

Karta przedmiotu

Nazwa i kod przedmiotu	Informacja kwantowa, PG_00182652						
Kierunek studiów	Fizyka (O)						
Data rozpoczęcia studiów	październik 2025 r.	Rok akademicki realizacji przedmiotu			2026/2027		
Poziom kształcenia	II stopnia	Grupa zajęć			Grupa zajęć obowiązkowych z zakresu kierunku studiów Grupa zajęć fakultatywnych Grupa zajęć powiązanych z prowadzonymi badaniami naukowymi w dziedzinie nauki związanej z kierunkiem - profil ogólnoakademicki		
Forma studiów	stacjonarne	Sposób realizacji			na uczelni		
Rok studiów	2	Język wykładowy			polski		
Semestr studiów	3	Liczba punktów ECTS			7.0		
Profil kształcenia	ogólnoakademicki	Forma zaliczenia			egzamin		
Jednostka prowadząca							
Imię i nazwisko wykładowcy (wykładowców)	Odpowiedzialny za przedmiot	dr hab. Michał Studziński					
	Prowadzący zajęcia z przedmiotu						
Formy zajęć	Forma zajęć	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium	RAZEM
	Liczba godzin zajęć	45.0	30.0	15.0	0.0	0.0	90
	W tym liczba godzin zajęć na odległość: 0.0						
Aktywność studenta i liczba godzin pracy	Aktywność studenta	Udział w zajęciach dydaktycznych, objętych planem studiów		Udział w konsultacjach		Praca własna studenta	RAZEM
	Liczba godzin pracy studenta	90		0.0		85.0	175
Cel przedmiotu	Zapoznanie studentów z wykorzystaniem własności układów kwantowych do przesyłania, obróbki informacji oraz obliczeń. Wypracowanie odpowiedniego warsztatu teoretyczno-numerycznego odpowiedniego do dalszych samodzielnych studiów w dziedzinie oraz udziału w studenckich projektach badawczych.						

Efekty uczenia się przedmiotu	Efekt kierunkowy	Efekt z przedmiotu	Sposób weryfikacji i oceny efektu
	[FIZMU2_W01] ma zaawansowaną wiedzę z fizyki ogólnej oraz pogłębioną z różnych obszarów fizyki; zna historię rozwoju fizyki i jej znaczenie dla postępu nauk ścisłych i przyrodniczych, poznania świata i rozwoju społecznego	Student wie i rozumie ewolucję teorii informacji od ujęcia klasycznego do kwantowego. Student rozumie podobieństwa i różnice pomiędzy dwiema teoriami, a także jest świadom ograniczeń każdego z podejść.	[SW4] test/egzamin - ustny lub pisemny [SW1] wypowiedź ustna/rozmowa/diskusja
	[FIZMU2_W04] zna zasadę działania układów pomiarowych i aparatury badawczej specyficznych dla obszaru fizyki związanego z wybraną specjalizacją lub zna zaawansowane metody fizyki teoretycznej i matematycznej	Zna podstawowe realizacje eksperymentalne wykorzystywane do tworzenia obwodów kwantowych, protokołów kwantowych. Rozumie ograniczenia omawianych metod i zdaje sobie sprawę z potrzeby ich dalszego rozwoju.	[SW4] test/egzamin - ustny lub pisemny [SW1] wypowiedź ustna/rozmowa/diskusja
	[FIZMU2_W05] zna teoretyczne podstawy metod obliczeniowych oraz technik informatycznych stosowanych do modelowania i symulacji układów fizycznych	Student zna teoretyczne podstawy metod obliczeniowych i technik informatycznych wykorzystywanych do modelowania i symulacji prostych układów z zakresu informacji kwantowej, w szczególności algorytmów i protokołów kwantowych.	[SW4] test/egzamin - ustny lub pisemny [SW2] prezentacja/projekt/referat/raport
	[FIZMU2_W06] posiada wiedzę o aktualnych kierunkach rozwoju fizyki oraz fundamentalnych dylematach współczesnej cywilizacji	Student posiada wiedzę o aktualnych kierunkach rozwoju informacji kwantowej oraz o jej roli w najważniejszych wyzwaniach współczesnej cywilizacji, takich jak bezpieczeństwo komunikacji, rozwój technologii obliczeniowych i wpływ na gospodarkę opartą na danych.	[SW4] test/egzamin - ustny lub pisemny [SW1] wypowiedź ustna/rozmowa/diskusja [SW2] prezentacja/projekt/referat/raport
