

POLITECHNIKA KRAKOWSKA IM. TADEUSZA KOŚCIUSZKI

KARTA PRZEDMIOTU

obowiązuje studentów rozpoczynających studia w roku akademickim 2022/2023

Wydział Informatyki i Telekomunikacji

Kierunek studiów: Informatyka

Profil: Ogólnoakademicki

Forma studiów: stacjonarne

Kod kierunku: I

Stopień studiów: II

Specjalności: Data science

1 INFORMACJE O PRZEDMIOCIE

NAZWA PRZEDMIOTU	Obliczenia kwantowe
NAZWA PRZEDMIOTU W JĘZYKU ANGIELSKIM	Quantum computing
KOD PRZEDMIOTU	WiIT I oIIS D10 22/23
KATEGORIA PRZEDMIOTU	Przedmioty specjalnościowe
LICZBA PUNKTÓW ECTS	5.00
SEMESTRY	3

2 RODZAJ ZAJĘĆ, LICZBA GODZIN W PLANIE STUDIÓW

SEMESTR	WYKŁAD	ĆWICZENIA	LABORATORIUM	LABORATORIUM KOMPUTERO- WE	SEMINARIUM	PROJEKT
3	30	0	30	0	0	0

3 CELE PRZEDMIOTU

Cel 1 Wprowadzenie studentów do obliczeń kwantowych ze szczególnym uwzględnieniem aspektu matematycznego oraz informatycznego.

Cel 2 Umiejętność wykorzystania obliczeń kwantowych do rozwiązywania wielu ważnych problemów.

Cel 3 Nauczanie projektowania i analizy obwodów kwantowych.

Cel 4 Wykonanie obliczeń kwantowych na komputerze kwantowym oraz praktyczne doświadczenie w jego programowaniu.

4 WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I INNYCH KOMPETENCJI

- 1 Podstawowa znajomość języka angielskiego umożliwiającą swobodne czytanie dokumentacji oraz artykułów naukowych.
- 2 Znajomość podstaw algebry liniowej.
- 3 Podstawowa znajomość rachunku różniczkowego.
- 4 Umiejętność programowania w dowolnym języku programowania.

5 EFEKTY KSZTAŁCENIA

EK1 Wiedza Student powinien znać zastosowania obliczeń kwantowych oraz potrafić wskazać różnice między obliczeniami kwantowymi, a klasycznymi. Powinni znać matematyczne podstawy obliczeń kwantowych oraz używać algebry liniowej do wyrażania pojęć kwantowych.

EK2 Wiedza Student powinien znać pojęcie paralelizmu kwantowego oraz podstawowe algorytmy kwantowe. Student powinien rozumieć pojęcie teleportacji i znać koncepcję rozproszonych obwodów kwantowych.

EK3 Umiejętności Student potrafi wykorzystać operacje kwantowe oraz bramek kwantowych do analizy i projektowania prostych obwodów kwantowych. Student potrafi rozłożyć bramkę kwantową na elementarne bramki kwantowe i zoptymalizować układ kwantowy.

EK4 Umiejętności Student potrafi programować komputer kwantowy w Pythonie przy wykorzystaniu IBM Qiskit. Student potrafi zbudować prosty obwód kwantowy w programie IBM Quantum Experience.

EK5 Kompetencje społeczne Student potrafi rozwiązywać problemy związane z obliczeniami kwantowymi, analizować publikacje naukowe, prowadzić wnioskowanie. Potrafi projektować algorytmy kwantowe pracując zespołowo.

6 TREŚCI PROGRAMOWE

LABORATORIUM		
LP	TEMATYKA ZAJĘĆ OPIS SZCZEGÓŁOWY BLOKÓW TEMATYCZNYCH	LICZBA GODZIN
L1	Algebra liczb zespolonych. Operacje wektorowe. Koniugaty liczb zespolonych. Operacje na macierzach. Transpozycja macierzy i koniugatu. Macierze hermitowskie i jednostkowe. Podstawa ortonormalna. Obliczanie wartości własnej i wektora własnego macierzy. Obliczanie iloczynów tensorowych. Przykłady splątania.	8
L2	Macierz Hadamarda. Operator Pauli, operatory rotacji, operatorów sterowanych, bramki CNOT, bramki fazowe i bramki wymiany. Macierzowa reprezentacja bramek multi-kubitowych. Projekt obwodu odwracalnego. Sumator kwantowy. Reprezentacja macierzowa obwodów kwantowych.	8
L3	Wprowadzenie do języków programowania kwantowego, Praca z IBM quantum experience. Standardowa abstrakcja programowania dla obwodu kwantowego zwanego QASM (język assemblera kwantowego).	7

