



Universitatea Tehnică a Moldovei

**Transmiterea securizată a informației la distanță
utilizând metoda Teleportării Cuantice**

**Secure remote information transmission using the
Quantum Teleportation method**

Masterand:

Răducanu Octavian

Conducător:

**Zgureanu Aureliu
conf. univ. dr.**

Chișinău, 2020

MINISTERUL EDUCAȚIEI, CULTURII ȘI CERCETĂRII AL REPUBLICII MOLDOVA

Universitatea Tehnică a Moldovei

Facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică

Departamentul Ingineria Software și Automatică

Admis la susținere, Șef departament: conf. univ.,
dr. Ion FIODOROV

“ ” _____ 2020

**Transmiterea securizată a informației la distanță
utilizând metoda Teleportării Cuantice**

Teză de master

Masterand:



Răducanu Octavian

Conducător:



Zgureanu Aureliu

conf. univ. dr.

Chișinău, 2020

ADNOTARE

Această teză de master se focusează pe principala problemă actuală de transmitere sigură a informației de la distanță cu ajutorul unei metode inovative din fizica cuantică numită Teleportare.

Structura tezei constă din 3 capitole principale, concluzii la experimentul efectuat și referințe bibliografice.

Primul capitol se va baza pe principiile atât fizice cât și program-logice a metodei de Teleportare, ideile combinate dintre experimente celebre efectuate de savanți și cercetarea avansată a domeniului de studiu. Capitolul 2 se va baza pe proiectarea unui sistem de transmitere sigură a mai multor atomi și preluarea informației acestora, pentru ca ulterior să poată fi formate în cuvinte clare sub formă de mesaje. În capitolul 3 va fi descrisă o simulare efectuată cu scopul de a testa unele metode de transmisie și ulterior cu ajutorul limbajului de programare să fie redată modelele matematice de lucru a sistemului. Scopul final rămâne de a demonstra faptul că este posibil de a interconecta mai multe obiective aflate chiar și la distanțe foarte mari una de cealaltă pentru ca fiecare particulă aflată la destinație să poată comunica între ele fiind purtători de informație cu ajutorul spinilor. În continuare, cercetătorii continuă să testeze diferite metode și să pună în aplicare modele teoretice. Unele pot eșua, altele pot fi confirmate experimental, însă principalul impediment rămâne dificultatea enormă de a stabili și controla particule subatomice pentru ca ulterior cineva să poată comunica cu ajutorul lor transmițând informație fără mediu.

ANNOTATION

This master thesis focuses on the main current problem of secure transmission of information remotely using an innovative method in quantum physics called Teleportation.

The structure of the thesis consists of 3 main chapters, conclusions from the experiment performed and bibliographical references.

The first chapter will be based on both physical and program-logical principles of the Teleportation method, the combined ideas between famous experiments performed by scientists and advanced research in the field of study. Chapter 2 will be based on the design of a secure transmission system of several atoms and the retrieval of their information, so that later they can be formed in clear words in the form of messages. Chapter 3 will describe a simulation performed in order to test some transmission methods and then with the help of the programming language to reproduce the mathematical working models of the system. The ultimate goal remains to demonstrate that it is possible to interconnect several targets even at very great distances from each other so that each particle at the recipients can communicate with each other as carriers of information with the help of spines. Researchers continue to test different methods and implement theoretical models. Some can fail, others can be confirmed experimentally, but the main impediment remains the enormous difficulty of stabilizing and controlling subatomic particles so that later someone can communicate with them by transmitting information without environment.

