



MODULIO APRAŠAS

Dalyko (modulio) pavadinimas	Kodas
Įvadas į kvantinius skaičiavimus	

Dėstytojas (-ai)	Padalinys (-iai)
Koordinuojantis: doc. dr. Linas Petkevičius, Irus Grinis	Informatikos institutas Matematikos ir informatikos fakultetas
Kitas (-i):	Vilniaus universitetas

Studijų pakopa	Dalyko (modulio) lygmuo	Dalyko (modulio) tipas
Pirmoji		Pasirenkamasis

Įgyvendinimo forma	Vykdyto laikotarpis	Vykdyto kalba (-os)
Auditorinė	Antras semestras	Lietuviškai

Reikalavimai studijuojančiajam	
Išankstiniai reikalavimai: Algebra, programavimo pradmenys.	Gretutiniai reikalavimai (jei yra):

Dalyko (modulio) apimtis kreditais	Visas studento darbo krūvis	Kontaktinio darbo valandos	Savarankiško darbo valandos
5	130	64	66

Dalyko (modulio) tikslas: studijų programos ugdomos kompetencijos

Ugdyti pagrindines darbo su kvantiniais skaičiavimais (KS) kompetencijas: problemų formulavimo principus, pagrindinius kvantinių algoritmų konstravimo ir kūrimo principus ir jų specifiką, algoritmų realizavimą, jų paleidimą kvantiniuose simulatoriuose ir tikruose kvantiniuose kompiuteriuose. Komandinio darbo įgūdžių tobulinimas, kritinio ir analitinio mąstymo vystymas.

Bendrosios kompetencijos:

- Gebės raštu ir žodžiu perteikti informaciją, idėjas, problemas ir sprendimus valstybine ir užsienio kalba, bendraudamas su specialistais ir ne specialistais. (1.1)
- Gebės savarankiškai efektyviai organizuoti savo darbą. (1.3)
- Gebės savarankiškai įsisavinti naujas žinias, metodus ir įrankius bei taikyti juos praktikoje. (2.3)

Dalykinės kompetencijos:

- Supras pagrindines programų sistemų inžinerijos koncepcijas bei sąvokas, įskaitant kelias priešakines sritis, suvoks galimas taikymo sritis ir žinos disciplinos aprėptį. (4.1)
- Gebės taikyti matematikos pagrindų, mokslo, inžinerijos, kompiuterių mokslo teorines žinias ir algoritminius principus programų sistemų kūrime. (4.2)
- Gebės abstrakčiai mąstyti, naudoti formalius aprašymo metodus, įrodinėti jų teisingumą, formalizuoti ir specifiukuoti realaus pasaulio problemas. (4.3)
- Gebės derinti teoriją ir praktiką programų sistemų taikymo įvairiose srityse uždavinių sprendimui, įvertinant technologinį, ekonominį, socialinį ir teisinį kontekstą. (6.1)
- Gebės parinkti ir panaudoti tinkamus šiuolaikinius metodus, modelius, problemų sprendimo šablonus, įgūdžius bei įrankius, būtinus programų sistemų kūrimui ir priežiūrai, įskaitant naujas taikymo sritis. (6.2)
- Gebės panaudoti esamą kompiuterių techninę ir programinę įrangą, identifikuoti, perprasti ir taikyti perspektyvias technologijas. (6.3)

Dalyko (modulio) studijų siekiniai	Studijų metodai	Vertinimo metodai
Gebės formuluoti problemas ir jų adaptavimą sprendžiant jas kvantiniais algoritmais, supras KS konstravimo metodikas, gebės kurti ir taikyti naujus kvantinius algoritmus realizuojant juos programiškai, bei naudojant atviro kodo karkasus.	Paskaitos, probleminis dėstymas, informacijos paieška, literatūros skaitymas, savarankiškas darbas, pavyzdžių analizė, konsultacijos, laboratoriniai darbai.	Egzaminas raštu Laboratorinių darbų atsiskaitymas Individualių užduočių atsiskaitymai Komandinių projektų pristatymas
Gebės operuoti kvantinių skaičiavimų sąvokomis, algoritmais, mokės adaptuoti egzistuojančius		

metodus, juos panaudoti realizuojant mokslinius straipsnius, sprendžiant realius uždavinius juos realizuojant kvantiniuose kompiuteriuose/simulatoriuose.		
Gebės rengti tyrimų ataskaitas, suprantamai pristatyti kvantinius algoritmus ir jų realizacijas, vertinti kvantinių algoritmų sudėtingumą. Mokės korektiškai atlikti uždavinio suvedimą į logines kvantines schemas, taikyti praktiškai.		