LABORATORIUM		
LP	TEMATYKA ZAJĘĆ OPIS SZCZEGÓŁOWY BLOKÓW TEMATYCZNYCH	LICZBA GODZIN
L4	Pisanie kodu obliczeń kwantowych w języku programowania Python z wykorzystaniem Qiskit IBM Q.	7

WYKŁAD		
LP	TEMATYKA ZAJĘĆ OPIS SZCZEGÓŁOWY BLOKÓW TEMATYCZNYCH	LICZBA GODZIN
W1	Wprowadzenie do obliczeń kwantowych. Motywacja i historia obliczeń kwantowych. Mechanika kwantowa. Kwantowa teoria informacji. Kryptografia kwantowa. Przyszłe kierunki rozwoju.	2
W2	Pojęcie kubitu. Matematyczne podstawy obliczeń kwantowych: dodawanie wektorów, mnożenie przez skalar, przestrzeń wektorowa, złożona wewnętrzna przestrzeń produktu, produkt zewnętrzny, koniugat hermitowski, podstawa i wymiar, podstawa ortonormalna, formalizm Bra-Ket, wartości własne i wektory własne.	4
W3	Obliczanie wartości własnej i wektora własnego macierzy. Transpozycja macierzy i transpozycja koniugatu. Macierz hermitowska. Jednostkowa macierz. Normalna macierz. Definicja komutatora. Nałożenie; Splątanie, Stany Bella.	5
W4	Postulaty mechaniki kwantowej. Stan układu mechaniki kwantowej. Ilości obserwowalne reprezentowane przez operatorów. Pomiary. Ewolucja systemu w czasie.	3
W5	Kubity i stany kwantowe. Odwracalność. Twierdzenie o braku klonowania. Rejestry kwantowe, bramka Hadamarda. Operator Pauli. Operator rotacji. Kontrolowane operacje. Bramka CNOT. Bramka fazowa. Zamiana bramek. Macierzowa reprezentacja bramek multi-kubitowych. Rozkład bramkowy.	4
W6	Obwody kwantowe. Definicja modelu obwodu kwantowego. Klasyczne przetwarzanie odwracalne. Koszt kwantowy. Koszt obwodu kwantowego. Optymalizacja obwodów kwantowych. Synteza obwodów kwantowych. Proste obwody kwantowe. Sumator kwantowy.	5
W7	Pierwsze protokoły dla informacji kwantowej. Gęste kodowanie. Teleportacja kwantowa. Teleportacja kwantowa: dzielenie splątanej pary. Klasyczna komunikacja. Rozproszone obliczenia kwantowe. Redukcja kosztów teleportacji.	1
W8	Paralelizm kwantowy: proste algorytmy kwantowe. Algorytm Deutsch, algorytm Deutsch-Jozsa, algorytm Grovera.	3
W9	Inne modele obliczeń kwantowych. Komputery kwantowe. Reprezentacja informacji kwantowej.	1
W10	Rynek obliczeń kwantowych. Kwantowe uczenie maszynowe. Ekonomia kwantowa (zastosowanie fizyki kwantowej w ekonomii).	2

7 NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

N1 Wykłady oraz wykłady video.

N2 Konsultacje.

N3 Ćwiczenia laboratoryjne z wykorzystaniem platformy e-learningowej.

N4 Laboratoria komputerowe.

