UNIVERSITATEA
„ALEXANDRU IOAN CUZA“
din IAŞI

Calcul Cuantic - Quantum Computing

Cursul 1

Conf. dr. Andreea Arusoaie

e-mail: andreea.arusoaie at uaic.ro / info.uaic.ro

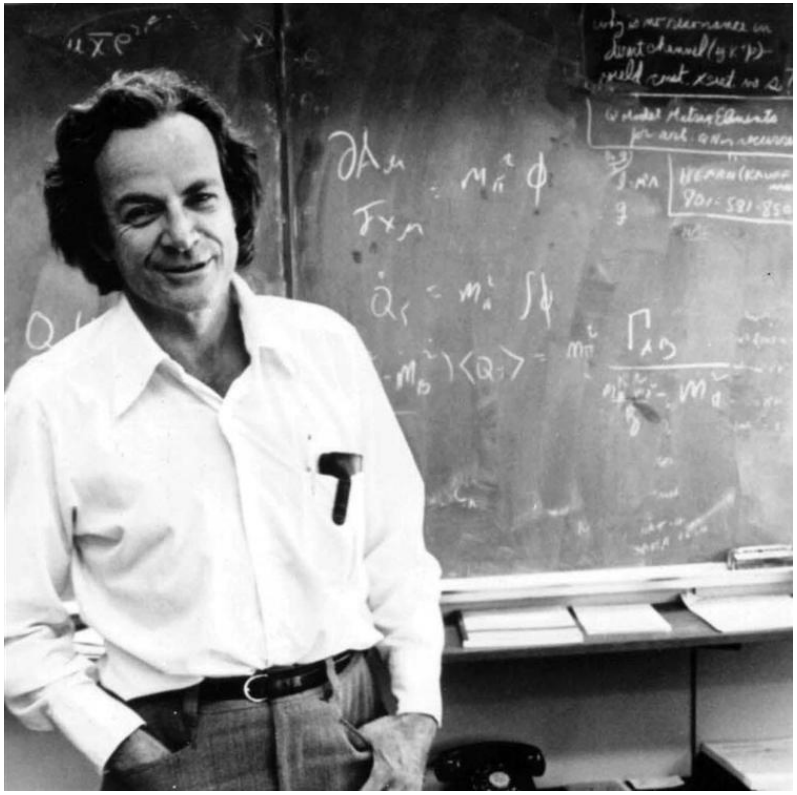
Web: http://edu.info.uaic.ro/quantum-computing/QC.html

1 Octombrie, 2026

Ce este calculul cuantic?

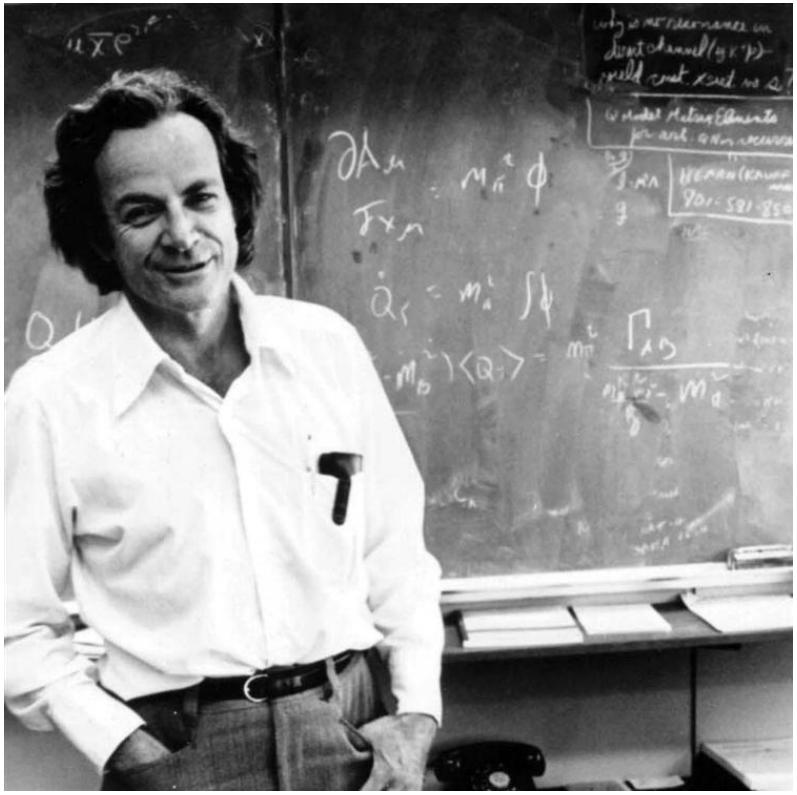
" ... Nature isn't classical...and if you want to make a simulation of nature you'd better make it quantum mechanical, and by golly, it's a wonderful problem, because it doesn't look so easy."

