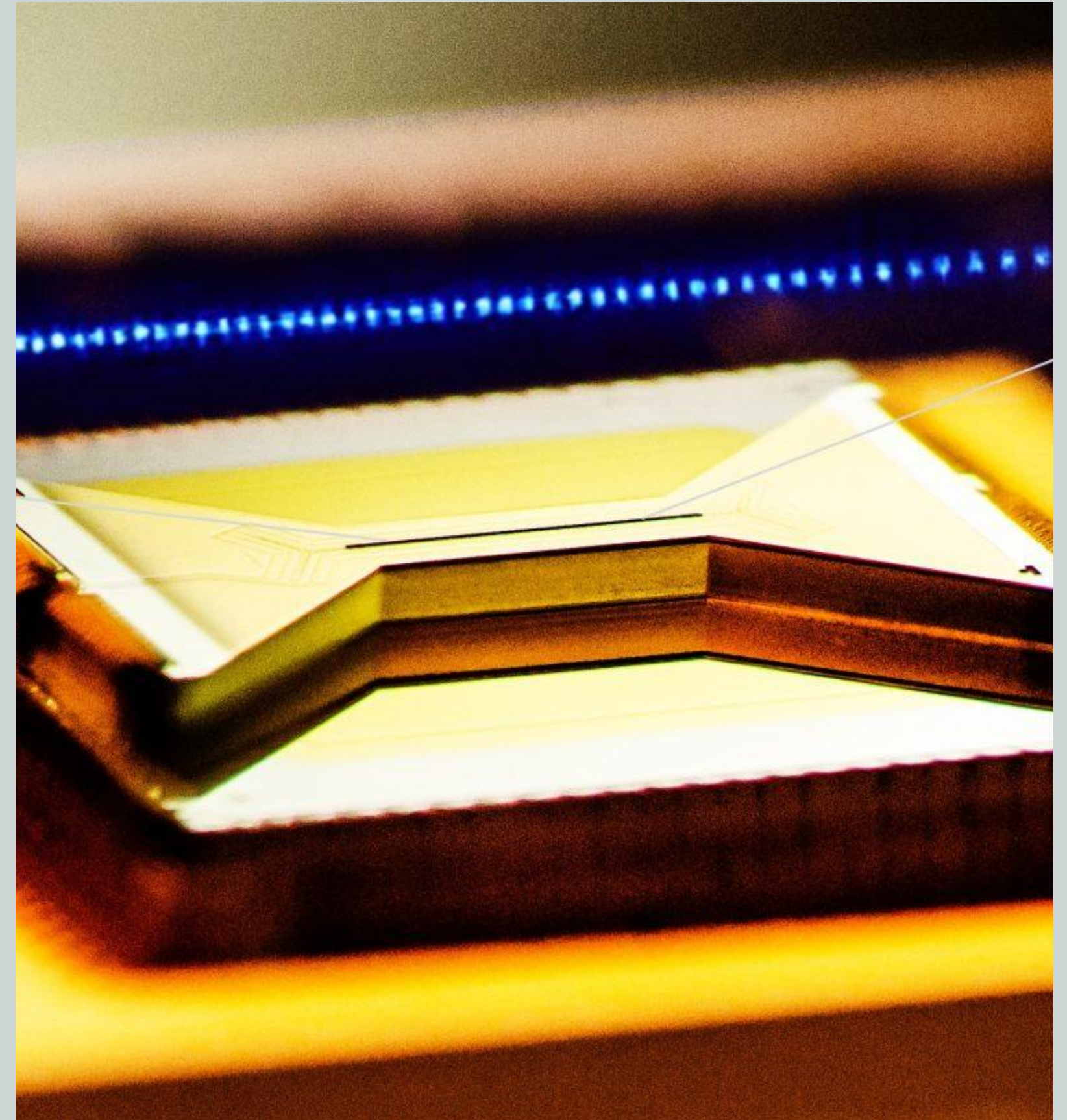
Armadilha de Íons (Ion's trap)

- O que é uma armadilha de Íons?
- Por que usar um Íon?
- Como o Íon se torna um qubit?
- Como controlamos o qubit?
- Quais as vantagens?