8 OBCIĄŻENIE PRACĄ STUDENTA

FORMA AKTYWNOŚCI	ŚREDNIA LICZBA GODZIN NA ZREALIZOWANIE AKTYWNOŚCI
Godziny kontaktowe z nauczycielem akademickim, w tym:	
Godziny wynikające z planu studiów	60
Konsultacje przedmiotowe	20
Egzaminy i zaliczenia w sesji	0
Godziny bez udziału nauczyciela akademickiego wynikające z nakładu pracy studenta, w tym:	
Przygotowanie się do zajęć, w tym studiowanie zalecanej literatury	30
Opracowanie wyników	20
Przygotowanie raportu, projektu, prezentacji, dyskusji	20
SUMARYCZNA LICZBA GODZIN DLA PRZEDMIOTU WYNIKAJĄCA Z CAŁEGO NAKŁADU PRACY STUDENTA	150
SUMARYCZNA LICZBA PUNKTÓW ECTS DLA PRZEDMIOTU	5.00

9 SPOSOBY OCENY

OCENA FORMUJĄCA

F1 Obecność na zajęciach i udział w dyskusji

F2 Przygotowanie i wygłoszenie prezentacji

F3 Praca domowa

F4 Wykonywanie zadań laboratoryjnych

F5 Egzamin końcowy

OCENA PODSUMOWUJĄCA

P1 Średnia ważona ocen uzyskanych z poszczególnych ocen formułujących. $P1 = 0.1 * F1 + 0.2 * F2 + 0.2 * F3 + 0.2 * F4 + 0.3 * F5$

WARUNKI ZALICZENIA PRZEDMIOTU**W1** Uzyskanie pozytywnej oceny podsumowującej.**KRYTERIA OCENY**

EFEKT KSZTAŁCENIA 1	
NA OCENĘ 2.0	Student nie spełnia warunków na ocenę 3.0.
NA OCENĘ 3.0	Student opisuje różne zagadnienia związane z obliczeniami kwantowymi, w tym ich wydajnością i zastosowaniami. Student wykonuje podstawowe obliczenia matematyczne dla różnych kwantowych operacji obliczeniowych.
NA OCENĘ 3.5	Student opisuje różne zagadnienia związane z obliczeniami kwantowymi, w tym ich wydajnością i zastosowaniami. Student wykonuje wszystkie opisane na zajęciach obliczenia matematyczne dla różnych kwantowych operacji obliczeniowych.
NA OCENĘ 4.0	Student opisuje różne zagadnienia związane z obliczeniami kwantowymi, w tym ich wydajnością i zastosowaniami. Student wykonuje wszystkie opisane na zajęciach obliczenia matematyczne dla różnych kwantowych operacji obliczeniowych oraz udowadnia różne właściwości operatorów.
NA OCENĘ 4.5	Student opisuje różne zagadnienia związane z obliczeniami kwantowymi, w tym ich wydajnością i zastosowaniami. Student wykonuje wszystkie opisane na zajęciach obliczenia matematyczne dla różnych kwantowych operacji obliczeniowych oraz udowadnia różne właściwości operatorów. Zna postulaty mechaniki kwantowej.
NA OCENĘ 5.0	Student opisuje różne zagadnienia związane z obliczeniami kwantowymi, w tym ich wydajnością i zastosowaniami. Student wykonuje wszystkie opisane na zajęciach obliczenia matematyczne dla różnych kwantowych operacji obliczeniowych oraz udowadnia różne właściwości operatorów. Zna postulaty mechaniki kwantowej. Student zna splątanie i jego zastosowanie w różnych algorytmach kwantowych.
EFEKT KSZTAŁCENIA 2	
NA OCENĘ 2.0	Student nie spełnia warunków na ocenę 3.0.
NA OCENĘ 3.0	Student wyjaśnia podstawowe pojęcia paralelizmu w komputerach kwantowych. Student wyjaśnia jak działa teleportacja.
NA OCENĘ 3.5	Student wyjaśnia podstawowe pojęcia paralelizmu w obliczeniach kwantowych i rozumie bardzo podstawowe algorytmy kwantowe. Student wyjaśnia jak działa teleportacja.
NA OCENĘ 4.0	Student wyjaśnia podstawowe pojęcia równoległości w obliczeniach kwantowych i potrafi wykonywać obliczenia matematyczne dla podstawowych algorytmów kwantowych. Analizuje również proste algorytmy kwantowe i potrafi pisać krok po kroku wzory dla prostych algorytmów kwantowych. Student wyjaśnia jak działa teleportacja.

