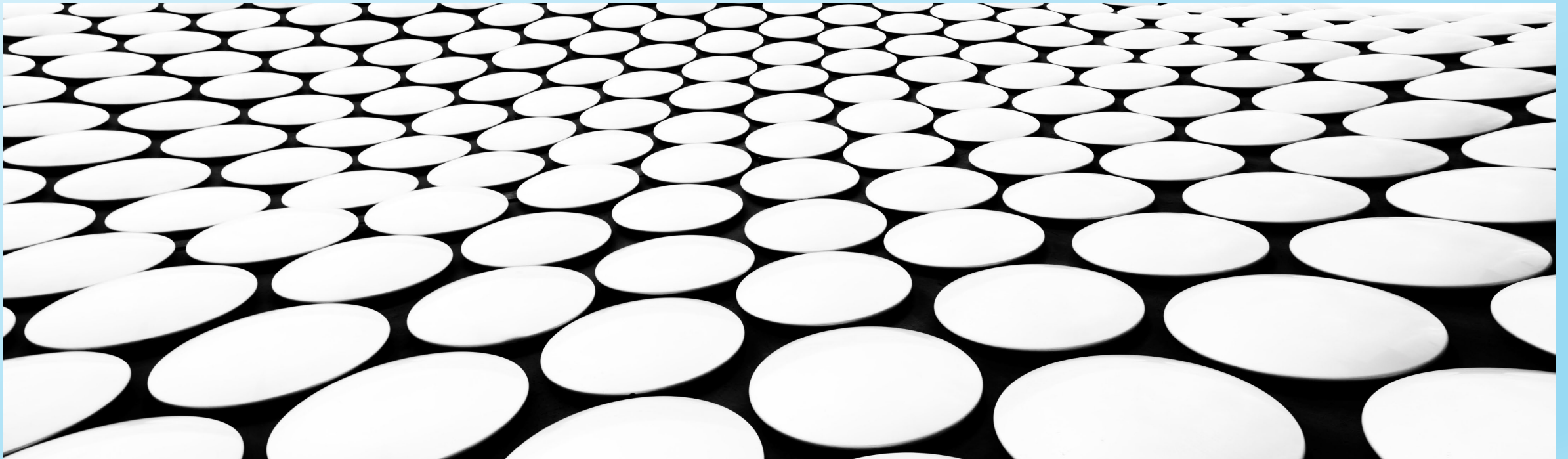

ARHITECTURA SISTEMELOR DE CALCUL

UB, FMI, CTI, ANUL III, 2022-2023



Calculatoare cuantice

Arhitectura calculatoarelor cuantice

Un computer cuantic are atât părți clasice, cât și cuantice.