	[FIZMU2_U09] potrafi pracować samodzielnie lub w zespole	Student potrafi samodzielnie realizować zadania projektowe i badawcze z zakresu informacji kwantowej oraz efektywnie współpracować w zespole przy rozwiązywaniu problemów teoretycznych i obliczeniowych.	[SU1] wypowiedź ustna/rozmowa/diskusja [SU2] prezentacja/projekt/referat/raport [SU4] test/egzamin - ustny lub pisemny [SU8] obserwacja samodzielnej lub zespołowej pracy studenta
	[FIZMU2_K01] zna ograniczenia własnej wiedzy i umiejętności; potrafi precyzyjnie formułować pytania; rozumie potrzebę dalszego kształcenia się i innych osób	Student ma świadomość z odbywającej się rewolucji kwantowej. Student rozumie i potrafi artykułować (ustnie i pisemnie) implikacje poznawcze, gospodarcze, a także społeczne rozwoju technologii kwantowych. Student jest także zorientowany w ograniczeniach i wyzwaniach jakie stoją na drodze dalszego rozwoju technologii kwantowych.	[SK1] wypowiedź ustna/rozmowa/diskusja [SK2] prezentacja/projekt/referat/raport [SK4] test/egzamin - ustny lub pisemny
	[FIZMU2_W03] zna techniki doświadczalne, obserwacyjne i numeryczne pozwalające zaplanować i wykonać złożony eksperyment fizyczny lub symulację komputerową	Student zna podstawowe eksperymentalne i obserwacyjne techniki wykorzystywane w badaniach nad informacją kwantową oraz potrafi wskazać ich zastosowanie przy planowaniu i realizacji złożonego eksperymentu fizycznego. Student zna i rozumie numeryczne metody symulacji układów kwantowych, w tym narzędzia programistyczne umożliwiające przygotowanie i przeprowadzenie komputerowych symulacji procesów kwantowych.	[SW4] test/egzamin - ustny lub pisemny [SW2] prezentacja/projekt/referat/raport

	<table><tr><th>Efekt kierunkowy</th><th>Efekt z przedmiotu</th><th>Sposób weryfikacji i oceny efektu</th></tr><tr><td>[FIZMU2_K02] ma świadomość rozstrzygającej roli eksperymentu w weryfikacji teorii fizycznych; ma świadomość istnienia metody naukowej w gromadzeniu wiedzy</td><td>Student rozumie kluczową rolę eksperymentu w potwierdzaniu i falsyfikacji teorii z zakresu informacji kwantowej oraz potrafi wskazać przykłady doświadczeń, które ugruntowały podstawy tej dziedziny. Student ma świadomość znaczenia metody naukowej w procesie zdobywania wiedzy w obszarze fizyki kwantowej, potrafi krytycznie ocenić wyniki badań i odróżnić wnioski oparte na dowodach od spekulacji.</td><td>[SK1] wypowiedź ustna/rozmowa/ dyskusja [SK4] test/egzamin - ustny lub pisemny</td></tr><tr><td>[FIZMU2_U01] potrafi zastosować metodę naukową w rozwiązywaniu problemów fizycznych, realizacji eksperymentów i wnioskowaniu</td><td>Student potrafi samodzielnie formułować i dowodzić tezy przy wykorzystaniu technik adekwatnych do poziomu prezentowanego kursu informacji kwantowej. Student potrafi podjąć dyskusję w szerszej grupie nt. kwantowej teorii informacji, jest świadom swoich racji i potrafi ich bronić przeprowadzając argumentację naukową.