Richard P. Feynman



" ... Nature isn't classical...and if you want to make a simulation of nature you'd better make it quantum mechanical, and by golly, it's a wonderful problem, because it doesn't look so easy."

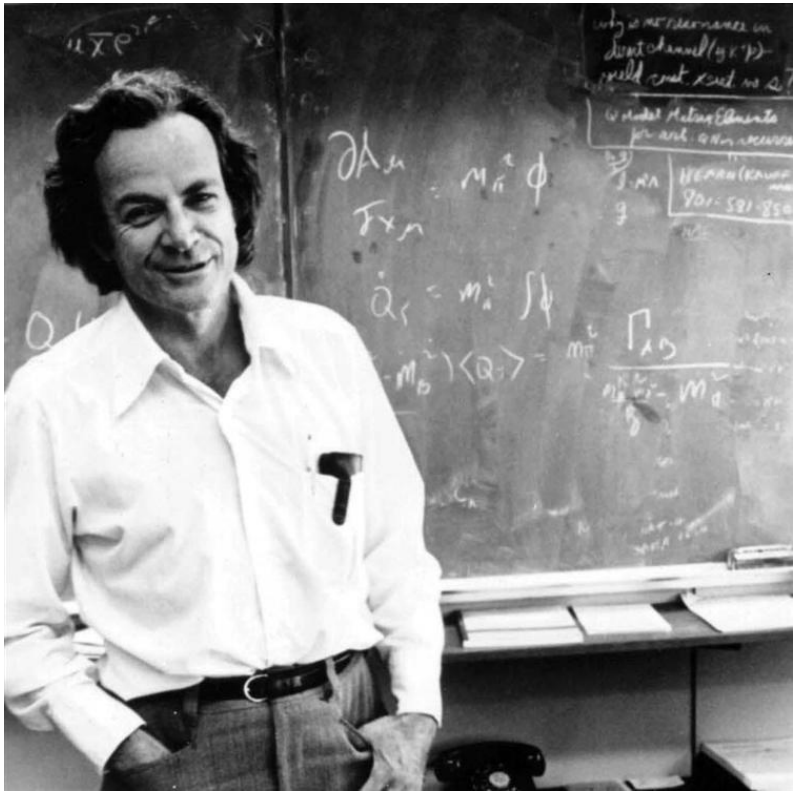
Richard P. Feynman



Dacă natura este cuantică, putem folosi chiar legile mecanicii cuantice pentru a calcula?

" ... Nature isn't classical...and if you want to make a simulation of nature you'd better make it quantum mechanical, and by golly, it's a wonderful problem, because it doesn't look so easy."

Richard P. Feynman

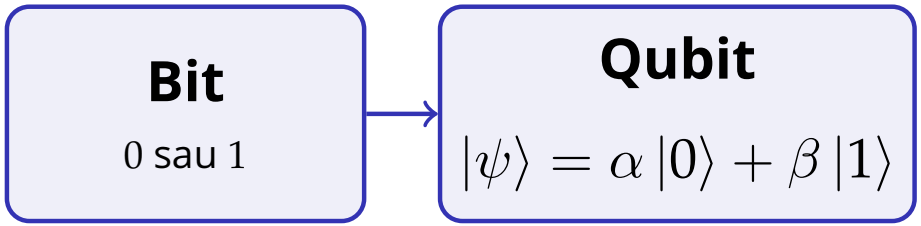


Dacă natura este cuantică, putem folosi chiar legile mecanicii cuantice pentru a calcula?