NA OCENĘ 4.5	Student wyjaśnia podstawowe pojęcia paralelizmu w obliczeniach kwantowych i potrafi wykonywać obliczenia matematyczne dla podstawowych algorytmów kwantowych. Analizuje również proste algorytmy kwantowe i potrafi pisać krok po kroku wzory dla prostych algorytmów kwantowych. Student potrafi również opisać wyniki algorytmów w różnych sytuacjach. Student wyjaśnia jak działa teleportacja.
NA OCENĘ 5.0	Student wyjaśnia podstawowe pojęcia paralelizmu w obliczeniach kwantowych i potrafi wykonywać obliczenia matematyczne dla podstawowych algorytmów kwantowych. Analizuje również proste algorytmy kwantowe i potrafi pisać krok po kroku wzory dla prostych algorytmów kwantowych. Student potrafi również opisać wyniki algorytmów w różnych sytuacjach. Student posiada wszechstronną wiedzę i model obwodowy algorytmów kwantowych. Student wyjaśnia zasadę działania teleportacji oraz zna koncepcję i funkcjonalność rozproszonych obwodów kwantowych oraz ich optymalizację pod kątem kosztów komunikacji.
EFEKT KSZTAŁCENIA 3	
NA OCENĘ 2.0	Student nie spełnia warunków na ocenę 3.0.
NA OCENĘ 3.0	Student rozumie wpływ bramek kwantowych na wyjście prostego obwodu kwantowego.
NA OCENĘ 3.5	Student wykonuje obliczenia matematyczne w celu opisanie wyjścia prostego obwodu kwantowego. Student rozkłada obwód kwantowy na elementarne bramki kwantowe i określa jego koszt.
NA OCENĘ 4.0	Student wykonuje obliczenia matematyczne w celu opisanie wyjścia prostego obwodu kwantowego. Student rozkłada obwód kwantowy na elementarne bramki kwantowe i określa jego koszt. Student projektuje proste obwody kwantowe do zadań matematycznych.
NA OCENĘ 4.5	Student wykonuje obliczenia matematyczne w celu opisanie wyjścia prostego obwodu kwantowego. Student rozkłada obwód kwantowy na elementarne bramki kwantowe i określa jego koszt. Student projektuje proste obwody kwantowe do zadań matematycznych. Student optymalizuje obwód kwantowy pod kątem różnych wskaźników kosztów.
NA OCENĘ 5.0	Student wykonuje obliczenia matematyczne w celu opisanie wyjścia prostego obwodu kwantowego. Student rozkłada obwód kwantowy na elementarne bramki kwantowe i określa jego koszt. Student projektuje proste obwody kwantowe do zadań matematycznych. Student optymalizuje obwód kwantowy pod kątem różnych wskaźników kosztów. Student syntetyzuje obwód kwantowy za pomocą zadanego algorytmu.
EFEKT KSZTAŁCENIA 4	
NA OCENĘ 2.0	Student nie spełnia warunków na ocenę 3.0.
NA OCENĘ 3.0	Student pisze prosty kod w Pythonie dla obwodu kwantowego złożonego z kilku bramek i kubitów.
NA OCENĘ 3.5	Student pisze prosty kod w Pythonie dla obwodu kwantowego złożonego z dowolnej liczby bramek i kubitów.

NA OCENĘ 4.0	Student pisze prosty kod w Pythonie dla obwodu kwantowego złożonego z dowolnej liczby bramek i kubitów. Student korzysta z IBM quantum experience i korzysta z kompozytorów obwodów do budowy układów kwantowych.
NA OCENĘ 4.5	Student pisze prosty kod w Pythonie dla obwodu kwantowego złożonego z dowolnej liczby bramek i kubitów. Student korzysta z IBM quantum experience i korzysta z kompozytorów obwodów do budowy układów kwantowych. Student analizuje wyniki obwodów kwantowych na podstawie IBM quantum experience.
NA OCENĘ 5.0	Student pisze prosty kod w Pythonie dla obwodu kwantowego złożonego z dowolnej liczby bramek i kubitów. Student korzysta z IBM quantum experience i używa kompozytorów obwodów do budowy układów kwantowych. Student analizuje wyniki obwodów kwantowych na podstawie IBM quantum experience. Student pisze kod algorytmów kwantowych w QASM.
EFEKT KSZTAŁCENIA 5	
NA OCENĘ 2.0	Student nie spełnia warunków na ocenę 3.0.
NA OCENĘ 3.0	Student potrafił pracując zespołowo przygotować sprawozdanie oraz prezentację dotyczące problemów związanymi z obliczeniami kwantowymi w stopniu powyżej 50%
NA OCENĘ 3.5	Student potrafił pracując zespołowo przygotować sprawozdanie oraz prezentację dotyczące problemów związanymi z obliczeniami kwantowymi w stopniu powyżej 60%
NA OCENĘ 4.0	Student potrafił pracując zespołowo przygotować sprawozdanie oraz prezentację dotyczące problemów związanymi z obliczeniami kwantowymi w stopniu powyżej 70%
NA OCENĘ 4.5	Student potrafił pracując zespołowo przygotować sprawozdanie oraz prezentację dotyczące problemów związanymi z obliczeniami kwantowymi w stopniu powyżej 80%
NA OCENĘ 5.0	Student potrafił pracując zespołowo przygotować sprawozdanie oraz prezentację dotyczące problemów związanymi z obliczeniami kwantowymi w stopniu powyżej 90%