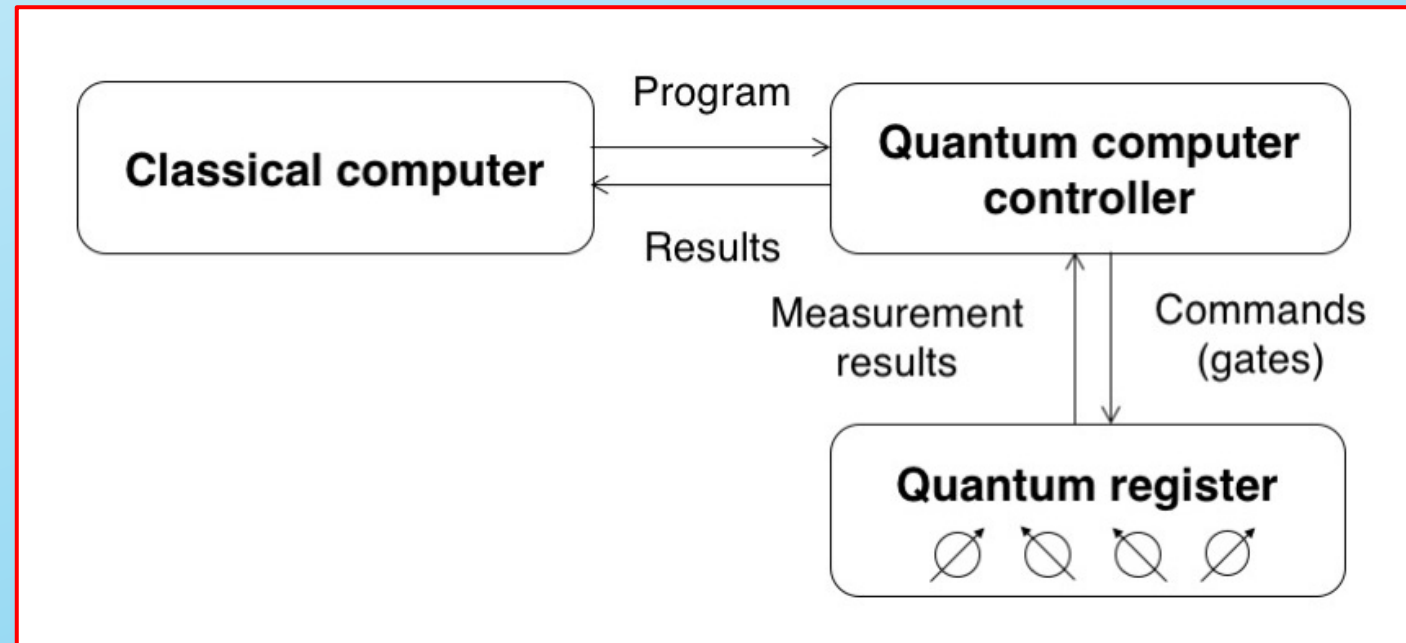
SIMULATOR : <https://algassert.com/quirk>

Modelul de bază al calculatoarelor cuantice

Atât computerul clasic, cât și cel cuantic constau în esență din trei părți :

- **Memoria** - Conține/stochează starea curentă a mașinii.
- **Un procesor sau un controler** - Efectuează operații elementare asupra stării mașinii.
- **Dispozitiv de intrare/ieșire** - Face posibilă definirea stării inițiale și obținerea stării finale de calcul.

- **Registrii cuantici** sunt memoria calculatoarelor cuantice. Dețin date cuantice pentru algoritm.
- **Porțile cuantice** sunt echivalentul instrucțiunilor.
- **Controler de calculator** deține programul și le spune dispozitivelor care controlează fiecare qubit să efectueze acțiuni conform instrucțiunilor.



Elemente de fizica calculatoarelor cuantice

INDISCERNABILITATE

1



2



Chiar da par identice, cele doua flori sunt diferite prin unele amanunte.

2



1

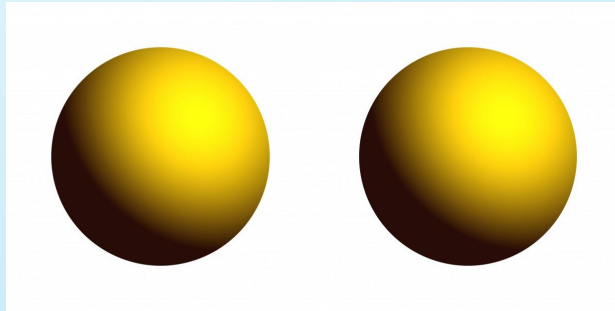


Florile de jos sunt inversate in pozitie

Cele doua flori
pot fi discernute

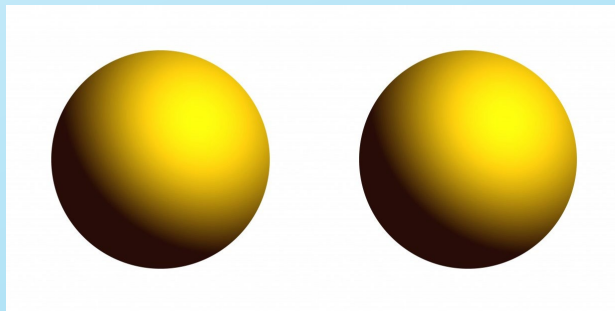
IN LUMEA MICROSCOPICA LUCRURILE NU STAU ASA

1



2

2



1

2 electruni nu pot sa difere

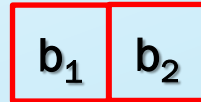
Ei pot sa isi schimbe
pozitiile intre ei iar noi nu
putem observa acest lucru