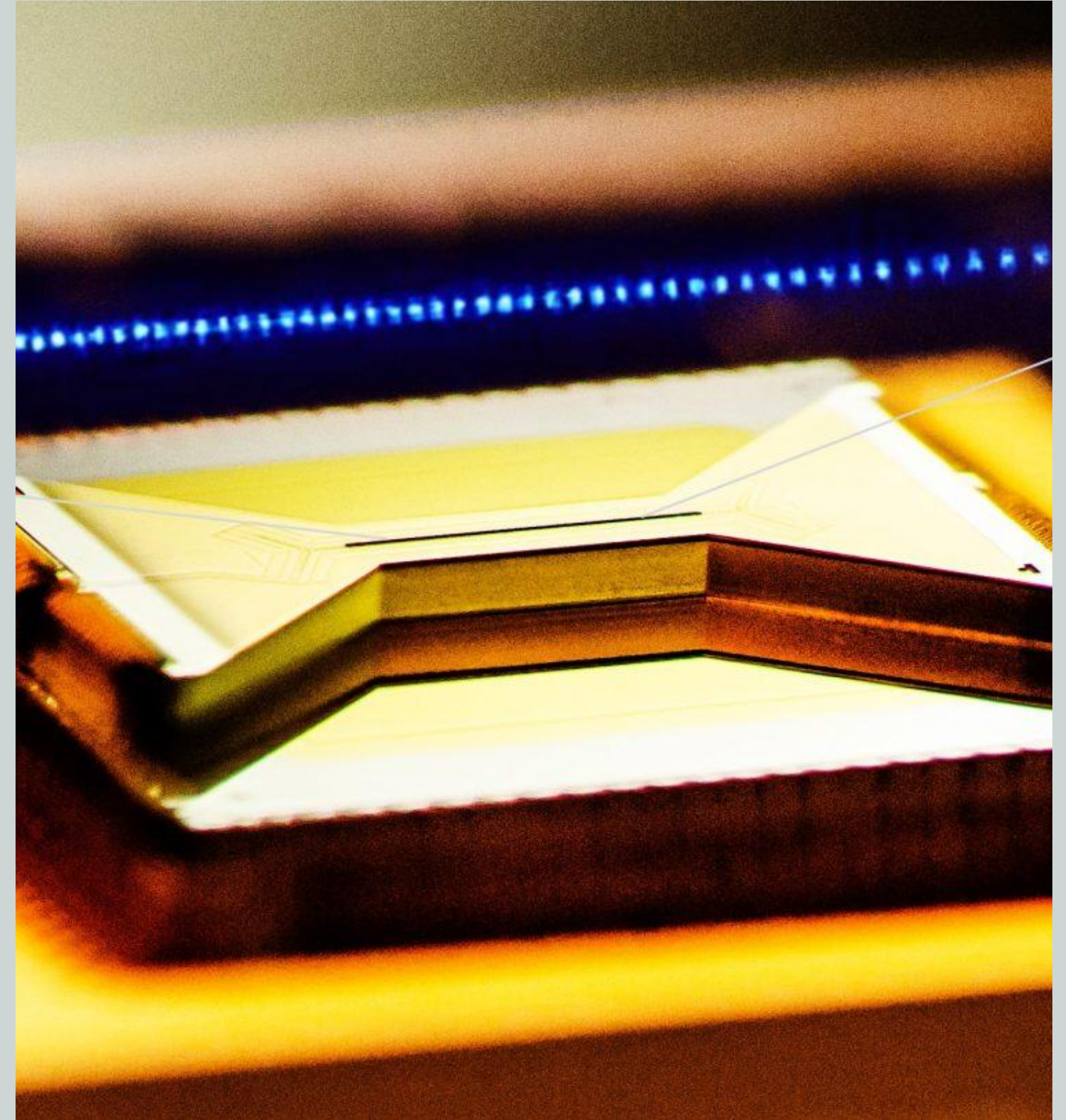
Armadilha de Íons (Ion's trap)

- O que é uma armadilha de Íons?
- Por que usar um Íon?
- Como o Íon se torna um qubit?
- Como controlamos o qubit?
- Quais as vantagens?
- Quais as desvantagens?