10 MACIERZ REALIZACJI PRZEDMIOTU

EFEKT KSZTAŁCENIA	ODNIESIENIE DANEGO EFEKTU DO SZCZEGÓŁOWYCH EFEKTÓW ZDEFINIOWANYCH DLA PROGRAMU	CELE PRZEDMIOTU	TREŚCI PROGRAMOWE	NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE	SPOSOBY OCENY
EK1	I2_W02 I2_W03 I2_W06	Cel 1	L1 L2 L3 L4 W1 W2 W3 W4 W5 W6 W7 W8 W9 W10	N1 N2 N3 N4	F1 F2 F3 F4 F5 P1
EK2	I2_W02 I2_W03 I2_W06	Cel 2	L1 L2 L3 L4 W1 W2 W3 W4 W5 W6 W7 W8 W9 W10	N1 N2 N3 N4	F1 F2 F3 F4 F5 P1
EK3	I2_U03b I2_U07 I2_U08 I2_U12	Cel 3	L1 L2 L3 L4 W1 W2 W3 W4 W5 W6 W7 W8 W9 W10	N1 N2 N3 N4	F1 F2 F3 F4 F5 P1
EK4	I2_W02 I2_U01b I2_U08 I2_U11	Cel 3	L1 L2 L3 L4 W1 W2 W3 W4 W5 W6 W7 W8 W9 W10	N1 N2 N3 N4	F1 F2 F3 F4 F5 P1
EK5	I2_U11 I2_U12 I2_K02 I2_K04	Cel 4	L1 L2 L3 L4 W1 W2 W3 W4 W5 W6 W7 W8 W9 W10	N1 N2 N3 N4	F1 F2 F3 F4 F5 P1

11 WYKAZ LITERATURY

LITERATURA PODSTAWOWA

[1] | McMahon, David. — *Quantum computing explained*, , 2007, John Wiley & Sons

[8] | Nielsen, Michael A., and Isaac Chuang. — *Quantum computation and quantum information.*, , 2002,

LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA

[1] | Kaye, Phillip, Raymond Laflamme, and Michele Mosca. — *An introduction to quantum computing*, , 2007, Oxford University Press on Demand

[2] | Nakahara, M. and Ohmi, T., 2008 — *Quantum computing: from linear algebra to physical realizations*, , 2008, CRC press

LITERATURA DODATKOWA

[1] | Perry, R.T. — *The temple of quantum computing. Riley Perry standard, Australia*, , 2006,

12 INFORMACJE O NAUCZYCIELACH AKADEMICKICH

OSOBA ODPOWIEDZIALNA ZA KARTĘ

dr inż. Daniel Grzonka (kontakt: daniel.grzonka@pk.edu.pl)

OSOBY PROWADZĄCE PRZEDMIOT

1 dr Maryam Moghaddam Zomorodi (kontakt: maryam.zomorodimoghaddam@pk.edu.pl)

2 dr inż. Krzysztof Pomorski (kontakt: krzysztof.pomorski@pk.edu.pl)

13 ZATWIERDZENIE KARTY PRZEDMIOTU DO REALIZACJI

(miejscowość, data)

(odpowiedzialny za przedmiot)

(dziekan)

PRZYJMUJĘ DO REALIZACJI (data i podpisy osób prowadzących przedmiot)

.....
.....