

فرادرس

فراتر از یک کلاس درس  
[www.faradars.org](http://www.faradars.org)

# آموزش محاسبات کوانتومی

## درس دوم: سیستم‌های کوانتومی

مدرس:

فرهاد عبدی

کارشناس شیمی

## سیستم‌های کوانتومی

- ویژگی‌های لازم برای یک سیستم کوانتومی
- انواع بسترهای فیزیکی محاسبات کوانتومی



فرادرس



## ویژگی‌های لازم برای یک سیستم کوانتومی

- قابلیت نمایش اطلاعات کوانتومی
- قابلیت انجام دسته‌ای از اعمال یکانی یونیورسال (Universal family of unitary transformation)
- قابلیت تولید حالت‌های اولیه مطمئن (Fiducial initial states)
- قابلیت انجام اندازه‌گیری

## قابلیت نمایش اطلاعات کوانتومی - چاه پتانسیل

$$|\psi_n\rangle = \sqrt{\frac{2}{L}} \sin\left(\frac{n\pi}{L}x\right) \longrightarrow |\psi_n(t)\rangle = e^{-iE_n t} |\psi_n\rangle.$$

**Suppose that we arrange matters such that only the two lowest energy levels**

$$|\psi\rangle = a |\psi_1\rangle + b |\psi_2\rangle.$$

$$|\psi(t)\rangle = e^{-i(E_1+E_2)/2t} [a e^{-i\omega t} |\psi_1\rangle + b e^{i\omega t} |\psi_2\rangle], \quad \omega = (E_1 - E_2)/2,$$

**For performing operation, we introduce a perturbation**

$$\delta V(x) = -V_0(t) \frac{9\pi^2}{16L} \left( \frac{x}{L} - \frac{1}{2} \right)$$

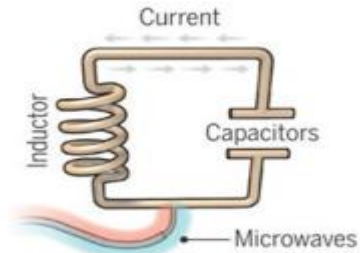
$$V_{nm} = \langle \psi_n | \delta V(x) | \psi_m \rangle \text{ giving } V_{11} = V_{22} = 0, \text{ and } V_{12} = V_{21} = V_0,$$

$H$  is  $H_1 = V_0(t)X$ .  $\longrightarrow$  **This generates rotations about the  $\hat{x}$  axis**

## انواع بسترهای فیزیکی

- ابررساناها (Superconductors)
- نقاط کوانتومی (Quantum Dots)
- یون محبوس شده (Ion Trap)
- سیستم‌های فوتونی (Photons)
- سیستم‌های اسپینی (Solid State Spin)
- سیستم‌های توپولوژیک (Topological)

# انواع بسترهای فیزیکی



## Superconducting loops

A resistance-free current oscillates back and forth around a circuit loop. An injected microwave signal excites the current into superposition states.

**Longevity** (seconds)  
0.00005

**Logic success rate**  
99.4%

**Number entangled**  
9

### Company support

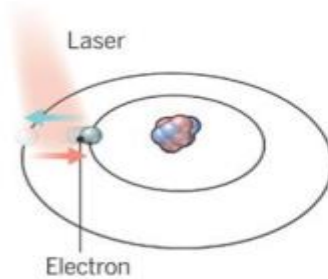
Google, IBM, Quantum Circuits

### Pros

Fast working. Build on existing semiconductor industry.

### Cons

Collapse easily and must be kept cold.



## Trapped ions

Electrically charged atoms, or ions, have quantum energies that depend on the location of electrons. Tuned lasers cool and trap the ions, and put them in superposition states.

>1000

99.9%

14

ionQ

Very stable. Highest achieved gate fidelities.

Slow operation. Many lasers are needed.



## Silicon quantum dots

These "artificial atoms" are made by adding an electron to a small piece of pure silicon. Microwaves control the electron's quantum state.

0.03

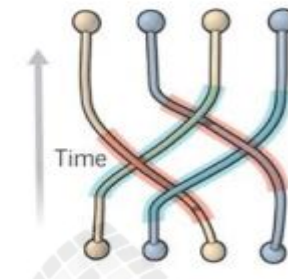
~99%

2

Intel

Stable. Build on existing semiconductor industry.

Only a few entangled. Must be kept cold.



## Topological qubits

Quasiparticles can be seen in the behavior of electrons channeled through semiconductor structures. Their braided paths can encode quantum information.

N/A

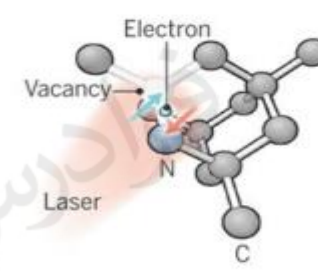
N/A

N/A

Microsoft, Bell Labs

Greatly reduce errors.

Existence not yet confirmed.



## Diamond vacancies

A nitrogen atom and a vacancy add an electron to a diamond lattice. Its quantum spin state, along with those of nearby carbon nuclei, can be controlled with light.

10

99.2%

6

Quantum Diamond Technologies

Can operate at room temperature.

Difficult to entangle.

## بسترهای فیزیکی محاسبات کوانتومی

System	$\tau_Q$	$\tau_{op}$	$n_{op} = \lambda^{-1}$
Nuclear spin	$10^{-2} - 10^8$	$10^{-3} - 10^{-6}$	$10^5 - 10^{14}$
Electron spin	$10^{-3}$	$10^{-7}$	$10^4$
Ion trap ( $\text{In}^+$ )	$10^{-1}$	$10^{-14}$	$10^{13}$
Electron – Au	$10^{-8}$	$10^{-14}$	$10^6$
Electron – GaAs	$10^{-10}$	$10^{-13}$	$10^3$
Quantum dot	$10^{-6}$	$10^{-9}$	$10^3$
Optical cavity	$10^{-5}$	$10^{-14}$	$10^9$
Microwave cavity	$10^0$	$10^{-4}$	$10^4$

## منابع

- محاسبات و اطلاعات کوانتومی 2011 Michael A. Nielsen, Isaac L. Chuang
- محاسبات کوانتومی آدیاباتیک 2014 Catherine C. McGeoch



فرادرس





این اسلایدها بر مبنای نکات مطرح شده در فرادرس  
«آموزش محاسبات کوانتومی»  
تهیه شده است.

برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد این آموزش به لینک زیر مراجعه نمایید.

[faradars.org/fvphy9909](https://faradars.org/fvphy9909)