Armadilha de Íons (Ion's trap)

- O que é uma armadilha de Íons?
- Por que usar um Íon?
- Como o Íon se torna um qubit?
- Como controlamos o qubit?
- Quais as vantagens?
- Quais as desvantagens?
- Quais grupos lideram essa abordagem?



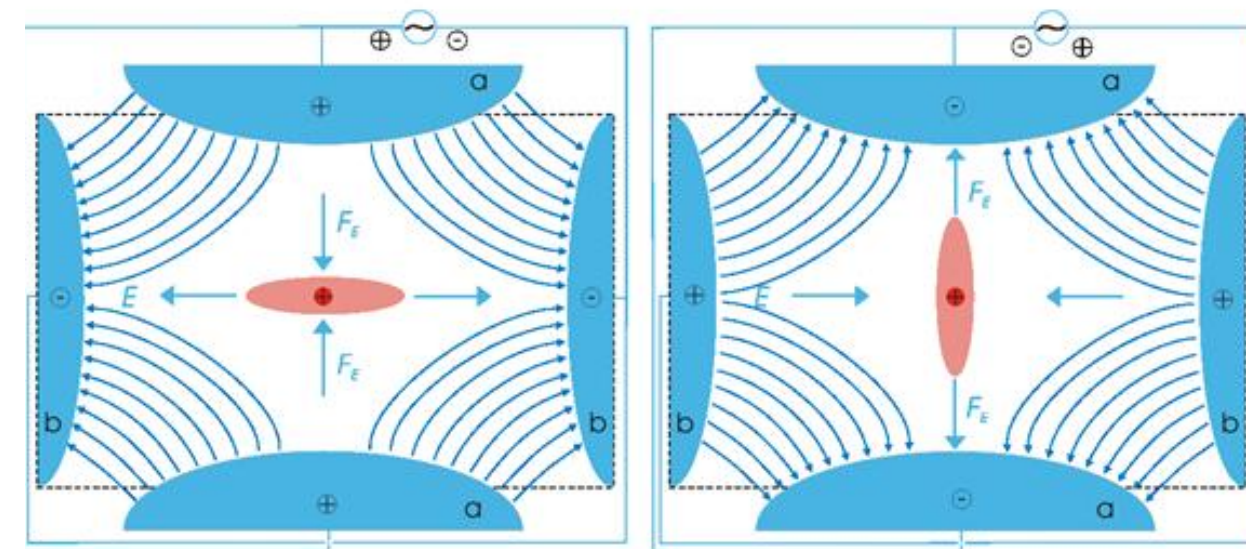
O que é uma armadilha de Íons?

O que é uma armadilha de Íons?