CUPRINS

| | |
|---|-----------|
| INTRODUCERE | 9 |
| 1 CONSIDERAȚII TEORETICE PRIVIND TELEPORTAREA CUANTICĂ | 11 |
| 1.1 Principiul de legătură | 11 |
| 1.2 Principiul și Testul lui Bell..... | 14 |
| 1.3 Teorema non-clonare | 17 |
| 1.4 Decoerența | 21 |
| 1.5 Teoria informației cuantice..... | 25 |
| 1.6 Principiul non-localității..... | 28 |
| 1.7 Rețea Cuantică | 31 |
| 1.8 Teleportarea Cuantică Deterministă..... | 34 |
| 1.9 Teleportarea Energiei | 37 |
| 2 PROIECTAREA SISTEMULUI DE TELEPORTARE FIZICĂ | 40 |
| 2.1 Schema generală pentru mai multe edificii interconectate..... | 41 |
| 2.2 Diagramele de proiectare pentru simularea transmiterii mesajelor multi-qubit | 47 |
| 3 REALIZAREA EXPERIMENTALĂ ȘI TESTAREA ÎN SIMULATOARE | 53 |
| 3.1 Circuite Cuantice și Metoda Teleportare în simulatoare..... | 54 |
| 3.2 Realizarea aplicației test de transmitere a mesajelor prin metoda Teleportare Cuantică..... | 70 |
| CONCLUZII | 77 |
| BIBLIOGRAFIE | 78 |

INTRODUCERE

Actualitatea temei. În ziua de astăzi, nu putem să ne imaginăm viața fără o conexiune fără fir la diferite dispozitive. Fie că e vorba de un calculator, telefon la rețeaua de internet WI-FI, fie că e vorba de o pereche de căști prin Bluetooth sau chiar telecomanda de la televizorul de zi cu zi, ce utilizează infraroșu. Astfel, conform ultimelor statistici, cele mai multe atacuri sunt săvârșite prin intermediul rețelelor fără fir. De aceea marile companii se străduie să evite acest tip de conexiune la rețeaua internă a mediului de afaceri. În continuare, cercetătorii sunt într-o continuă căutare a metodelor de a crește securitatea rețelelor existente și potențial de a implementa noi tehnologii pentru a zădărnici atacurile tot mai frecvente asupra companiilor. Astfel, una dintre metodele cele mai sigure a fost fondată numită și Teleportare sau transmisiunea la distanță fără a parcurge mediul cum se mai zice. Această metodă, se bazează în special pe informația ce o dețin fiecare particulă din spațiu chiar și aflată la distanță foarte mare. În acest mod, cu o sincronizare fină și mecanisme precise pot fi preluate unele caracteristici ale diferitor particule aflate la un loc îndepărtat unele de celelalte.

Totuși, ca fiecare metodă inovativă și avansată, vine și limitările ei precum și potențiale dificultăți tehnice. Dar, știința evoluează permanent și odată fondat acest principiu de transmisiune la distanță fără mediu, se tinde în continuare spre a depăși dificultățile de ordin tehnic și mediu-dependent. Dezvoltarea acestei tehnici este vizibile din articolele publicate de autori privind experimentele lor de transmisiune la distanțe tot mai mari a informației. Conform recentelor inovații, această metodă de transmisiune fără mediu are potențialul de a traversa global întreg pământul și a distribui mesajele fără vreo careva interferență sau reținere cauzată de mediu. După cum zicea celebrul Einstein „Există șansa ca fiecare din noi să fie interconectat cu universul prin canale cuantice, însă nu dați vina pe univers pentru acțiunile pe care le faceți”.

Scopul cercetării este de a testa experimental metoda de Teleportare pentru mai mulți biți cuantici și de a fi aplicată ulterior în crearea de cuvinte și mesaje. De asemenea alcătuirea unui model la nivel de proiectare a unei rețele de transmisiune la distanță a informației teleportând orientarea spinilor și stărilor particulelor fiind asociate cu litere sau cuvinte din viața reală.

Pentru atingerea acestui scop sunt propuse următoarele **obiective:**

- Cercetarea principiilor teoretice ce stau la baza metodei de Teleportare Cuantică;
- Cercetarea metodelor și experimentelor efectuate pe baza transmiterii informației de la distanță;
- Explicarea tehnologiilor și modelelor fizice ce stau la baza teleportării;
- Definirea tipurilor și diferențele dintre metodele de transmitere la distanță fără mediu;
- Proiectarea unui sistem de interconectare a mai multor utilizatori și comunicarea între ei fără mediu;
- Studiarea și identificarea potențialelor riscuri în metoda de teleportare cuantică;
- Testarea cu ajutorul simulatoarelor, și a limbajului de programare Q# a metodei de teleportare a mai

multor biți cuantici concomitent și elementului de paralelism cuantic;

- Formarea de cuvinte, mesaje prin dezvoltarea metodei clasice de teleportare.

