



A XVIII-a Conferință internațională – multidisciplinară  
„Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești”  
CLUJ NAPOCA, 2018

## COMPUTERUL CUANTIC

George MAHALU

### QUANTUM COMPUTER

Quantum computers will soon become an active presence in society, but not as most people imagine. We will not see quantum computers on the desk, replacing ordinary PCs, nor incorporated into gadgets similar to current tablets, mobile phones, and so on. Due to the need to ensure extremely low temperatures for their operation, at least in the near future and the environment, we will return to the concept of Computing Center that has been in existence for several decades.

Keywords: quantum system, qubit, ion trap, entanglement

Cuvinte cheie: sistem cuantic, qubit, capcană de ioni, entanglement

#### 1. Introducere

Calculatorul electronic, cunoscut și sub apelativul de computer (din engleză) sau ordinator (din franceză), a devenit, în mod incontestabil, centrul universului informațional modern. În ziua de astăzi se poate rezista fără hrană mai bine de o săptămână, fără apă câteva zile, însă fără calculator, tabletă sau telefon mobil, mai puțin de o zi.

Lăsând gluma deoparte, este de remarcat faptul că viața omului modern a fost schimbată, întru totul și iremediabil, de noua tehnologie. Și totul s-a petrecut fulgerător, în mai puțin de cinci decenii.

Abia obișnuiți cu conceptul de computer, ni se cere astăzi să evoluăm de la clasic la cuantic. Adică de la calculatorul devenit deja clasic la noua minune tehnică denumită computer cuantic.

Primele idei de sisteme fizice care să simuleze, prin însăși funcționarea lor, lumea proceselor cuantice, au fost lansate de fizicianul american Richard Feynman la începutul anilor 80 ai secolului trecut. Aceste idei au prins, iar astăzi discutăm deja de primele încercări de realizare a structurilor hardware care implementează operarea pe qubiți.

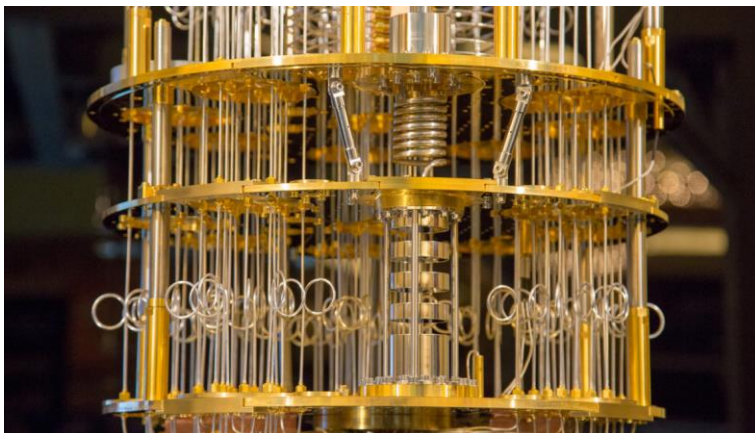


Fig. 1 Structură utilizată într-un computer cuantic

## 2. Între biți și qubiți

Bitul constituie o entitate de bază în știința calculatoarelor. Odată cu apariția paradigmei informaționale, s-a pus întrebarea – cum era și firesc – ce este informația? Alături de cele două mari categorii filosofice - substanța și câmpul -, informația vine alert din urmă, devenind în cea de-a doua jumătate a secolului XX un cap de pod al științei, tehnicii și tehnologiei viitorului. În încercarea de a defini pentru aceasta o mărime fizică - cantitatea de informație, și o unitate de măsură – bitul, știința informației a căpătat valențe cognitiv-culturale într-un timp și cu o dinamică nemaîntâlnită de-a lungul întregii istorii a umanității.

Trecerea de la calculatorul clasic la cel cuantic impune trecerea de la bit la qubit. Așa după cum bitul este cantitatea de informație exprimabilă prin intermediul unei valori binare, notată  $0$  sau  $1$  și denumită *valoare logică*, qubitul reprezintă cantitatea de informație

codificată într-un *bit cuantic* (qubit) pentru care cele două valori menționate mai sus se regăsesc într-o reprezentare de superpoziție, specifică fenomenului de suprapunere cuantică a stărilor sistemelor cuantice elementare.

Dacă se cere un răspuns la întrebarea: *ce valoare capătă la un moment dat un qubit?*, acesta nu poate fi decât: *o combinație de valori logice 0 și 1.*

Iată modul în care la capătul "tunelului cuantic" se ițește paralelismul. Și așa cum calculul paralel se știe că aduce aport substanțial în viteza de procesare, ne așteptăm ca și sistemele cuantice de calcul (SCC) să poată oferi lucrul după care aleargă omul modern: viteză.

