



STUDIJŲ DALYKO (MODULIO) APRAŠAS

Dalyko (modulio) pavadinimas	Kodas
Kvantiniai skaičiavimai	

Dėstytojas (-ai)	Padalinys (-iai)
Koordinuojantys: dr. Marco Marozzi Kitas (-i): dr. Francisco Jose Orts Gomez	Matematikos ir informatikos fakultetas Duomenų mokslo ir skaitmeninių technologijų institutas

Studijų pakopa	Dalyko (modulio) tipas
Pirmoji	Pasirenkamasis

Igyvendinimo forma	Vykdymo laikotarpis	Vykdymo kalba (-os)
Auditorinė	6 semestras	Anglų

Reikalavimai studijuojančiajam	
Išankstiniai reikalavimai: Tiesinė algebra, tikimybių teorija	Gretutiniai reikalavimai (jei yra):

Dalyko (modulio) apimtis kreditais	Visas studento darbo krūvis	Kontaktinio darbo valandos	Savarankiško darbo valandos
5	133	64	69

Dalyko (modulio) tikslas: studijų programos ugdomos kompetencijos
Dalyko (modulio) tikslas – suvokti pagrindines sąvokas ir kvantinės mechanikos principus, gebėti analizuoti ir taikyti kvantinius algoritmus, sudaryti kvantinius algoritmus, skirtus spręsti realaus pasaulio uždavinius.

Dalyko (modulio) studijų siekiniai	Studijų metodai	Vertinimo metodai
Suvoks ir gebės paaiškinti pagrindinius kvantinės mechanikos principus, kvantinius skaičiavimo modelius.	Paskaitos, konsultacijos.	Egzaminas (atvirojo, pusiau atvirojo bei uždarojo tipo klausimai ir užduotys).
Gebės sudaryti kvantinius skaičiavimo modelius, atlikti jų analizę ir palyginimą su klasikinėmis skaičiavimo sistemomis.	Laboratoriniai darbai, individualus praktinis darbas.	Laboratorinių darbų vertinimas bei gynimas.
Gebės parinkti ir taikyti tinkamus kvantinius algoritmus, atsižvelgiant į sprendžiamą uždavinį ir jo specifiką.		
Gebės atlikti su kvantine kompiuterija susijusios informacijos šaltinių paiešką, analizuoti ir praktiškai taikyti juose pateikiamas žinias.	Individualus praktinis darbas, konsultacijos.	Egzaminas (atvirojo, pusiau atvirojo bei uždarojo tipo klausimai ir užduotys).

Temos	Kontaktinio darbo valandos							Savarankiškų studijų laikas ir užduotys	
	Paskaitos	Konsultacijos	Seminarai	Pratybos	Laboratoriniai darbai	Praktika	Visas kontaktinis darbas	Savarankiškas darbas	Užduotys
1. Įvadas į kvantinę mechaniką. Bitų ir kubitų palyginimas. Tiesinės algebros sąvokų ir Dirako žymėjimo apžvalga. Kvantinės mechanikos postulatai. Susipynimas. Klonavimo ir ištrynimo negalimumo teoremos. Kvantinė teleportacija. Supertankus kodavimas.	10				4		14	8	Literatūros analizė, pratybos ir laboratoriniai darbai: įvairių tipų kvantinių algoritmų tyrimas ir jų taikymas.
2. Kvantinių grandinių modelis. Kvantiniai vartai. Grįžtamumas. Universalus vartų rinkinys. Sudėtingumo klasės.	6				4		10	6	

3. Kvantiniai algoritmai. Kvantinė Furjė transformacija. Kvantinis fazės įvertinimas. Deutsch-Jozsa algoritmas. Simono algoritmas. Šoro algoritmas. Groverio algoritmas. Kvantinis skaičiavimo algoritmas. Kvantinio skaičiavimo ribos.	8				10		18	20	
4. Atvejų studijų apžvalga ir jų įgyvendinimas. Literatūroje rastų atvejų studijų analizė. Vadovaujamas kai kurių peržiūrėtose atvejų studijose naudotų algoritmų įgyvendinimas.	8				14		22	25	
5. Pasiruošimas egzaminui ir egzamino laikymas.								10	
Iš viso	32				32		64	69	