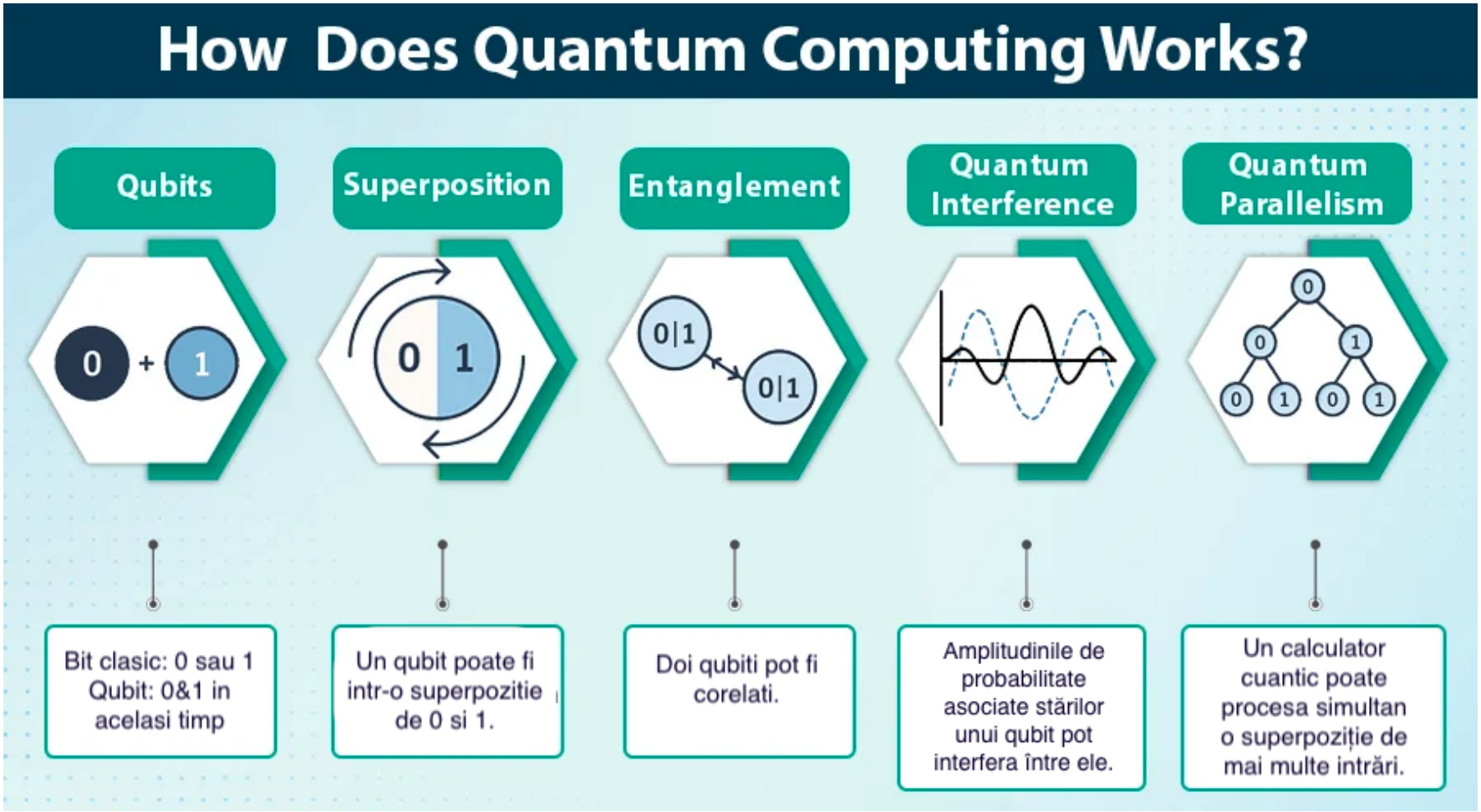
R: Da – mecanica cuantică poate deveni o resursă de calcul.

Ce este calculul cuantic?

Calculul cuantic reprezintă un tip de calcul care folosește principii din *mecanica cuantică*, cum ar fi *superpoziția* și *entanglement*, pentru a rezolva unele probleme prea complexe pentru calculatoarele clasice.



- În calculul clasic, unitatea de bază este bitul, care poate avea valoarea 0 sau 1.
- În calculul cuantic, unitatea de bază este qubitul, care poate fi: în starea 0, în starea 1, sau în ambele stări simultan (fenomen numit superpoziție).


How Does Quantum Computing Works?
Qubits
Superposition
Entanglement
Quantum Interference
Quantum Parallelism
0 + 1
0 1
0|1
0|1
0
0 1
0 1 0 1
Bit clasic: 0 sau 1
Qubit: 0&1 in acelasi timp
Un qubit poate fi intr-o superpozitie de 0 si 1.
Doi qubiti pot fi corelati.
Amplitudinile de probabilitate asociate stărilor unui qubit pot interfera între ele.
Un calculator cuantic poate procesa simultan o superpoziție de mai multe intrări.

De ce să studiem calculul cuantic?

Numeroase aplicații în domenii promițătoare:

- **Optimizare:** Probleme complexe de optimizare din logistică, finanțe și inteligență artificială pot beneficia de algoritmi cuantici, care pot oferi avantaje pentru anumite clase de probleme.
- **Criptografie:** Algoritmi cuantici, precum algoritmul lui Shor, pot compromite unele sisteme criptografice utilizate în prezent, ceea ce motivează dezvoltarea criptografiei post-cuantice și a metodelor de comunicație cuantică securizată.
- **Învățare automată și inteligența artificială:** Algoritmii cuantici sunt investigați pentru accelerarea anumitor etape de procesare și analiză a datelor și pentru dezvoltarea unor noi metode de învățare automată.