Aceste particule sunt
indiscernabile

La fel se comporta si doi
atomi identici sau doua
molecule identice

MEMORIA

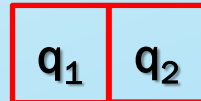
Memorie clasica cu 2 biti



Cele doua celule de memorie sunt discernabile
(modelul balansoarului)

Putem sti daca cele doua celule se inverseaza, iar ele
pastreaza informatia initiala

Memorie cuantica (memorie care foloseste sisteme cuantice, microscopice)



In acest caz celulele sunt indiscernabile:
Nu putem sti daca cele doua celule si-au
inversat locul, si in consecinta nu putem sti
precis ce informatie contin

Una dintre problemele puse de
constructia unui calculator cuantic este
ridicarea (inlaturarea) indiscernabilitatii
intre celulele de memorie.

SETURI DE BITI

Intr-un calculator clasic:

$b_1, b_2, b_3, \dots b_n$ este un sir de biti memorati

poate fi scris $[b_1, b_2, b_3, \dots b_n]$ fiecare bit avand o pozitie precis definita

Intr-un calculator cuantic scriem seria de biti in felul urmator:

$|q_1, q_2, q_3, \dots q_n\rangle$

Prin aceasta scriere presupunem ca pozitia bitilor este bine definita (indiscernabilitatea este eliminata)

O celula de memorie de un bit, intr-un **calculator clasic**, poate inmagazina (la momente de timp diferite), doua valori diferite: **0** si **1**.

La un moment dat valoarea memorata este **cu certitudine** fie **0** fie **1**.

Intr-un calculator cuantic, valoarea memorata are **un anumit grad de incertitudine**.

Starea in care se gaseste celula de memorie este descrisa ca o superpozitie intre cele doua stari: **|0>** si **|1>**

Ea este scrisa in felul urmator:

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

Expresia de mai sus descrie starea unui **qubit**.

Obiectul **|\psi>** este element al unui spatiu Hilbert. Expresia de mai sus deriva din legile fizicii cuantice.

$$\alpha \text{ si } \beta \text{ au valori complexe si respecta regula } |\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$$

α si β se numesc amplitudini

Bitul din calculatorul clasic are drept corespondent **qubitul** in calculatorul cuantic.

In ambele cazuri reprezinta celula elementara de memorie.