Campos elétricos e/ou magnéticos

Usados para confinar partículas carregadas (Íons) no espaço

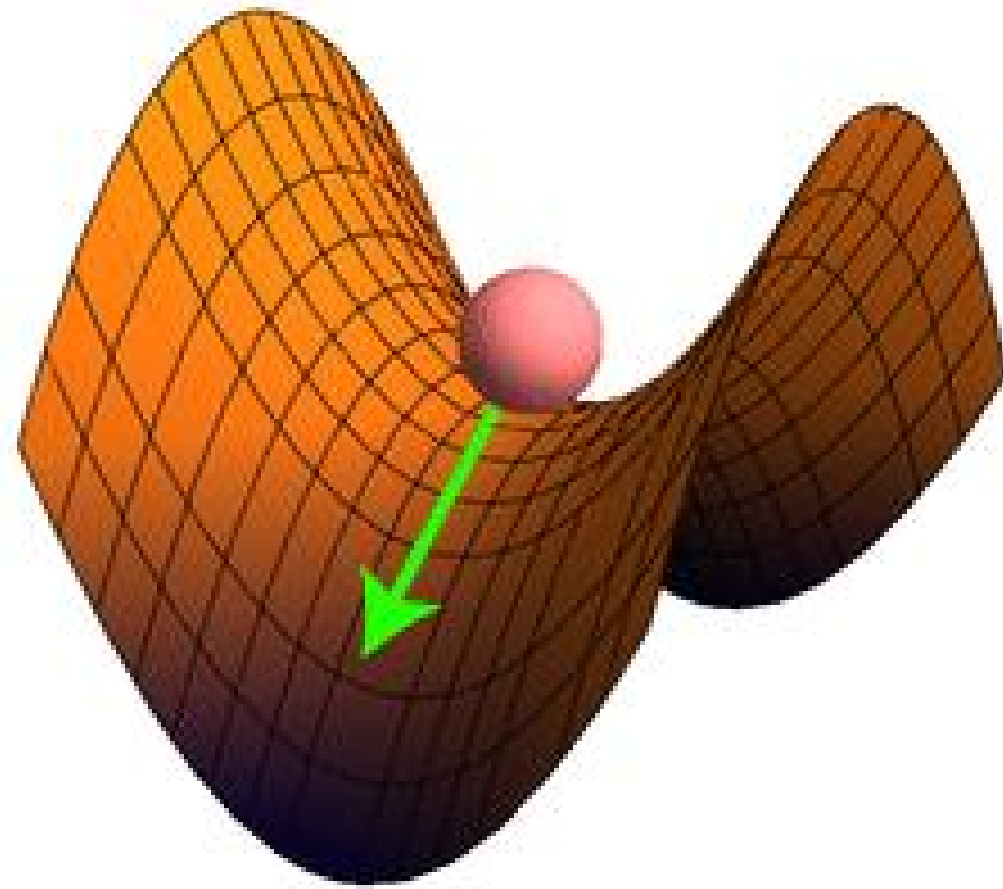


Armadilha de Paul

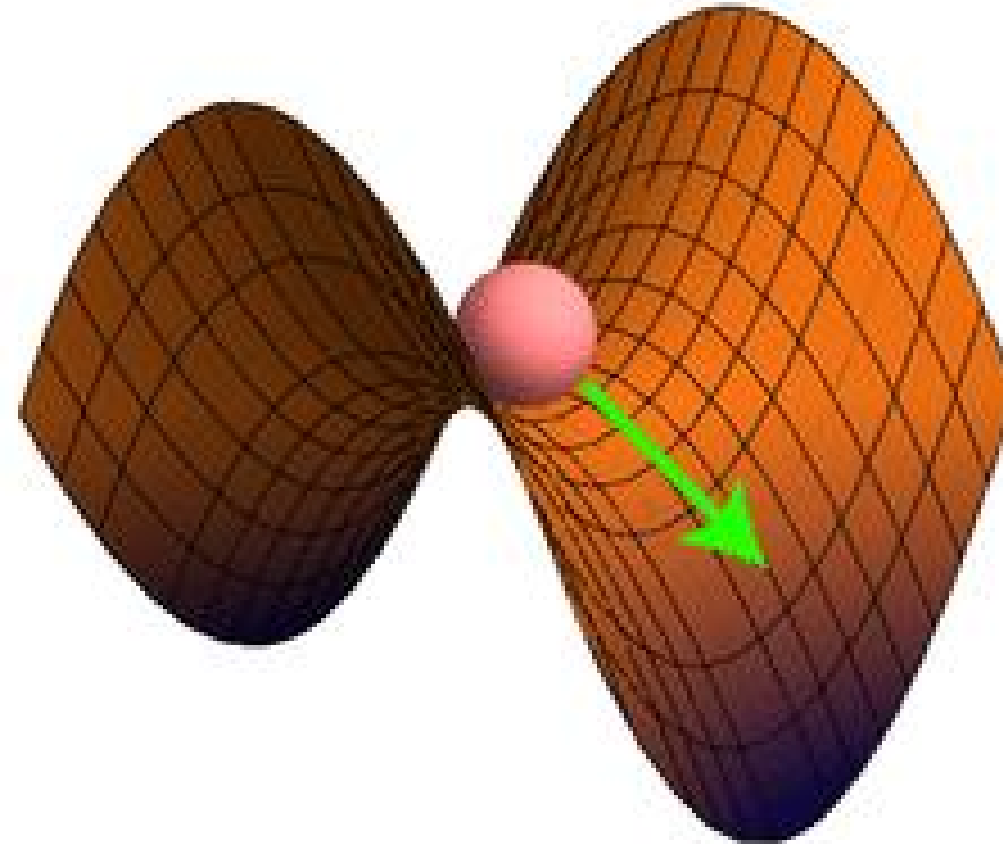
Utiliza campos elétricos dinâmicos para aprisionar e isolar os Íons no espaço

