

POLITECHNIKA KRAKOWSKA  
IM. TADEUSZA KOŚCIUSZKI

KARTA PRZEDMIOTU

obowiązuje studentów rozpoczynających studia w roku akademickim 2023/2024

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 D9 23/24
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	0	30	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 Znajomość języka angielskiego w stopniu umożliwiającym studiowanie literatury i uczestnictwo w zajęciach.
- 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 KOMPUTEROWE		
LP	TEMATYKA ZAJĘĆ OPIS SZCZEGÓŁOWY BŁOKÓW TEMATYCZNYCH	LICZBA GODZIN
K1	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
K2	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
K3	Wprowadzenie do języków programowania kwantowego, Praca z IBM quantum experience. Standardowa abstrakcja programowania dla obwodu kwantowego zwanego QASM (język assemblera kwantowego).	7

LABORATORIUM KOMPUTEROWE		
LP	TEMATYKA ZAJĘĆ OPIS SZCZEGÓŁOWY BLOKÓW TEMATYCZNYCH	LICZBA GODZIN
K4	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. Pomiar. 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.

**N5** Prowadzenie zajęć z wykorzystaniem narzędzi teleinformatycznych (Delta, Teams)

## 8 OBCIĄŻENIE PRACĄ STUDENTA

FORMA AKTYWNOŚCI	ŚREDNIA LICZBA GODZIN NA ZREALIZOWANIE AKTYWNOŚCI
<b>Godziny kontaktowe z nauczycielem akademickim, w tym:</b>	
Godziny wynikające z planu studiów	60
Konsultacje przedmiotowe	20
Egzaminy i zaliczenia w sesji	0
<b>Godziny bez udziału nauczyciela akademickiego wynikające z nakładu pracy studenta, w tym:</b>	
Przygotowanie się do zajęć, w tym studiowanie zalecanej literatury	30
Opracowanie wyników	20
Przygotowanie raportu, projektu, prezentacji, dyskusji	20
<b>SUMARYCZNA LICZBA GODZIN DLA PRZEDMIOTU WYNIKAJĄCA Z CAŁEGO NAKŁADU PRACY STUDENTA</b>	<b>150</b>
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.**W2** Obecność na zajęciach laboratoryjnych (maksymalnie 2 nieusprawiedliwione obecności)**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	K1 K2 K3 K4 W1 W2 W3 W4 W5 W6 W7 W8 W9 W10	N1 N2 N3 N4 N5	F1 F2 F3 F4 F5 P1
EK2	I2_W02 I2_W03 I2_W06	Cel 2	K1 K2 K3 K4 W1 W2 W3 W4 W5 W6 W7 W8 W9 W10	N1 N2 N3 N4 N5	F1 F2 F3 F4 F5 P1
EK3	I2_U03b I2_U07 I2_U08 I2_U12	Cel 3	K1 K2 K3 K4 W1 W2 W3 W4 W5 W6 W7 W8 W9 W10	N1 N2 N3 N4 N5	F1 F2 F3 F4 F5 P1
EK4	I2_W02 I2_U01b I2_U08 I2_U11	Cel 3	K1 K2 K3 K4 W1 W2 W3 W4 W5 W6 W7 W8 W9 W10	N1 N2 N3 N4 N5	F1 F2 F3 F4 F5 P1
EK5	I2_U11 I2_U12 I2_K02 I2_K04	Cel 4	K1 K2 K3 K4 W1 W2 W3 W4 W5 W6 W7 W8 W9 W10	N1 N2 N3 N4 N5	F1 F2 F3 F4 F5 P1

## 11 WYKAZ LITERATURY

### LITERATURA PODSTAWOWA

[1 ] Chris Bernhardt — *Obliczenia kwantowe dla każdego*, , 2020, PWN

## 12 INFORMACJE O NAUCZYCIELACH AKADEMICKICH

### OSOBA ODPOWIEDZIALNA ZA KARTĘ

dr hab. inż. prof.PK. Paweł Pławiak (kontakt: [pawel.plawiak@pk.edu.pl](mailto:pawel.plawiak@pk.edu.pl))

### OSOBY PROWADZĄCE PRZEDMIOT

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

## 13 ZATWIERDZENIE KARTY PRZEDMIOTU DO REALIZACJI

(miejscowość, data)

(odpowiedzialny za przedmiot)

(dziekan)



**PRZYJMUJĘ DO REALIZACJI** (data i podpisy osób prowadzących przedmiot)

.....