$|\alpha|^2$ reprezinta probabilitatea ca qubitul sa se afle in starea **|0>**

$|\beta|^2$ reprezinta probabilitatea ca qubitul sa se afle in starea **|1>**

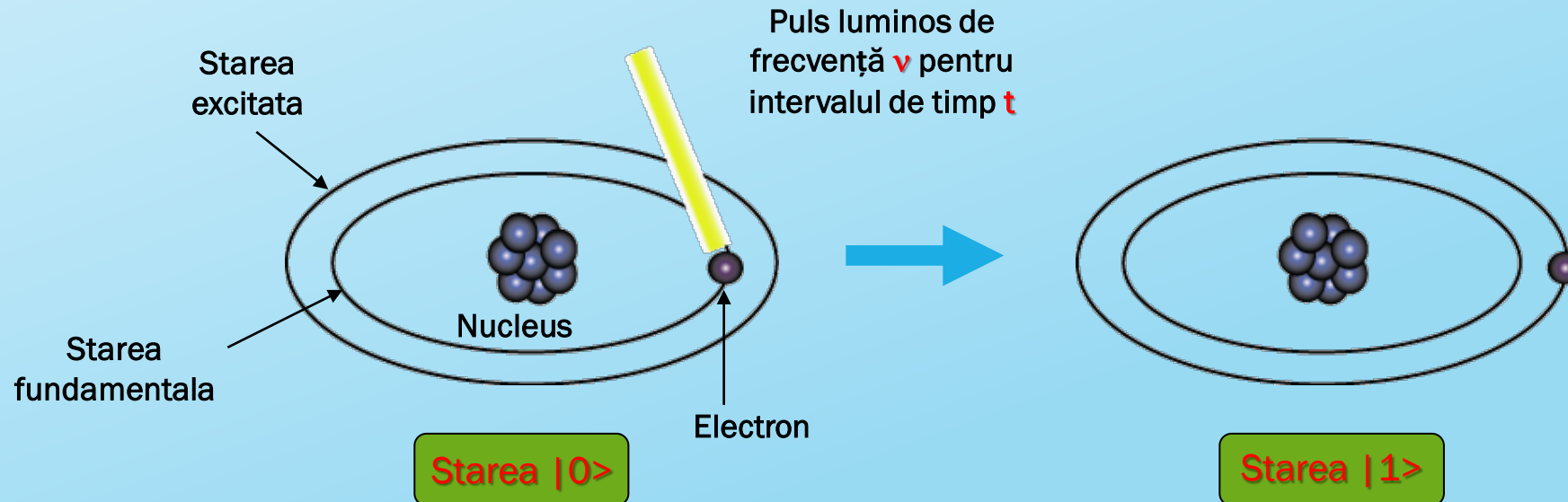
REPREZENTAREA DATELOR - QUBITII

O implementare fizică a unui qubit ar putea folosi cele două niveluri de energie ale unui atom.

O stare excitată reprezentând $|1\rangle$ iar o stare fundamentală reprezentând $|0\rangle$.

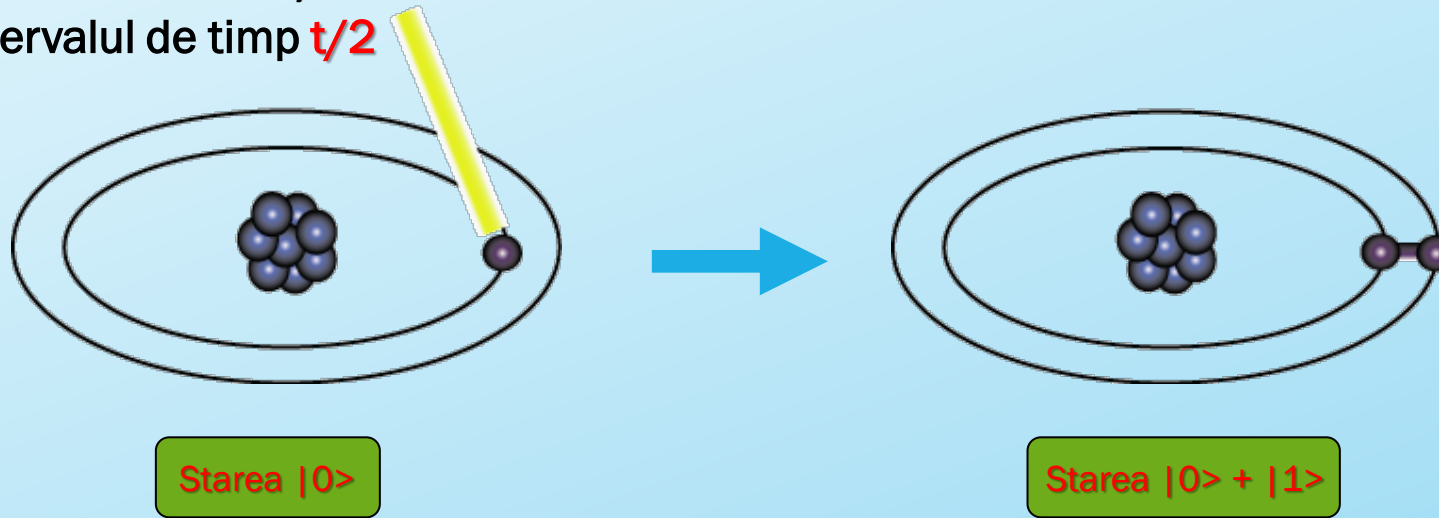
Un bit de date este reprezentat de un singur atom care se află într-una din cele două stări notate cu $|0\rangle$ and $|1\rangle$.

Un singur bit de această formă este cunoscut sub numele de qubit



REPREZENTAREA DATELOR - SUPRAPUNEREA

Puls luminos de frecvență ν
pentru intervalul de timp $t/2$



Avem o suprapunere (superpoziție) de stări.