Se constată în acest mod că, în timp ce pe  $n$  biți se poate stoca o singură valoare numerică întreagă, pe  $n$  qubiți se poate memora o superpoziție de  $2^n$  stări distincte. Astfel, dacă pe un calculator clasic, pentru diferitele valori posibil a fi reținute într-un registru sunt necesare tot atâtea intrări, fiecare dintre acestea necesitând rulări separate, pentru un calculator cuantic se pot efectua toate calculele într-o singură rulare pentru un număr arbitrar (dar finit) de intrări.

O altă proprietate interesantă deținută de un calculator cuantic, este cea de *entanglement - interconectare (amestecare) a stărilor*. Aceasta reprezintă, probabil, cea mai spectaculoasă și mai neintuitivă manifestare a mecanicii cuantice, observată la sistemele cuantice. *Entanglement*-ul stărilor constă în existența unei corelări nelocale între măsurătorile efectuate pe particule localizate în puncte diferite. Pentru a înțelege acest mecanism straniu, să considerăm două sisteme fizice clasice. După ce acestea au interacționat, ele se află în stări fizice distincte. În mod total neașteptat, se dovedește că două sisteme cuantice ce interacționează, continuă să fie legate prin stările lor cuantice chiar și după încetarea interacțiunii. Deci, chiar dacă cele două sisteme cuantice se îndepărtează spațial între ele, continuă să fie interconectate prin entanglement-ul stabilit între stările lor. Un exemplu de stări interconectate pentru un registru cu doi qubiți, este format de așa numita *bază Bell*:

$$|\Phi^\pm\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle), \quad |\Psi^\pm\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle + |10\rangle)$$

Măsurarea efectuată asupra unui qubit va afecta instantaneu și starea celuilalt qubit, indiferent de distanța fizică dintre ei.

Existența fenomenului de entanglement a stărilor deschide perspective practice nebănuite, cum ar fi *teleportarea*.

Revenind la calculatoarele cuantice, putem constata că datorită proprietăților de superpoziție și entanglement, un calculator cuantic își poate crește puterea de calcul în mod exponențial, de forma  $2^n$ , odată cu creșterea numărului  $n$  de qubiți folosiți, spre deosebire de calculatorul clasic pentru care creșterea este liniară (adică de  $n$  ori).

### 3. Cum lucrează un computer cuantic?

În mod analog dispozitivelor electronice ce configurează un computer clasic, în structura unui computer cuantic vor intra dispozitive cuantice ce vor exploata fenomene ale microuniversului precum entanglementul cuantic, suprapunerea de stări, interferența la nivel cuantic și colapsul de stare la nivel clasic etc.

Poate cel mai misterios fenomen, dintre cele enumerate mai sus, este entanglementul cuantic. El a fost luat în discuție mai mult în glumă decât în mod serios, cu o oarecare conotație peiorativă, într-un articol a trei fizicieni, în anul 1935. Doi dintre aceștia erau mai puțin cunoscuți, însă cel de-al treilea nu mai avea nevoie de nici un fel de prezentare. Numele său era Albert Einstein [1].

Articolul, cunoscut ulterior sub denumirea *EPR* (Einstein, Podolski și Rosen), a fost (după cum menționează B. Rosenblum și F. Kuttner în [2]) "ca un tunet din senin". Reverberațiile sale continuă chiar și în ziua de azi, când încă se mai discută asupra unor rezultate experimentale precum cele ale lui John Francis Clauser în 1972 sau cele ale lui Alan Aspect în 1982.

Entanglementul cuantic semnifică suport fenomenologic atât pentru existența computerului cuantic cât și pentru cea a sistemelor de teleportare.

Într-un computer cuantic informația este înregistrată în echivalentul cuantic al regiștrilor computerelor clasice. Evident, acești regiștri se vor numi *regiștri cuantici*. Fiecare qubit va memora simultan stările  $0$  și  $1$  corespunzătoare, în ponderi specifice determinate de probabilitățile de găsire a fiecăreia dintre aceste stări în etapa de colapsare a stărilor de la nivelul cuantic la cel clasic.

Există mai multe dispozitive cuantice de preparare a stării, uzitate în construcția unui sistem de calcul cuantic. Vom menționa aici doar două: *capcana ionică* și *dispozitivele cu joncțiune Josephson*.

