

## FIȘA DISCIPLINEI

### 1. Date despre program

1.1 Instituția de învățământ superior	Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
1.2 Facultatea	Facultatea de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației
1.3 Departamentul	Comunicații
1.4 Domeniul de studii	Inginerie electronică, telecomunicații și tehnologii informaționale
1.5 Ciclul de studii	Master
1.6 Programul de studii / Calificarea	Tehnologii Multimedia (TM) / Master
1.7 Forma de învățământ	IF – învățământ cu frecvență
1.8 Codul disciplinei	TM100.00

### 2. Date despre disciplină

2.1 Denumirea disciplinei	Introducere în informația cuantică						
2.2 Aria de conținut	Calcul cuantic						
2.3 Responsabil de curs	CS1 Dr. Liviu Zarbo – liviu.zarbo@itim-cj.ro						
2.4 Titularul activităților de seminar / laborator / proiect	IDT 3 Dr. Teodora Murariu – teodora.murariu@itim-cj.ro CS 3 Dr. Luiza Iarinca – luiza.iarinca@itim-cj.ro						
2.5 Anul de studiu	1	2.6 Semestrul	2	2.7 Tipul de evaluare	Colocviu	2.8 Regimul disciplinei	DA/DFac

### 3. Timpul total estimat

3.1 Număr de ore pe săptămână	4	din care: 3.2 curs	2	3.3 seminar / laborator	2
3.4 Total ore din planul de învățământ	56	din care: 3.5 curs	28	3.6 seminar / laborator	28
Distribuția fondului de timp					ore
Studiul după manual, suport de curs, bibliografie și notițe					5
Documentare suplimentară în bibliotecă, pe platformele electronice de specialitate și pe teren					3
Pregătire seminarii / laboratoare, teme, referate, portofolii și eseuri					5
Tutoriat					3
Examinări					3
Alte activități: .....					
3.7 Total ore studiu individual			19		
3.8 Total ore pe semestru			75		
3.9 Numărul de credite			3		

### 4. Precondiții (acolo unde este cazul)

4.1 de curriculum	
4.2 de competențe	Cunoștințe fundamentale de: algebră liniară, analiză matematică, fizică, programare

### 5. Condiții (acolo unde este cazul)

5.1. de desfășurare a cursului	Cluj-Napoca
5.2. de desfășurare a seminarului / laboratorului / proiectului	Cluj-Napoca

### 6. Competențele specifice acumulate

Competențe profesionale	N/A
Competențe transversale	N/A

### 7. Obiectivele disciplinei (reieșind din grila competențelor specifice acumulate)

7.1 Obiectivul general al disciplinei	Dezvoltarea de competențe și acumularea de cunoștințe relevante pentru aplicații în domeniul calculului cuantic și al comunicațiilor cuantice.
7.2 Obiectivele specifice	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dobândirea noțiunilor de fizică cuantică aflate la baza calculului cuantic: stare cuantică, interferență, superpoziție, entanglement și măsurare.</li> <li>2. Dobândirea noțiunilor de bază de calcul cuantic: qubiti, porți cuantice, circuite cuantice, algoritmi cuantici.</li> <li>3. Dezvoltarea unor deprinderi de bază necesare pentru dezvoltarea de algoritmi cuantici.</li> <li>4. Dobândirea unor noțiuni de bază privind protocoalele de comunicații cuantice.</li> </ol>

### 8. Conținuturi

8.1 Curs	Metode de predare	Observații
1. Noțiuni introductive. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Introducere istorică: de la calculatoare clasice la calculatoare cuantice.</li> <li>• Conceptul de qubit.</li> <li>• Conceptul de stare cuantică, superpoziție, entanglement.</li> <li>• Unde și corpusculi, experimentul cu 2 fante.</li> </ul>	Expunere la tablă, prezentare cu videoproiector, discuții pe marginea unor exemple, rezolvare probleme.	Nu este cazul.
2. Particula cuantică. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Particula liberă în fizica clasică</li> <li>• Ecuația lui Schrodinger, și comportamentul dual al particulei libere.</li> <li>• Bariere de potențial, tunelare cuantică.</li> </ul>		
3. Biți cuantici (qubiți).		