Princípio de funcionamento da armadilha de Paul

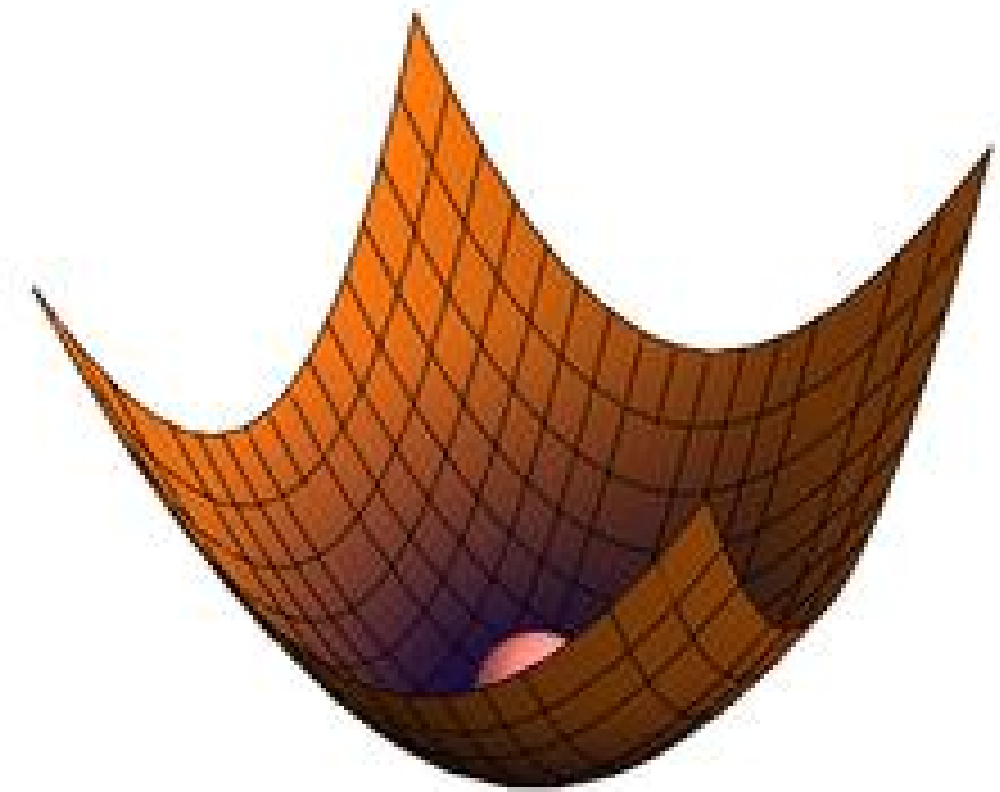
$$t = t_0$$



$$t = t_0 + \frac{\pi}{\Omega_{RF}}$$

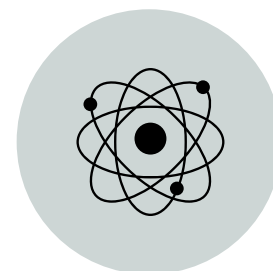


pseudopotential



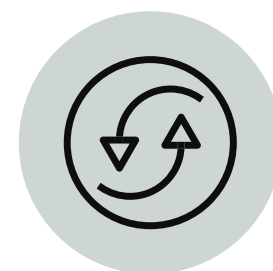
Por que usar um Íon?

Por que usar um Íon?



Idênticos e perfeitos

Cada íon de um mesmo elemento, Itérbio-171, por exemplo, é perfeitamente idêntico.



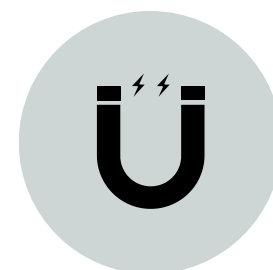
Estabilidade

Níveis de energia extremamente estáveis e bem definidos.



Isolamento

A armadilha no vácuo isola o Íon do ruído externo.



Controle e detecção fáceis

Campos elétricos e lasers podem ser usados para controlar e detectar os íons.

Como o Íon se torna um qubit?

Como o Íon se torna um qubit?

