



FUNDAMENTALS OF QUANTUM COMPUTING

Syllabus

Basic information

Field of study Electives	Didactic cycle 2025/26	
Speciality -	Subject code EKOPSW.S.L8.3716.25	
Organizational unit School of Undergraduate and Graduate Studies	Lecture languages English	
Study level undergraduate studies	Mandatory Elective	
Study form full-time	Block Free choice electives	
Education profile general academic/practical	Department responsible for the subject Department of Operational Research	
	Subject related to scientific research No	
	Subject shaping practical skills No	
Coordinator	Marek Szopa	
Teacher	Marek Szopa, Anna Gorczyca-Goraj, Krzysztof Grzanka	
Period Semester 4	Form of teaching, number of hours and method of examination • lecture: 14, Credit with grade	Number of ECTS points 3
Sustainable Development Goals	quality of life; innovation	

Goals

Code	Goal
C1	The course introduces the fundamental concepts of quantum computing and presents quantum computers as a new paradigm of information processing. The learning objectives are to: - distinguish between classical and quantum computation; - understand key principles such as qubits, superposition, entanglement, and measurement; - recognize the sources of quantum computational advantage; - become familiar with essential quantum algorithms; - examine the implications of quantum computing for cryptography, information security, and data analysis.

Recommended requirements

None. The course does not require prior knowledge of quantum mechanics or advanced mathematics.

Subject's learning outcomes

Code	Outcomes in terms of	Major learning outcomes for the subject	Examination methods
Knowledge:			
W1	The student understands the fundamentals of quantum mechanics that are essential for quantum computing.	DNS.M_W01	Final test (written) - test
W2	The student understands the fundamentals of quantum algorithms and their potential applications.	DNS.M_W02	Final test (written) - test
W3	The student understands the impact of quantum computers on cryptography and information security.	DNS.M_W04	Final test (written) - test
Skills:			
U1	The student is capable of explaining the principles of selected quantum algorithms at a conceptual level.	DNS.M_U02	Final test (written) - test
U2	The student is capable of interpreting simple quantum circuit diagrams.	DNS.M_U06	Final test (written) - test
U3	The student can critically assess the capabilities and limitations of contemporary quantum technologies.	DNS.M_U01	Final test (written) - test
Social competences:			
K1	The student recognizes the importance of interdisciplinary learning (physics-computer science-economics).	DNS.M_K02	Final test (written) - test
K2	The student recognizes the importance of quantum computing and its potentially revolutionary impact on contemporary civilization.	DNS.M_K01, DNS.M_K02	Final test (written) - test
K3	The student actively engages in professional development by seeking new solutions, best practices, and innovations.	DNS.M_K05	Final test (written) - test

Study content

No.	Course content	Subject's learning outcomes	Activities
1.	1. Why do we need quantum mechanics? Moore's Law and the limits of classical computation Computationally hard problems (NP, combinatorial explosion) Information as a physical concept (bit vs. qubit)	K2	lecture
2.	2. Intuitive foundations of quantum mechanics Double-slit experiments for light and particles States and superposition (the difference between uncertainty and superposition) Measurement and the Born rule - why measurement destroys information Quantum entanglement (the EPR experiment, intuition behind nonlocality)	W1	lecture
3.	3. The concept of quantum states and quantum circuits The qubit as a state vector (comparison of classical bit vs. qubit) The Bloch sphere (visualization of qubits) Quantum gates as logical operations (NOT, Hadamard, CNOT) Quantum circuits (how a quantum computer is "programmed")	W2, U1	lecture
4.	4. Where does quantum advantage come from? Quantum parallelism - what it really means Interference of amplitudes as a computational resource Why quantum computations cannot be "peeked at" The limits of quantum speed-up	W1, U3, K2	lecture
5.	5. Quantum algorithms - conceptual overview Grover's algorithm (search speed-up, applications in optimization and databases) Shor's algorithm (factorization and cryptography, why RSA is at risk) What does not yet have a quantum algorithm (discussion of limitations)	W2, U1, U2	lecture
6.	6. Cryptography and information security Threats to classical cryptography Quantum cryptography and quantum key distribution (QKD) Are all classical security systems vulnerable to quantum computers?	W3, U3, K2, K3	lecture
7.	State-of-the-art technology and applications NISQ computers Major players: IBM, Google, D-Wave Current vs. future applications: optimization, simulations, finance (portfolio optimization, risk — conceptually)	U3, K1, K3	lecture

Additional information

Activities	Methods of conducting classes	
lecture	Lecture using multimedia techniques, Discussion, Working with electronic document	
Activities	Examination method	Percentage
lecture	Final test (written) - test	100%

Activities	Credit conditions
lecture	Successful completion of the course requires attendance of at least 70% of classes and obtaining a minimum score of 50% on the test.