Gradul de cercetare și aport științific. Metoda de transmitere sigură a informației de la distanță cu ajutorul teleportării cuantice este până în prezent la etapa de cercetare și inovare în cadrul mai multor laboratoare. Datorită complexității sporite și a utilajului sofisticat, nu se află pe piață vreun produs comercial ce poate fi utilizat de publicul larg. Astfel, pe viitor se așteaptă ca să fie totuși plasat pe piață dispozitive de comunicare bazate pe transmisiuni cuantice. Totuși, calculatorul cuantic a sporit mult în performanță și astfel, procesarea biților cuantici de către acesta vine în ajutorul metodei date până chiar la etapa de formare a unei rețele cuantice de comunicare. La momentul de față cel mai frecvent model utilizat este modelul unui singur atom, adesea de hidrogen fiind ales pentru experiment. Astfel, informația privind orientarea spinului și axele de fluctuații sunt luate în considerare pentru a fi ulterior legate de un alt atom aflat la distanță mare și preluate de al 2-lea. Un alt model mai complex ce va fi cercetat în lucrarea de față este modelul multi-atom pentru mai multe particule conectate între ele în încercarea de a crea o rețea. Această legătură permite transferul multiplu și mai complex de informație despre valori cum ar fi poziția sau axa de fluctuație în spațiul tridimensional. Cu ajutorul acestui model multi-particulă este posibil de transmis mesaje de lungimi mai mari între mai mulți emițători și receptori. Cu toate că în fizica cuantică nu este clar definit sursa și destinația pentru că adesea informația poate fi transmisă bidirecțional de ambii participanți.

Teleportarea cuantică a avut la bază un principiu despre care se va descrie în cele ce urmează numit interconectare. Astfel, unul dintre testele aplicate noii metode ce abia avea să fie considerată ca un mijloc de transfer a materiei, a fost Testul lui Bell. Testul lui Bell a fost la început un experiment pur teoretic, însă odată cu construcția calculatorului cuantic a fost posibilă replicarea experimentului și pe dispozitive tehnice în practică. Pentru a simula aceste calcule complexe cât mai aproape de mașinăria reală vor fi utilizate limbaje special concepute pentru operațiuni cuantice precum Q# dezvoltat de Microsoft și limbaje inteligente pe bază de script precum Python.

CONCLUZII

În urma realizării etapei de cercetare și implementare a tezei de master, au fost puse bazele teoretice a principiului de teleportare cuantică. Dat fiind faptul că tema este strâns legată cu noțiuni diverse din fizică, a fost necesar la început de punctat unele detalii din teoremele și principiile mecanicii cuantice. Analiza s-a bazat în special pe diverse strategii de teleportare cuantică. Unele dintre acestea fiind posibil de construit în lumea reală, altele doar existând ca experiment în simulatoare la moment. De asemenea, a fost stabilit un model de a crea o rețea de comunicare cuantică. Aceasta deja detaliat a fost prezentată la capitolul 2 legat de proiectare. Proiectarea a fost necesar de a o realiza după 2 modele hibride. Adică, primul legat de tehnologia actuală și de comunicare la distanță fără mediu, iar a 2-lea model vizibil mai complex, dezvoltat și testat în simulatoare, bazat pe paralelism și transmisiune multi-informațională prin teleportare de biți cuantici. Ulterior, cea de a 2-a metodă a fost dezvoltată și cu ajutorul limbajului de programare Q#, de asemenea, prezentată și ca model matematic ce rulează grafic cu ajutorul instrumentului Wolfram Language. De asemenea, experimentul și cercetarea s-a încheiat cu dezvoltarea unei aplicații test de transmitere a mesajelor la distanță fără mediu compuse din mai multe cuvinte. Această aplicație, bazată pe simulator cuantic este deocamdată la început de cale, având un potențial mare atunci când calculatoarele cuantice vor fi produse la scară largă. Cea mai importantă îmbunătățire care a fost prezentată în această lucrare este referitor la transmisiune. Transmisiunea avea adesea nevoie de canale clasice de comunicare pentru confirmări de legături și recepționare date. Astfel, a fost propus un model pentru a nu mai fi nevoie de canal clasic de comunicare nesigure. Dacă spre exemplu transmisiunea a fost întreruptă, din cauza unor interferențe sau potențial atac, acest lucru va fi vizibil de către însuși măsurătoarea imprecisă de fluctuațiile ce le efectuează natural orice particulă la scară foarte mică, cea cuantică. Dat fiind faptul că cercetarea dată este considerată ca fiind complexă, de remarcat faptul că aplicații comerciale nu au fost dezvoltate la moment sau construit un dispozitiv bazat pe rețea cuantică între mai multe filiale sau companii. Dar, potențial din punct de vedere a securității este foarte mare, iar dacă va fi posibil de depășit bariera tehnologică actuală, atunci această metodă de transmisiune la distanță va fi cea mai sigură la atacuri de interceptare date și furt de informații.