Adică: sistemul se afla simultan în cele două stări cu o anumită probabilitate

Dacă se fac calcule complete atunci se găsește că:

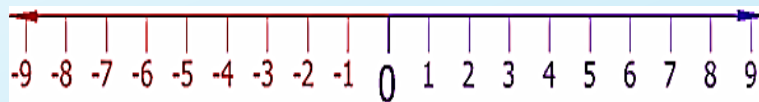
sistemul se afla în starea 1 cu o probabilitate de $\frac{1}{2}$ și
simultan în starea 2 cu o probabilitate de $\frac{1}{2}$

Comparatie: fizica clasica – fizica cuantica

Fizica clasica

Rezultate predictibile!

Marimile sunt continue



Fizica cuantica

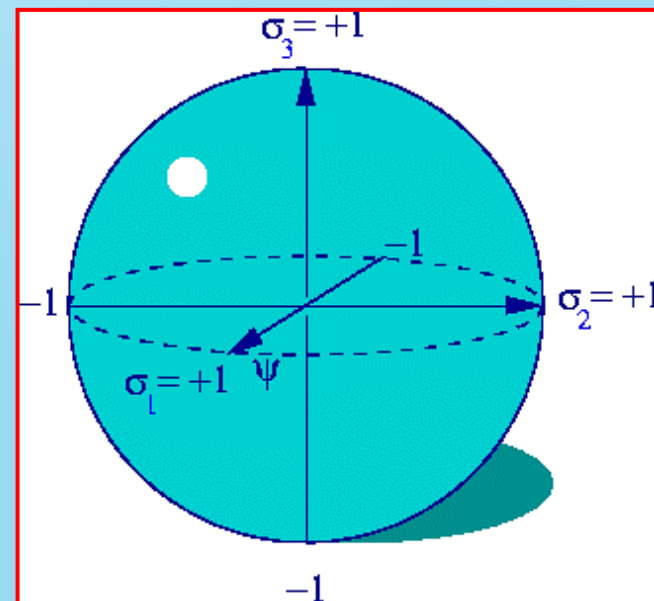
- Sunt violate legile fizici clasice la scara microscopica ($\sim h$, constanta Plank)
- Valorile sunt discrete $|0\rangle$ or $|1\rangle$
- Exista posibilitatea ca sistemul sa se afle simultan in mai multe stari (**superpozitie** de valori ,reprezentand toate starile simultan)

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

α si β sunt amplitudini cuantice

- Starile sunt nedeterminate pana la masurare.

Sfera Bloch reprezinta toate starile
posibile in **Superpozitie**

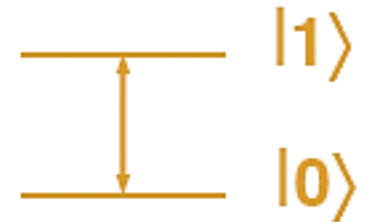


Sisteme cuantice binare

Putem reprezenta un sistem binar (biți) mai degrabă în stări cuantice decât în stări clasice?

Putem găsi un sistem mecanic cuantic în care să putem folosi două „stări” pentru a reprezenta numerele noastre binare? DA

Qubiții pot fi transportați ca atomi, ioni, fotoni sau electroni împreună cu dispozitivele lor de control cu care lucrează împreună pentru a acționa ca memorie de computer și procesor.



Entangled qubits allow multiple numbers to be represented simultaneously. $|000\rangle$