Literature

Obligatory

1. M. Nielsen, I. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information, Cambridge University Press
2. C. Bernhardt, Quantum Computing for Everyone, MIT Press
3. E. Rieffel, W. Polak, Quantum Computing: A Gentle Introduction, MIT Press

Optional

1. S. Aaronson, Quantum Computing Since Democritus, Cambridge University Press
2. J. Preskill, Lecture Notes on Quantum Computation
3. BM Quantum Experience - <https://quantum.cloud.ibm.com/>

Calculation of ECTS points

Activity form	Activity hours*
lecture	14
Analysis of lecture notes	21
Analysis and interpretation of source materials - statistic data	14
Literature study	21
Solving tasks and case studies	14
Examination	1
Student workload	Hours 85
Number of ECTS points	ECTS 3

* hour means 45 minutes

Major learning outcomes for the subject

Code	Content
DNS.M_K01	Jest gotów do krytycznej oceny posiadanej wiedzy i odbieranych treści.
DNS.M_K02	Jest gotów do uznawania znaczenia wiedzy w rozwiązywaniu problemów poznawczych i praktycznych oraz zasięgania opinii ekspertów w przypadku trudności z samodzielnym rozwiązaniem problemu.
DNS.M_K05	Jest gotów do odpowiedzialnego pełnienia ról zawodowych, z uwzględnieniem zmieniających się potrzeb społecznych, w tym: - rozwijania dorobku zawodu, - podtrzymywania etosu zawodu, - przestrzegania i rozwijania zasad etyki zawodowej oraz działania na rzecz przestrzegania tych zasad.
DNS.M_U01	Potrafi wykorzystywać posiadaną wiedzę - formułować i rozwiązywać złożone i nietypowe problemy z zakresu Informatyki Technicznej i Telekomunikacji oraz innowacyjnie wykonywać zadania w nieprzewidywalnych warunkach przez: - właściwy dobór źródeł i informacji z nich pochodzących, dokonywanie oceny, krytycznej analizy, syntezy, twórczej interpretacji i prezentacji tych informacji, - dobór oraz stosowanie właściwych metod i narzędzi, w tym zaawansowanych technik informacyjno-komunikacyjnych, - przystosowanie istniejących lub opracowanie nowych metod i narzędzi informatycznych.
DNS.M_U02	Potrafi wykorzystywać posiadaną wiedzę - formułować i rozwiązywać problemy oraz wykonywać zadania typowe dla działalności zawodowej informatyka.
DNS.M_U06	Potrafi projektować - zgodnie z zadaną specyfikacją - oraz wykonywać typowe dla kierunku informatyka systemy lub realizować procesy, używając odpowiednio dobranych metod, technik i narzędzi.
DNS.M_W01	Zna i rozumie w pogłębionym stopniu - wybrane fakty, obiekty i zjawiska oraz dotyczące ich metody i teorie wyjaśniające złożone zależności między nimi, stanowiące zaawansowaną wiedzę ogólną z zakresu Informatyki Technicznej i Telekomunikacji oraz z zakresu dyscyplin uzupełniających: Informatyki i Nauk o Zarządzaniu i Jakości tworzących podstawy teoretyczne, uporządkowaną i podbudowaną teoretycznie wiedzę obejmującą kluczowe zagadnienia oraz wybrane zagadnienia z zakresu zaawansowanej wiedzy szczegółowej - właściwe dla programu studiów na kierunku Informatyka.
DNS.M_W02	Zna i rozumie zastosowania praktyczne wiedzy z zakresu Informatyki Technicznej i Telekomunikacji oraz z zakresu dyscyplin uzupełniających: Informatyki i Nauk o Zarządzaniu i Jakości w działalności zawodowej związanej z kierunkiem Informatyka.
DNS.M_W04	Zna i rozumie fundamentalne dylematy współczesnej cywilizacji związane z wykorzystaniem technologii informatycznych.