BIBLIOGRAFIE

1. Matt Decross, Satyabrata Dash; Quantum Teleportation. Citat [24.08.2020]. Regim de Acces: <https://brilliant.org/wiki/quantum-teleportation/>
2. Lindsey Valich; Is teleportation possible? Yes, in the quantum world, JUNE 19, 2020. Citat [27.08.2020] Regim de Acces: <https://phys.org/news/2020-06-teleportation-quantum-world.html#:~:text=Quantum%20teleportation%20involves%20two%20distant,transmitting%20in%20formation%20in%20quantum%20computing.>
3. Frank Wilczek; Your Simple (Yes, Simple) Guide to Quantum Entanglement, 05.01.16. Citat [03.09.2020]. Regim de Acces: <https://www.wired.com/2016/05/simple-yes-simple-guide-quantum-entanglement/>
4. Adam Augustyn, Adam Zeidan; Complementarity principle. Citat [05.09.2020]. Regim de acces: <https://www.britannica.com/science/complementarity-principle>
5. University of Vienna; February 15, 2018; Fingerprints of quantum entanglement. Citat [06.09.2020]. Regim de access: <https://www.sciencedaily.com/releases/2018/02/180215105726.htm>
6. Natalie Wolchover, Experiment Reaffirms Quantum Weirdness. Citat [07.09.2020]. Regim de acces: <https://www.quantamagazine.org/physicists-are-closing-the-bell-test-loophole-20170207/>
7. Parker, Sybil B. (1994). McGraw-Hill Encyclopaedia of Physics (2nd ed.). McGraw-Hill. p. 542. ISBN 978-0-07-051400-3. Citat [08.09.2020].
8. R.G. Lerner; G.L. Trigg (1991). Encyclopaedia of Physics (2nd ed.). VHC publishers. p. 495. ISBN 978-0-89573-752-6. Citat [09.09.2020].
9. Wootters, William; Zurek, Wojciech (1982). "A Single Quantum Cannot be Cloned". *Nature*. 299 (5886): 802–803. Bibcode:1982Natur.299..802W. doi:10.1038/299802a0. Citat [10.09.2020].
10. Baez, John; Stay, Mike (2010). "Physics, Topology, Logic and Computation: A Rosetta Stone" (PDF). *New Structures for Physics*. Berlin: Springer. pp. 95–172. ISBN 978-3-642-12821-9. Citat [11.09.2020].
11. Barnum, Howard; Caves, Carlton M.; Fuchs, Christopher A.; Jozsa, Richard; Schumacher, Benjamin (1996-04-08). "Noncommuting Mixed States Cannot Be Broadcast". *Physical Review Letters*. 76 (15): 2818–2821. arXiv:quant-ph/9511010. Citat [12.09.2020].
12. Kalev, Amir; Hen, Itay (2008-05-29). "No-Broadcasting Theorem and Its Classical Counterpart". *Physical Review Letters*. 100 (21): 210502. arXiv:0704.1754. Bibcode:2008PhRvL.100u0502K. doi:10.1103/PhysRevLett.100.210502. PMID 18518590. Citat [13.09.2020].
13. Bužek, V.; Hillery, M. (1996). "Quantum Copying: Beyond the No-Cloning Theorem". *Phys. Rev. A*. 54 (3): 1844. arXiv:quant-ph/9607018. Bibcode:1996PhRvA..54.1844B.