Entangled = incalcit, incurcat, combinat

$|000\rangle$ = 3 qubiți combinați

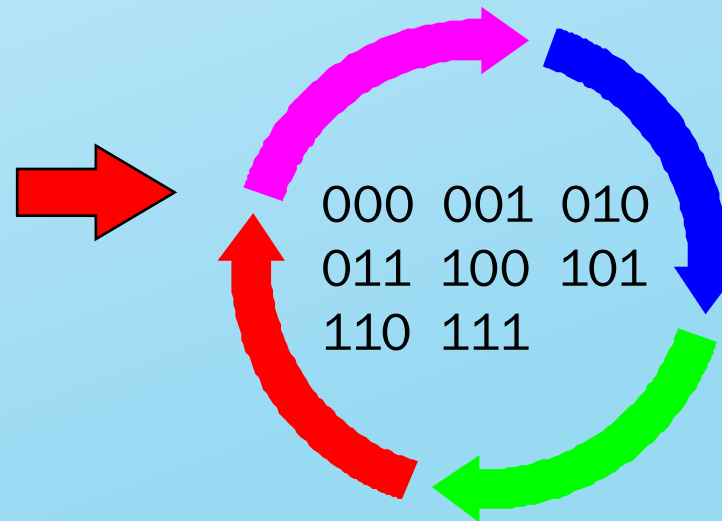
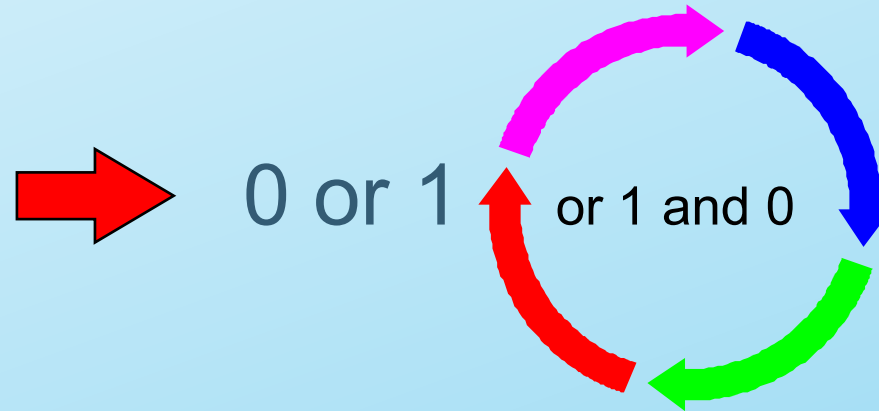
BIT VS QUBIT

× Bit clasic

× 0 or 1

× 101

Qubit



Care este diferenta?

n biti pot stoca **unul din** 2^n numere la un moment dat

n qubiti pot stoca **toate** 2^n numere in acelasi timp

AVANTAJELE QUBITILOR

Prin adaugare de qubiti capacitatea de stocare creste exponential

Se pot face operatii asupra tuturor superpositiilor simultan...
(ca in cazul calculelor paralele)

O operatie matematica asupra a 2^n numere codificate in n biti necesita **2^n pasi** sau 2^n procesoare lucrând in paralel

Aceeasi operatie asupra 2^n numere codificate in n qubiti necesita **1** pas

Aceasta face ca problemele complexe sa fie rezolvate mult mai usor.

HOW QUANTUM COMPUTERS WORK

Today's Computers

Turing Machine- theoretical device that consists of tape of unlimited length that is divided into little squares. Each square can either hold a symbol (1 or 0) or be left blank.

Today's computers work by manipulating bits that exist in one of two states: a 0 or a 1.

1 and 0's are carried and turned on by states of electrical current

- **Quantum Computers**

- Quantum computers aren't limited to two states like today's computers. They encode information as quantum bits, or **qubits**, which can exist in **superposition**.
- **Superposition-** quantum computers can represent both 0 and 1 as well as **everything in between** at the same time.
- **Qubits** can be carried as atoms, ions, photons or electrons and their respective control devices that are working together to act as computer memory and a processor.
- **Basically, a quantum computer can work on a million computations at once, while your desktop PC works on one.**

SUPERPOZITIA NUMERELOR



Sa presupunem o memorie cu 2 qubiți formata din doi atomi.

$$\Psi = 1/\sqrt{2}(|\uparrow\rangle + |\downarrow\rangle)$$

(primul atom este marcat cu \uparrow iar al doilea atom este marcat cu \downarrow)

poate fi scris ca:

$$\Psi = 1/\sqrt{2}(|0\rangle + |1\rangle)$$

Aceasta poate fi expandata ca

$$|00\rangle + |01\rangle + |10\rangle + |11\rangle$$

Tocmai am scris o reprezentare binară în care numerele 0, 1, 2 și 3 sunt reprezentate simultan. Acest lucru este impresionant în comparație cu un computer clasic.