Escolha dos níveis de energia

- O íon possui níveis de energia discretos que seus elétrons podem ocupar.
- A propriedade quântica escolhida é o nível de energia interno do íon.
- Por convenção, o degrau de menor energia representa o estado $|0\rangle$ (estado fundamental) e ao degrau de maior energia o estado $|1\rangle$ (estado excitado).

Criação da superposição

- Um laser ou um pulso de micro-ondas) é usado para manipular o estado do íon.
- A fonte de energia é calibrada com a frequência exata que corresponde à diferença de energia entre o nível $|0\rangle$ e $|1\rangle$.
- Aplicar um pulso com metade da duração necessária para mudar o estado faz o Íon entrar em superposição.

Definição do estado

- Um laser de medição é usado para interagir com apenas um dos estados, por exemplo, o estado $|1\rangle$.
- Se estiver no estado $|1\rangle$, o íon reemitirá a luz rapidamente.
- A superposição é destruída (colapsa).

Como o Íon se torna um qubit?

Qubits Hiperfinos

- Utiliza o Spin do núcleo do Íon.
- São resistentes a perturbações externas.
- Mantem seu estado por segundos ou minutos.
- É manipulado com frequências na faixa de micro-ondas.

Qubits Ópticos

- Utiliza os orbitais dos elétrons ao redor do núcleo.
- As operações são executadas mais rapidamente com lasers.
- O feixe de laser pode ser focado com precisão.

Como controlamos o qubit?

Como controlamos o qubit?

Inicialização

- Um processo chamado "resfriamento Doppler" utiliza lasers para remover energia cinética do Íon.