De ce să studiem calculul cuantic?

Numeroase aplicații în domenii promițătoare:

- **Dezvoltarea de noi materiale:** Calculul cuantic permite simularea sistemelor cuantice la nivel molecular și atomic, cu potențiale aplicații în chimie, medicină, fizică și știința materialelor.
- **Simularea sistemelor fizice:** Calculatoarele cuantice pot fi utilizate pentru studierea unor sisteme cuantice complexe, dificil de simulat eficient pe calculatoare clasice.

Organizare și Evaluare

Obiectivele cursului

Ce vom învăța în acest semestru?

- Fundamentele calculului cuantic.
- Qubiţi, porţi şi circuite cuantice
- Calculatoare cuantice & Algoritmi cuantici.
- Implementarea și simularea circuitelor cuantice folosind Python și Qiskit.
- Aplicaţii şi perspective ale calculului cuantic.

Cunoştinţe necesare:

- Matematică - noţiuni de algebră liniară.
- Noţiuni de probabilităţi.
- Noţiuni de algoritmică şi programare.

Conținutul cursului - Timeline

S1 - Cursul 1 - Introducere în Calculul Cuantic - Biti şi Qubiti
S2 - Cursul 2 - Noțiuni de algebră liniară
S3 - Cursul 3 - Postulatele mecanicii cuantice
S4 - Cursul 4 - Circuite cuantice: Porți cuantice de 1-qubit
S5 - Cursul 5 - Circuite cuantice II :Porți cuantice pentru qubiți multipli
S6 - Cursul 6 - Quantum Information: Copierea unui qubit. Entanglement. Superdense Coding
S7 - Cursul 7 - Quantum Key Distribution, Protocolul BB84, Quantum Teleportation. & Introducere în Python.
S8 - *Recapitulare - Evaluare scrisă*
S9 - Cursul 8 - Algoritmi cuantici: Deutsch, Berstein-Vazirani.
S10 - Cursul 9 - Algoritmi cuantici: Algoritmul lui Simon, Căutarea în baze de date nesortate
S11 - Cursul 10 - Algoritmi cuantici: Quantum Phase Estimation. Algoritmul lui Shor
S12 - Cursul 11 - Transpilare. Corectarea erorilor
S13 - Cursul 12 - Corectarea erorilor. Calculatoare tolerante la Erori.
S14 - Cursul 13 - Probleme deschise. Concluzii

Informaţii organizatorice

Canal Discord

- `https://discord.com/invite/9xPMzEdj4`

Echipa Quantum

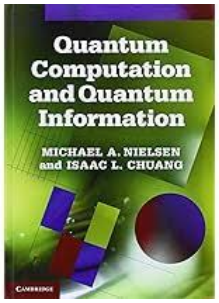
- Curs: Andreea Arusoaie
- Seminar/Laborator:
  - Andreea Arusoaie
  - Spec. Ioana Agheorghiesei

Pagina cursului:

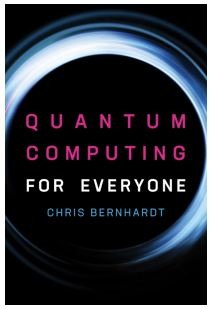
`https://edu.info.uaic.ro/quantum-computing/QC.html`

Informaţii organizatorice

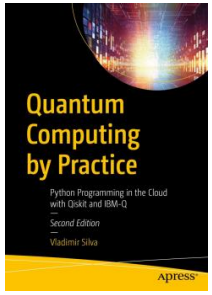
Referinţe de bază curs:



M. A. Nielsen and I.L. Chuang, *Quantum Computation and Quantum Information*, 2nd ed. Cambridge University Press, 2010. see here



C. Bernhardt, *Quantum Computing for everyone*, Massachusetts Institute of Technology, 2019.



V. Silva, *Quantum computing by Practice*, Apress, 2023.

Modalitatea de evaluare

Nota finală va fi alcătuită din:

- **50%** - Test scris din partea de seminar;
- **50%** - Două teme de laborator.

Formula de calcul a notei finale este următoarea:

$$\boxed{\text{Punctaj Total} = 0.5 * E + 0.5 * T}$$

unde

- E - nota la examenul scris din S7/S8;
- T - punctajul total obţinut la prezentarea temelor T_1 şi T_2.

**Punctajul pentru teme va fi desparţit în două componente: evaluare cod, prezentare temă;*

Criterii minimale:

$$\boxed{E \geq 4.5} \text{ şi } \boxed{T \geq 4.5.}$$