Vertinimo strategija	Svoris proc.	Atsiskaitymo laikas	Vertinimo kriterijai
Pirmasis laboratorinis darbas	20	Semestro metu	Studentams skiriami individualūs darbai, apimantys 1-2 temas. Maksimalus balų skaičius už užduotį yra 20 balų (tai atitinka 20% viso svorio).
Antrasis laboratorinis darbas	20	Semestro metu	Studentams skiriami individualūs darbai, apimantys 3 temos kvantinius algoritmus. Maksimalus balų skaičius už užduotį yra 20 balų (tai atitinka 20 % viso svorio).
Trečiasis laboratorinis darbas	20	Semestro metu	Studentams skiriamas individualus darbas, apimantis algoritmo, paimto iš 4 temos atvejo studijos, kūrimą ir įgyvendinimą. Maksimalus balų skaičius už užduotį yra 20 balų (tai atitinka 20 % viso svorio).
Egzaminas (raštu)	40	Egzaminų sesijos metu	Galutiniame egzamine leidžiama dalyvauti, jei surinktas minimalus pažymys (lygus 30 balų; atitinka 50 % bendro laboratorinių darbų balų skaičiaus). Egzamino metu studentai gali surinkti iki 40 balų, kurie atitinka 40 % galutinio įvertinimo. Egzamino metu studentas turi įrodyti teorinės kurso dalies (1-3 temos) žinias ir pasiūlyti sprendimą paskirtai problemai, pateikdamas motyvaciją naudotiems įrankiams (4 tema). Įmanomas egzamino laikymas eksterne pateikus pavestus laboratorinius darbus.

Autorius	Leidimo metai	Pavadinimas	Periodinio leidinio Nr. ar leidinio tomas	Leidimo vieta ir leidykla ar internetinė nuoroda
Privaloma literatūra				
Michael A. Nielsen and Isaac L. Chuang	2010	Quantum Computation and Quantum Information		Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511976667
Phillip Kaye, Raymond Laflamme, and Michele Mosca	2007	An Introduction to Quantum Computing		Oxford University Press, https://global.oup.com/academic/product/an-introduction-to-quantum-computing-9780198570493
Ronald de Wolf	2011	Quantum Computing: Lecture Notes		https://arxiv.org/abs/1907.09415
Papildoma literatūra				
Tadas Paulauskas, Julius Ruseckas	2023	Kvantinė kompiuterija		https://www.kvantinekompiuterija.lt/index.html
Lin Lin	2022	Lecture Notes on Quantum Algorithms for Scientific Computation		https://arxiv.org/abs/2201.08309
Anton Frisk Kockum, Ariadna Soro, Laura García-Álvarez, Pontus Vikstål, Tom Douce, Göran Johansson, and Giulia Ferrini	2024	Lecture notes on quantum computing		https://arxiv.org/abs/2311.08445



COURSE UNIT (MODULE) DESCRIPTION

Course unit (module) title	Code
Quantum Computing	

Lecturer(s)	Department(s) where the course unit (module) is delivered
Coordinator: Dr. Marco Marozzi Other(s): Dr. Francisco Jose Orts Gomez	Faculty of Mathematics and Informatics Institute of Data Science and Digital Technologies

Study cycle	Type of the course unit (module)
First	Optional

Mode of delivery	Period when the course unit (module) is delivered	Language(s) of instruction
face-to-face	6 th semester	English

Requirements for students	
Prerequisites: Linear algebra, probability theory	Additional requirements (if any):

Course (module) volume in credits	Total student's workload	Contact hours	Self-study hours
5	133	64	69