Temos	Kontaktinio darbo valandos							Savarankiškų studijų laikas ir užduotys	
	Paskaitos	Konsultacijos	Seminariai	Pratybos	Laboratoriniai darbai	Praktika	Visas kontaktinis darbas	Savarankiškas darbas	Užduotys
Ivadas, kurso apžvalga, kompleksiniai skaičiai	2				2		3	0	Savarankiška literatūros paieška ir analizė. Laboratorinių darbų užsiėmimuose daromos kiekvienam užsiėmimui parengtos užduotys, iš einamos temos, žinių užtvirtinimui. Užduotys susideda iš kompleksinių skaičių analizės, kvantinių skaičiavimų ir kvantinių algoritmų.
Kompleksiniai vektoriai ir matricos	2				2		3	4	
Kompleksinių matricių operacijos, savybės	2				2		3	4	
Perrėjimas prie kvantinių skaičiavimų	2				2		3	4	
Pagrindinės kvantinių skaičiavimų savokos	2				2		3	4	
Kvantinių skaičiavimų pagrindai	2				2		3	4	
Tarpinis atsiskaitymas	0				4		3	4	
Algoritmai: Doičo algoritmas	2				2		3	4	
Algoritmai: Doičo-Džozo algoritmas	2				2		3	4	
Algoritmai: Simono periodiškumo algoritmas	2				2		3	4	
Algoritmai: Groverio algoritmas	2				2		3	4	
Algoritmai: Šoro paieškos algoritmas	2				2		3	4	
Informacijos teorija kvantiniuose skaičiavimuose	2				2		3	4	
Statistikos kvantiniai algoritmai	2				2		3	4	
Naujausi kvantinių skaičiavimo modeliai	2				2		3	4	
Komandinių projektų pristatymas.	4				0		8	6	
Pasiruošimas egzaminui, konsultacija ir jo laikymas.		2					3	4	Literatūros studijos, pavyzdžių analizė
Iš viso	32	2			32		64	66	
Vertinimo strategija	Svoris proc.	Atsiskaitymo laikas	Vertinimo kriterijai						
Pirmas atsiskaitymas rašant laboratorinį atsiskaitymą, bei du individualių užduočių atsiskaitymai semestro metu.	50 %	Pirmas laboratorinių darbų atsiskaitymas vyks 7 savaitę. Individualios užduotys atitinkamai atsiskaitomos iki 8 ir 15 semestro savaitės.	Pirmo laboratorinio darbo atsiskaitymo metu, studentas gauna teorines ir praktines užduotis, kurias sprendžia atitinkamos savaitės metu. Dvi individualios užduotys atsiskaitomos semestro metu per laboratorinius darbus. Atsiskaitymo metu, studentas turi pademonstruoti atliktą užduotį, gebėti atsakyti į dėstytojo klausimus, atsiskaitymo metu pamodifikuoti savo programą.						
Komandinio projekto pristatymas ir gynimas	20%	Semestro pabaigoje (16-a savaitė)	Praktinis projektas: studentai yra suskirstomi į grupes po 2-3 studentus; semestro pradžioje studentų grupė iš duoto kvantinių algoritmų sąrašo pasirenka temą. Semestro eigoje studentai išnagrinėja temą apie algoritmą ją įsisavina ir realizuoja dėstytojo pasiūlytą problemą. Semestro pabaigoje projekto pristatymo metu pristatomas algoritmas, bei pristatomi paleidimo rezultatai ir išvados.						
Egzaminas raštu	30 %	Pagal sesijos tvarkaraštį	Egzaminą laikyti galima, jei semestro metu komandinis projektas ir bent viena individuali užduotis įvertinti 50% balų ar daugiau. Dalyvavimas egzamine privalomas. Egzamino metu galima surinkti iki 3 taškų, kurie atitinka 30% galutinio įvertinimo. Egzaminą sudaro atviri klausimai ir praktinės užduotys.						

Autorius	Leidimo metai	Pavadinimas	Periodinio leidinio Nr. ar leidinio tomas	Leidimo vieta ir leidykla ar internetinė nuoroda
Privalomoji literatūra				
Yanofsky, Noson S., and Mirco A. Mannucci	2008	Quantum computing for computer scientists.		
Papildoma literatūra				
Jack D. Hidary	2021	Quantum computing: an applied approach		
Robert Hundt	2022	Quantum Computing for Programmers		



COURSE MODULE DESCRIPTION

Course unit title	Course unit code
Introduction to Quantum Computing	

Lecturer(s)	Department where the course unit is delivered
Coordinator: Linas Petkevičius, PhD, Irus Grinis Other lecturers:	Institute of Computer Science Faculty of Mathematics and Informatics Vilnius University

Cycle	Type of the course unit
First	Optional

Mode of delivery	Semester or period when the course unit is delivered	Language of instruction
Face-to-face	Second semester	Lithuanian

Prerequisites
Prerequisites: Algebra, Introduction to Programming.