- doi:10.1103/PhysRevA.54.1844. PMID 9913670. Citat [14.09.2020].
14. S. Abramsky, "No-Cloning in categorical quantum mechanics", (2008) *Semantic Techniques for Quantum Computation*, I. Mackie and S. Gay (eds), Cambridge University Press. arXiv:0910.2401 Citat [15.09.2020].
 15. Gabriel Araneda, Nataly Cisternas; Telecloning of qudits via partially entangled states; Citat [16.09.2020]. Regim de access: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11128-016-1348-2>
 16. Jeff Hecht, Quantum teleporter creates laser beam clones; 21 February 2006; Citat [17.09.2020]. Regim de Acces: <https://www.newscientist.com/article/dn8756-quantum-teleporter-creates-laser-beam-clones/>
 17. Guido Bacciagaluppi; The Role of Decoherence in Quantum Mechanics; Nov 3, 2003. Citat [18.09.2020]. Regim de Acces: <https://plato.stanford.edu/entries/qm-decoherence/>
 18. Jeffrey Bub, Quantum Entanglement and Information; Aug 13, 2001. Citat [19.09.2020]. Regim de Acces: <https://plato.stanford.edu/entries/qt-entangle/>
 19. Dylan J Saunders, Matthew S Palsson, Geoff J Pryde; The simplest demonstrations of quantum nonlocality. 15 November 2012. Citat [20.09.2020]. Regim de Acces: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1367-2630/14/11/113020>
 20. Marcus Chown (Faber and Faber 2007); Nonlocality and entanglement. Citat [21.09.2020]. Regim de Acces; https://www.physicsoftheuniverse.com/topics_quantum_nonlocality.html
 21. Kimble, H. J. (2008-06-19). "The quantum internet". *Nature*. 453 (7198): 1023–1030. arXiv:0806.4195. Bibcode:2008Natur.453.1023K. doi:10.1038/nature07127. ISSN 0028-0836. PMID 18563153. Citat [22.09.2020].
 22. Pfaff, Wolfgang; Hensen, Bas; Bernien, Hannes; van Dam, Suzanne B.; Blok, Machiel S.; Taminiau, Tim H.; Tiggelman, Marijn J.; Schouten, Raymond N.; Markham, Matthew (2014-08-01). "Unconditional quantum teleportation between distant solid-state qubits". *Science*. 345 (6196): 532–535. arXiv:1404.4369. Bibcode:2014Sci...345..532P. Citat [23.09.2020].
 23. Gisson, Nicolas; Ribordy, Grégoire; Tittel, Wolfgang; Zbinden, Hugo (2002), "Quantum cryptography", *Reviews of Modern Physics*, 74 (1): 145, arXiv:quant-ph/0101098, Bibcode:2002RvMP...74..145G, doi:10.1103/revmodphys.74.145 Citat [24.09.2020].
 24. Muralidharan, Sreraman; Li, Linshu; Kim, Jungsang; Lutkenhaus, Norbert; Lukin, Mikhail; Jiang, Liang (2016), "Optimal architectures for long distance quantum communication", *Scientific Reports, Nature*, 6: 20463, Bibcode:2016NatSR...620463M. Citat [25.09.2020].
 25. Mastorakis, Nikos E. *Networks and Quantum Computing*. Nova Science Publishers, 2012. Citat [26.09.2020].
 26. M. Riebe, H. Häffner, C. F. Roos; Deterministic quantum teleportation with atoms. Citat [27.09.2020]. Regim de Acces:

https://faraday.physics.utoronto.ca/PVB/DanielJames/67_Teleportation.pdf

27. Meiru Huo, Jiliang Qin; Deterministic quantum teleportation through fiber channels. Citat [28.09.2020]. Regim de Acces: <https://advances.sciencemag.org/content/4/10/eaas9401.full>
28. Katia Moskvitch, Squeeze light to teleport quantum energy. Citat [29.09.2020]. Regim de Acces: <https://www.newscientist.com/article/dn24930-squeeze-light-to-teleport-quantum-energy/>
29. Michael Byrne; Reviving the Dream of Quantum Energy Teleportation. Citat [29.09.2020]. Regim de Acces: https://www.vice.com/en_us/article/jp5q4k/teleporting-energy-quantum