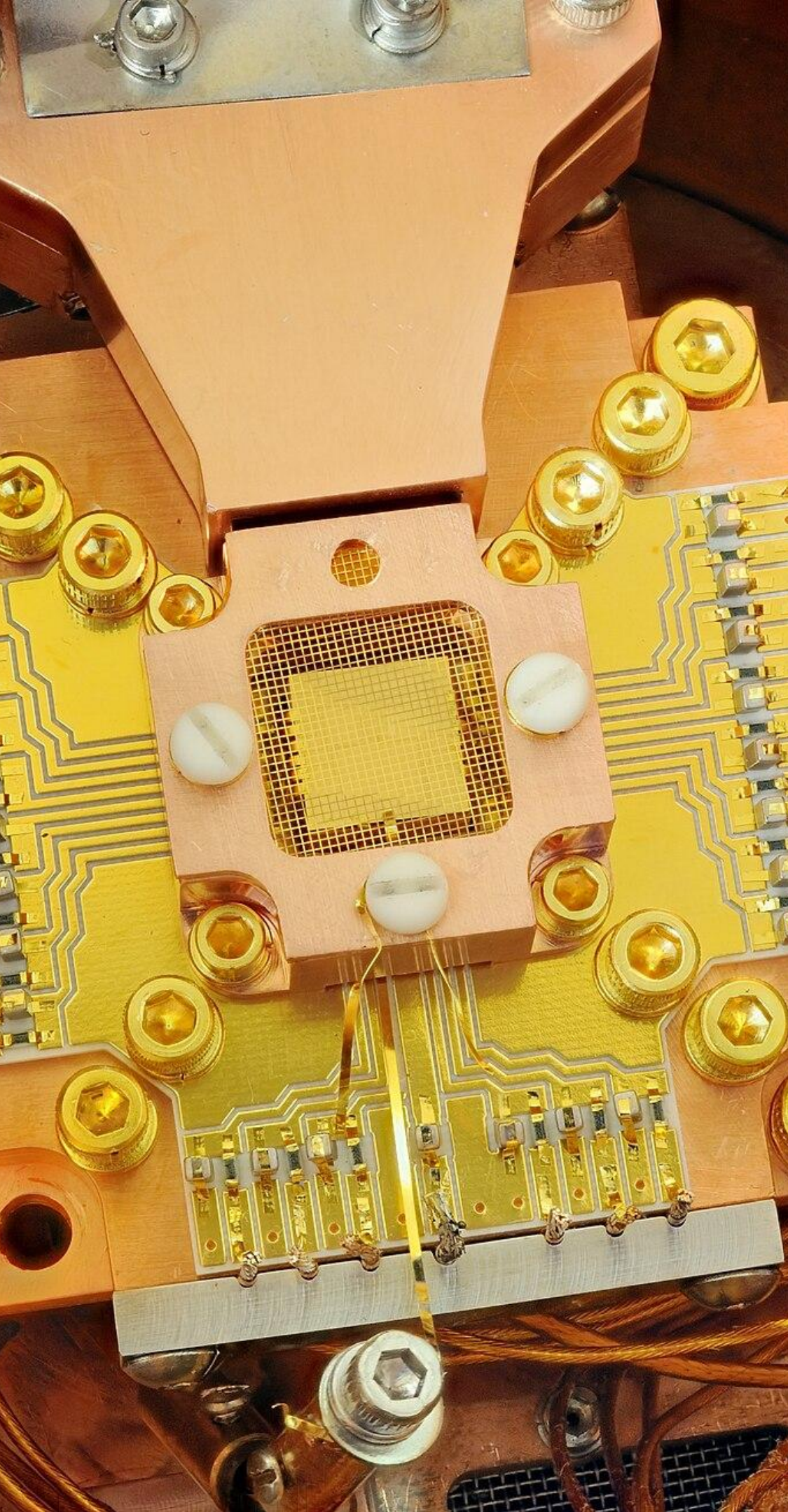
Portas lógicas

- Pulsos de lasers executam as portas quânticas.
- Para portas de dois qubits o estado lógico é acoplado ao movimento coletivo dos íons.
- A interação entre os íons emaranha os dois qubits.

Leitura (Medição)

- Um laser de leitura é apontado para Íon.
- A luz é reemitida caso esteja em um dos estados ($|1\rangle$ por exemplo).
- Fidelidade superior a 99.9%.

Quais as vantagens e
desvantagens?



Vantagens e Desvantagens

Vantagens

- Fidelidade altíssima.
- Longos tempos de coerência.
- Conectividade total (All-to-All).

Desvantagens

- Velocidade lenta.
- Desafios de escalabilidade.
- Infraestrutura complexa.

Quais grupos lideram essa
abordagem?

Empresas



IonQ

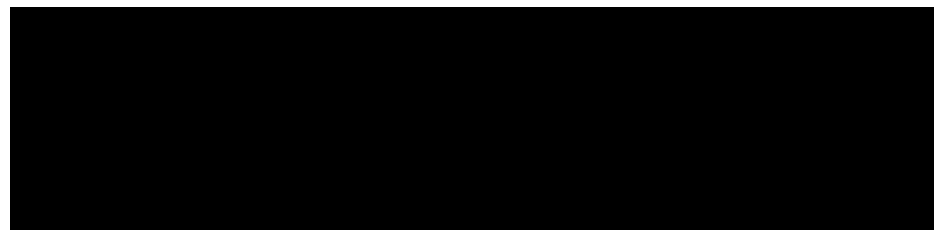


**Quantinuum (Fusão de
Honeywell Quantum
Solutions e Cambridge
Quantum)**



**Alpine Quantum
Technologies (AQT)**

Grupos de pesquisa



**NIST (National Institute
of Standards and
Technology, EUA)**



**Universidade de
Innsbruck (Áustria)**



**Universidade de
Maryland (EUA)**



Conclusão

As armadilhas de íons representam uma fronteira promissora na computação quântica, combinando fidelidade e longa coerência, através do controle preciso dos qubits utilizando lasers. Além disso, grandes empresas e grupos de pesquisa apostam nessa abordagem para o desenvolvimento de seus computadores quânticos.

Referências

Araneda, Gabriel. (2019). Experiments with single photons emitted by single atoms. 10.13140/RG.2.2.33220.17288.

H. Winter and H. W. Ortjohann, "Simple demonstration of storing macroscopic particles in a 'Paul trap'", Am. J. Phys. 59, 807 (1991)

National Institute of Standards and Technology - Quantum Computing; Ion Trapping, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=51195437>

DUKE ION TRAP GROUP. Useful References. Durham: Duke University, [s. d.]. Disponível em: <https://iontrap.duke.edu/resources/useful-references>. Acesso em: 27 ago. 2025.