Purpose of the course unit (module): programme competences to be developed		
The goal of the subject (module) is to understand the basic concepts and principles of quantum mechanics, to be able to analyze and apply quantum algorithms, to create quantum algorithms for applying them in solving real-world problems.		
Learning outcomes of the course unit (module)	Teaching and learning methods	Assessment methods
Will understand and be able to explain the basic principles of quantum mechanics, quantum computing models.	For understanding - lectures, consultations / exam. To apply the ability - laboratory works, individual work / final work. For the ability to understand literature - individual work, consultations / exam.	Assessment of laboratory assignments, written exam (open, semi-open and closed questions and tasks).
Will be able to create quantum computing models, perform their analysis and comparison with classical computing systems.		
Will be able to select and apply appropriate quantum algorithms, considering the problem to be solved and its specifics.		
Will be able to search for information sources related to quantum computing, analyze and practically apply the knowledge presented in them.		

Content: breakdown of the topics	Contact hours						Self-study work: time and assignments		
	Lectures	Tutorials	Seminars	Exercises	Laboratory work	Internship/work	Contact hours	Self-study hours	Assignments
1. Introduction to quantum mechanics. Comparison between bits and qubits. Recall of linear algebra concepts and Dirac notation. Postulates of quantum mechanics. Entanglement. No-cloning and no-deleting theorems. Quantum teleportation. Superdense coding.	10				4		14	8	Analysis of the literature, exercises and laboratory works, investigation of various types of quantum algorithms and their application.

2. Quantum circuit model. Quantum gates. Reversibility. Universal set of gates. Complexity classes.	6				4		10	6	
3. Quantum algorithms. Quantum Fourier Transform. Quantum Phase Estimation. Deutsch-Jozsa algorithm. Simon's algorithm. Shor's algorithm. Grover's algorithm. Quantum counting algorithm. Limits of quantum computing.	8				10		18	20	
4. Review of case studies and their implementation. Analysis of case studies found in literature. Guided implementation of some algorithms used in the reviewed case studies.	8				14		22	25	
5. Preparation for the exam and taking the exam									
Total	32				32		64	69	

Assessment strategy	Weight, %	Deadline	Assessment criteria
The first laboratory work	20	During the semester	Individual works are assigned to students covering topics 1-2. The maximum score for the assignment is 20 points (this corresponds to 20% of the total weight).
The second laboratory work	20	During the semester	Individual works are assigned to students covering quantum algorithms from topic 3. The maximum score for the assignment is 20 points (this corresponds to 20% of the total weight).
The third laboratory work	20	During the semester	Individual work is assigned to students covering development and implementation of an algorithm from a case study in topic 4. The maximum score for the assignment is 20 points (this corresponds to 20% of the total weight).
Written examination	40	During the exams session	The final exam is allowed to take if the minimum qualifying mark (equal to 30 points; equivalently to 50% of the total score from laboratory works). During the exam, students can collect up to 40 points, which corresponds to 40% of the final assessment. In the examination, the student must prove knowledge of the theoretical part of the course (topics 1-3) and propose a solution to the assigned problem, providing motivation for the tools used (topic 4). It is possible to take the exam externally after submitting the assigned laboratory works.

Author	Year of publication	Title	Issue of a periodical or volume of a publication	Publishing place and house or web link
Compulsory reading				
Michael A. Nielsen and Isaac L. Chuang	2010	Quantum Computation and Quantum Information		Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511976667
Phillip Kaye, Raymond Laflamme, and Michele Mosca	2007	An Introduction to Quantum Computing		Oxford University Press, https://global.oup.com/academic/product/an-introduction-to-quantum-computing-9780198570493
Ronald de Wolf	2011	Quantum Computing: Lecture Notes		https://arxiv.org/abs/1907.09415
Optional reading				
Tadas Paulauskas and Julius Ruseckas	2023	Kvantinė kompiuterija		https://www.kvantinekompiuterija.lt/index.html
Lin Lin	2022	Lecture Notes on Quantum Algorithms for Scientific Computation		https://arxiv.org/abs/2201.08309
Anton Frisk Kockum, Ariadna Soro, Laura García-Álvarez, Pontus Vikstål, Tom Douce, Göran Johansson, and Giulia Ferrini	2024	Lecture notes on quantum computing		https://arxiv.org/abs/2311.08445