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biți clasici și biți cuantici: reprezentarea pe sfera Bloch a qubiților, determinarea proprietăților cuantice ale acestora și conceptul de măsurătoare cuantică.</li> </ul>		
<p>4. Conceptul de stare cuantică și de măsurare.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stări cuantice.</li> <li>• Observabile și operatori, matricea de densitate.</li> <li>• Probabilități, valori așteptate.</li> <li>• Porți cuantice: interferență, reversibilitate, entanglare.</li> </ul>		
<p>5. Evoluția în timp a sistemelor cuantice.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ecuația Schrodinger dependentă de timp. Evoluția cuantică.</li> <li>• Operatori de evoluție.</li> </ul>		
<p>6. Controlul qubiților</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Precesia Larmor.</li> <li>• Oscilații Rabi.</li> <li>• Principiul de funcționare al porților cuantice.</li> </ul>		
<p>7. Măsurători cuantice.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Măsurătoare proiectivă, experimentul Stern-Gerlach.</li> <li>• Paradoxul Einstein-Podolski-Rosen.</li> <li>• Teste Bell.</li> </ul>		
<p>8. Conceptul de entanglement.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Particule entanglate, cuplaj între spini, cuplaj spin-orbită.</li> <li>• Qubiți entanglați : stări pure, stări mixte.</li> <li>• Porți cu mai mulți qubiți : CNOT, SWAP, Toffoli.</li> </ul>		
<p>9. Aplicații ale conceptului de entanglement.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Imposibilitatea clonării stărilor cuantice.</li> <li>• Teleportarea cuantică.</li> <li>• Prezentare a tehnologiilor bazate pe entanglement: Calculatoare cuantice, senzori cuantici și telecomunicații criptate cuantic.</li> </ul>		
<p>10. Simulări cuantice și algoritmi.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipuri de calculatoare cuantice: digital și analog.</li> <li>• Conceptul de simulare cuantică.</li> <li>• Aplicații ale simulărilor cuantice.</li> <li>• Circuite și algoritmi cuantici.</li> <li>• Algoritmul Grover, conceptul de oracol.</li> </ul>		
<p>11. Algoritmi cuantici.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Algoritmul Deutsch-Josza.</li> <li>• Algoritm VQA (optimizare variațională).</li> <li>• Algoritm QAOA (optimizare cuantică aproximativă).</li> </ul>		
<p>12. Algoritmi cuantici (2).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• RSA și algoritmul Schor.</li> </ul>		
<p>13. Comunicații și criptografie cuantică.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Componentele unei rețele cuantice.</li> <li>• Criptografie cuantică și criptografie clasică.</li> <li>• Protocoale QKD (distribuție de chei cuantice).</li> </ul>		
<p>14. Distribuția de chei cuantice.</p>		

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protocele QKD: cu variabile discrete și continue.</li> <li>• Protocol BB84.</li> <li>• Protocolul Ekert.</li> <li>• Protocolul BBM.</li> </ul>		
<p><b>Bibliografie</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Nielsen and Chuang, Quantum Computation and Quantum Information, Cambridge University Press (2010).</li> <li>2. Ioan Burda, Introduction to Quantum Computation, Universal Publishers (2005).</li> <li>3. David McIntyre, Quantum Mechanics: A Paradigms Approach, Pearson Addison-Wesley (2012).</li> <li>4. Cohen-Tannoudji, Quantum Mechanics, Wiley-VCH; 2nd edition (2019).</li> </ol>		
<p><b>8.2 Laborator</b></p>	<p>Metode de predare</p>	<p>Observații</p>
<p>5. Experimentul cu 2 fante, interferența Mach-Zender, natura corpusculară și ondulatorie a luminii (laboratorul de optică).</p>	<p>Lucrări efectuate în laborator: experimente cuantice cu fotoni, operații cu qubiți folosind platforma TC-ITIM și Quantum Odyssey.</p>	
<p>6. Măsurători nedistructive, detectorul de bombe Elitzur-Vaidman; Generator cuantic de numere aleatoare.</p>		
<p>7. Vizualizarea operațiilor pe qubiți: sfera Bloch, porți cuantice simple (X, Y, Z, etc.), interferența constructivă și distructivă (Quantum Odyssey).</p>		
<p>8. Vizualizarea efectului porților cuantice generatorare de interferență și entanglement în circuitele cuantice (Quantum Odyssey).</p>		
<p>9. Evoluția temporală a biților cuantici și a cantităților fizice asociate acestora. Vizualizare în Python.</p>		
<p>10. Platforma de calcul TQ-ITIM: crearea de circuite cuantice pentru mai multi qubiți, operații și măsurători cuantice: exemplu: algoritmul lui Grover.</p>		
<p>11. Circuite cuantice în Q. Odyssey: vectori, valori proprii, schimbare de baze.</p>		
<p>12. Generarea de entanglement în circuite cuantice (porți cuantice: CNOT, SWAP, Toffoli). Vizualizare în Q. Odyssey, design de algoritmi pe platforma TQ-ITIM.</p>		
<p>13. Generare și manipulare de fotoni entanglați (Laboratorul de Optică).</p>		
<p>14. Oracol cuantic, algoritmul lui Grover (TQ-ITIM, Q. Odyssey)</p>		
<p>15. Algoritmul Deutsch-Josza (TQ-ITIM, Q. Odyssey).</p>		
<p>16. Factorizarea numerelor întregi folosind algoritmul lui Shor.</p>		
<p>17. Teste Bell. Protocolul BB84 (Laboratorul de optică).</p>		
<p>18. Protocolul Ekert. Protocolul BBM (Laboratorul de optică).</p>		
<p><b>Bibliografie</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>19. Nielsen and Chuang, Quantum Computation and Quantum Information, Cambridge University Press (2010).</li> <li>20. Ioan Burda, Introduction to Quantum Computation, Universal Publishers (2005).</li> <li>21. David McIntyre, Quantum Mechanics: A Paradigms Approach, Pearson Addison-Wesley (2012).</li> <li>22. Cohen-Tannoudji, Quantum Mechanics, Wiley-VCH; 2nd edition (2019).</li> </ol>		