Number of credits allocated	Student's workload	Contact hours	Individual work
5	130	64	66

Purpose of the course unit: programme competences to be developed		
<p>To develop the basic competences of working with quantum calculations: the principles of problem formulation, the basic principles of constructing quantum algorithms and their specifics, the realization of algorithms, their running in quantum simulators and real quantum computers. Improvement of teamwork skills, development of critical and analytical thinking.</p> <p>Generic competences:</p> <ul style="list-style-type: none"> • An ability to present, information, ideas, problems, and suggested solutions convincingly in official and second (foreign) language for specialists and non-specialists in written and verbal form. (1.1) • An ability to organise their own work independently (1.3) • An ability independently to acquire new knowledge, methodologies, and tools and to apply them in practice (2.3) <p>Specific competences:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Knowledge and understanding of the key aspects and concepts of software engineering, including some at the forefront of the discipline, insight into possible application fields, and an awareness of the wider spectrum of the discipline. (4.1) • An ability to apply mathematical foundations, knowledge of science and engineering, computer science theory, and algorithmic principles in software systems development. (4.2) • An ability to reason at abstract level, to use formal notation, to prove the correctness, and to apply formalisation and specification for real-world problems. (4.3) • An ability to combine theory and practice to complete software engineering tasks from different application areas while considering the existing technical, economical and social context. (6.1) • An ability to select and use appropriate current techniques, models, solution patterns, skills, and tools necessary for software engineering practice involving emerging application areas. (6.2) • An ability to use existing hardware, software and application systems, to identify, understand and apply the promising technologies. (6.3) 		
Learning outcomes of the course unit: students will be able to	Teaching and learning methods	Assessment methods
They will know how to formulate mathematical problems to adapt quantum algorithms, their	Lectures, problem-oriented teaching, information retrieval, literary	Written exam Midterm evaluation,

construction methodologies, will be able to create and apply new quantum algorithms by implementing them programmatically and using open source frameworks.	reading, individual work, tutorials, laboratory work.	Laboratory assignments Defending team project
Will be able to manage understand algorithmic and practical realisations of quantum calculations, use it when reading/implementing scientific articles, solving real problems by implementing them in quantum computers/simulators.		
Will be able to prepare research reports, present quantum algorithms and their realizations in an understandable manner, evaluate the complexity of quantum algorithms. Will be able to correctly perform the reduction of the problem into logical quantum schemes, apply it practically.		

Course content: breakdown of the topics	Contact hours						Individual work: time and assignments		
	Lectures	Tutorials	Seminars	Practice	Laboratory work (LW)	<i>Tutorial during LW</i>	Contact hours	Individual work	Assignments
Introduction, course overview, complex numbers	2				2		3	0	Individual literature search and analysis. Solving of practical tasks in laboratory work. For each lecture exercises from current topic is assign. Tasks involved complex numbers and vectors, quantum computations and quantum algorithms.
Complex vectors and matrices	2				2		3	4	
Operations, properties of complex matrices	2				2		3	4	
Transition to quantum computing	2				2		3	4	
Basic concepts of quantum computing	2				2		3	4	
Basic concepts of quantum computing	2				2		3	4	
The midterm evaluation	0				4		3	4	
Algorithms: Deutsch's algorithm	2				2		3	4	
Algorithms: Deutsch-Jozsa algorithm	2				2		3	4	
Algorithms: Simon's periodicity algorithm	2				2		3	4	
Algorithms: Grover's algorithm	2				2		3	4	
Algorithms: Shor's factoring search algorithm	2				2		3	4	
Information theory in quantum computing	2				2		3	4	
Statistical quantum algorithms	2				2		3	4	
Recent models of quantum computing	2				2		3	4	
Presenting and defend team project.	4				0		8	6	
Preparation for exam. Exam.		2					3	4	Literature and examples analysis.
Total	32	2			32		64	66	

Assessment strategy	Weight %	Deadline	Assessment criteria
The midterm evaluation, laboratory assignments No. 1, 2	50%	The midterm evaluation will be on 7 th week, and the laboratory work assignments will be settle	During the midterm evaluation, the student receives theoretical and practical assignments, which are solved in the respective week. Two individual assignments are reported during the semester through laboratory work. During the defense of program, the student must demonstrate the completed task, be able to

		up to 8 th and 15 th week of the semester.	answer the lecturer questions, modify his / her program during the evaluation.
Presenting and defending team project	20%	16th week of the semester	Practical project: the team of 2-3 students do the project; In the begin of the semester the team select topic from the given quantum algorithms list. In hole semester team analyze the quantum algorithm and applying to given task. In the report defense the methodology from paper, results on algorithm realisation and conclusions must be presented.
Written exam	30%		Exam can be taken only when at least one laboratory assignments and team project evaluated more than 50% of grade. Maximum 3 points can be collected, which attribute to the 30% of the final score. The exam consists of open questions and practical exercises.

Author	Publishing year	Title	Number or volume	Publisher or URL
Required reading				
Yanofsky, Noson S., and Mirco A. Mannucci	2008	Quantum computing for computer scientists.		
Recommended reading				
Jack D. Hidary	2021	Quantum computing: an applied approach		
Robert Hundt	2022	Quantum Computing for Programmers		