În cazul capcanei ionice se consideră mai mulți ioni ai unui anume element, ținuți aliniați într-o configurație de câmpuri electrice și

magnetice (confinați). Fiecare ion va materializa un qubit. În felul acesta se realizează un registru cuantic pe  $n$  qubiți, unde  $n$  este evident numărul ionilor confinați. Inițializarea registrului se realizează prin pompaj optic, utilizând fascicule laser. După efectuarea calculului cuantic, registrul este citit de asemenea cu radiație laser. Dacă un ion este găsit în stare  $1$  atunci el va absorbi un foton care îl va trece într-o stare superioară, numită *stare supraexcitată*, de unde va reveni în mod spontan, după un timp de ordinul nanosecundelor, în starea  $0$ , cu emisia unui foton de frecvență bine precizată. Detectarea acestui foton de către senzorul special montat în acest scop, constituie evenimentul ce afirmă că ionul s-a găsit în starea  $1$ . Dacă însă ionul se găsea în starea  $0$ , energia fotonilor din fasciculul laser cu care se realizează iradierea registrului cuantic nu mai este suficientă pentru a trece ionul în stare supraexcitată, iar respectivii ioni nu vor mai emite fotoni prin relaxare.

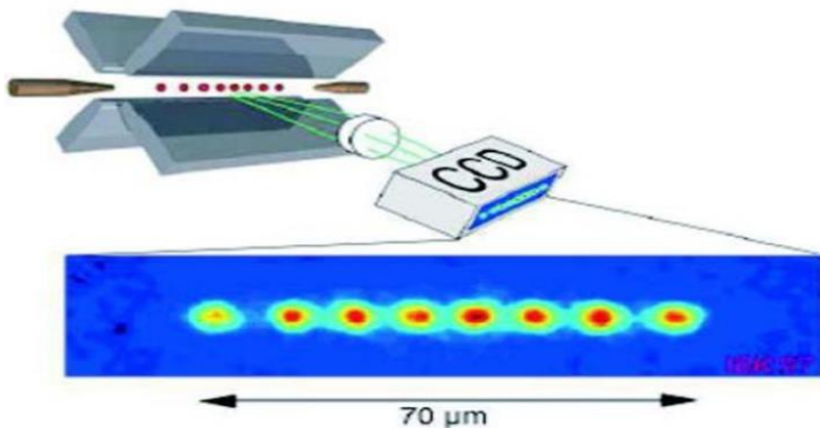


Fig. 2 Principiul capcanei ionice

Dispozitivele cu joncțiune Josephson sunt dispozitive cu corp solid suprarăcite până la apariția fenomenului de supraconductibilitate electrică. După cum se știe, într-un supraconductor apar perechi de electroni cuplați (interacționând între ei), numite perechi Cooper. O joncțiune Josephson va reprezenta un ansamblu insular de perechi Cooper, izolat față de un rezervor supraconductor prin intermediul unei bariere cu tunelare cuantică. Întregul fenomen se desfășoară într-o incintă cu dimensiunile unui micron. În consecință, perechile Cooper se

pot deplasa din zona insulară în rezervorul supraconductor, și înapoi, prin efect tunel. Ele pot fi controlate una câte una, prin intermediul unui electrod poartă de control. Cum zona insulară deține stări cuantice discrete, două dintre acestea vor fi marcate ca  $0$  și respectiv  $1$ .

Operațiile calculului cuantic se vor materializa în semnale de control a grilei de comandă. Pe aceasta se aplică trenuri de microunde de frecvențe bine precizate, în zona insulară realizându-se condițiile de apariție a qubiților. Starea fiecărui qubit poate fi manipulată, astfel încât un impuls de microunde cu durata  $\tau$  poate induce oscilații Rabi controlate între stările  $0$  și  $1$  [3].

#### 4. Concluzii

Computerele cuantice vor deveni în scurt timp o prezență activă în societate, însă nu așa cum își imaginează cei mai mulți. Nu vom vedea computere cuantice pe birou, înlocuind obișnuitele PC-uri, nici incorporate în gadgeturi similare actualelor tablete, telefoane mobile sau etc. Din cauza necesității asigurării pentru buna lor funcționare a unor temperaturi extrem de scăzute, cel puțin în viitorul apropiat și mediu se va reveni la conceptul de *Centru de Calcul* existent acum mai multe decenii. Noi, utilizatorii obișnuiți, ne vom conecta cu computerul cuantic de la distanță, prin intermediul clasicelor PC-uri, făcând solicitări de rulare a diverselor taskuri specifice calculului cuantic și receptând rezultatele operărilor. Astfel, computerul cuantic va deveni la fel de transparent ca și complicatul sistem de interconectare din telefonia mobilă.

#### BIBLIOGRAFIE

- [1] Mahalu, G., *Paradigmele Mecanicii Cuantice*, Editura MatrixROM, București, 2018.
- [2] Rosenblum, B., Kuttner, *Enigma Cuantică*, Editura Prestige, București, 2011.
- [3] Perry, R.T., *The Temple of Quantum Computing*, Merlot Program California State University, 2004.

Conf. Dr.Ing. George MAHALU  
Universitatea "Ștefan cel Mare" Suceava  
Departamentul de Calculatoare, Electronică și Automatică  
membru AGIR  
e-mail: mahalu@eed.usv.ro