**9. Coroborarea conținuturilor disciplinei cu așteptările reprezentanților comunității epistemice, asociațiilor profesionale și angajatorilor reprezentativi din domeniul aferent programului**

Deprinderile dobândite ce urmaresc domeniile ocupationale conform COR pot fi: inginer electronist, inginer de telecomunicatii, inginer proiectant de rețele de calculatoare sau noile domenii propuse pentru a fi incluse: inginer suport vânzari, dezvoltator de aplicatii multimedia, inginer rețele de calculatoare, manager proiecte, inginer consultant in sisteme de comunicatii.

**10. Evaluare**

Tip activitate	10.1 Criterii de evaluare	10.2 Metode de evaluare	10.3 Pondere din nota finală
10.4 Curs	Rezolvarea a 2 probleme și răspunsuri la un set de întrebări din teorie	Probă scrisă	60%
10.5 Seminar/Laborator	Verificarea deprinderilor și abilităților dobândite în urma activităților de laborator	Verificare pe parcurs prin teste de laborator	40%

**10.6 Standard minim de performanță**

**Nivel calitativ:**

*Cunoștințe minimale:*

- ✓ Cunoașterea conceptelor: qubit, stare cuantică, observabilă, măsurătoare cuantică.
- ✓ Cunoașterea conceptelor de superpoziție, interferență, entanglement.

*Competențe minimale:*

- ✓ Să poată preciza efectul unor porți cuantice pentru un singur qubit asupra unui sistem cu mai mulți qubiți.
- ✓ Să poată preciza efectul porților cuantice care creează entanglement asupra unui sistem cu mai multi qubiți.
- ✓ Să poată construi circuite cuantice cu sisteme de până la 3 qubiți.
- ✓ Să poată efectua un experiment în care să demonstreze superpoziția stărilor cuantice.

**Nivel cantitativ:**

- ✓ Efectuarea tuturor lucrărilor de laborator
- ✓ Notele la examen și laborator să fie minim 5.
- ✓ Nota la disciplină se calculează cu relația:  $0,6 * \text{Nota\_examen} + 0,4 * \text{Nota\_laborator}$

Data completării:	Titulari	Titlu Prenume NUME	Semnătura
27.09.2021	Curs	Dr. Liviu Zarbo	
	Aplicații	Dr. Luiza Iarinca	
		Dr. Teodora Murariu	

Data avizării în Consiliul Departamentului Comunicații 27.09.2021	Director Departament Comunicații Prof.dr.ing. Virgil DOBROTĂ
Data aprobării în Consiliul Facultății ETTI 27.09.2021	Decan Prof.dr.ing. Gabriel OLTEAN