</td><td>[SU1] wypowiedź ustna/rozmowa/ dyskusja [SU2] prezentacja/projekt/referat/ raport [SU4] test/egzamin - ustny lub pisemny</td></tr><tr><td>[FIZMU2_W02] posiada pogłębioną wiedzę w zakresie matematyki oraz metod matematycznych i komputerowych, konieczną do rozwiązywania problemów fizycznych o wysokim poziomie złożoności oraz pogłębioną w wybranym obszarze fizyki</td><td>Student zna i rozumie podstawowy formalizm matematyczny oraz metody numeryczne używane w teorii informacji kwantowej. Rozumie ograniczenia omawianych metod. Student wie i rozumie konieczność dalszego poszukiwania nowych i bardziej efektywnych formalizmów/metod w informacji kwantowej.</td><td>[SW4] test/egzamin - ustny lub pisemny [SW1] wypowiedź ustna/rozmowa/ dyskusja</td></tr></table>	Efekt kierunkowy	Efekt z przedmiotu	Sposób weryfikacji i oceny efektu	[FIZMU2_K02] ma świadomość rozstrzygającej roli eksperymentu w weryfikacji teorii fizycznych; ma świadomość istnienia metody naukowej w gromadzeniu wiedzy	Student rozumie kluczową rolę eksperymentu w potwierdzaniu i falsyfikacji teorii z zakresu informacji kwantowej oraz potrafi wskazać przykłady doświadczeń, które ugruntowały podstawy tej dziedziny. Student ma świadomość znaczenia metody naukowej w procesie zdobywania wiedzy w obszarze fizyki kwantowej, potrafi krytycznie ocenić wyniki badań i odróżnić wnioski oparte na dowodach od spekulacji.	[SK1] wypowiedź ustna/rozmowa/ dyskusja [SK4] test/egzamin - ustny lub pisemny	[FIZMU2_U01] potrafi zastosować metodę naukową w rozwiązywaniu problemów fizycznych, realizacji eksperymentów i wnioskowaniu	Student potrafi samodzielnie formułować i dowodzić tezy przy wykorzystaniu technik adekwatnych do poziomu prezentowanego kursu informacji kwantowej. Student potrafi podjąć dyskusję w szerszej grupie nt. kwantowej teorii informacji, jest świadom swoich racji i potrafi ich bronić przeprowadzając argumentację naukową.	[SU1] wypowiedź ustna/rozmowa/ dyskusja [SU2] prezentacja/projekt/referat/ raport [SU4] test/egzamin - ustny lub pisemny	[FIZMU2_W02] posiada pogłębioną wiedzę w zakresie matematyki oraz metod matematycznych i komputerowych, konieczną do rozwiązywania problemów fizycznych o wysokim poziomie złożoności oraz pogłębioną w wybranym obszarze fizyki	Student zna i rozumie podstawowy formalizm matematyczny oraz metody numeryczne używane w teorii informacji kwantowej. Rozumie ograniczenia omawianych metod. Student wie i rozumie konieczność dalszego poszukiwania nowych i bardziej efektywnych formalizmów/metod w informacji kwantowej.	[SW4] test/egzamin - ustny lub pisemny [SW1] wypowiedź ustna/rozmowa/ dyskusja
Efekt kierunkowy	Efekt z przedmiotu	Sposób weryfikacji i oceny efektu											
[FIZMU2_K02] ma świadomość rozstrzygającej roli eksperymentu w weryfikacji teorii fizycznych; ma świadomość istnienia metody naukowej w gromadzeniu wiedzy	Student rozumie kluczową rolę eksperymentu w potwierdzaniu i falsyfikacji teorii z zakresu informacji kwantowej oraz potrafi wskazać przykłady doświadczeń, które ugruntowały podstawy tej dziedziny. Student ma świadomość znaczenia metody naukowej w procesie zdobywania wiedzy w obszarze fizyki kwantowej, potrafi krytycznie ocenić wyniki badań i odróżnić wnioski oparte na dowodach od spekulacji.	[SK1] wypowiedź ustna/rozmowa/ dyskusja [SK4] test/egzamin - ustny lub pisemny											
[FIZMU2_U01] potrafi zastosować metodę naukową w rozwiązywaniu problemów fizycznych, realizacji eksperymentów i wnioskowaniu	Student potrafi samodzielnie formułować i dowodzić tezy przy wykorzystaniu technik adekwatnych do poziomu prezentowanego kursu informacji kwantowej. Student potrafi podjąć dyskusję w szerszej grupie nt. kwantowej teorii informacji, jest świadom swoich racji i potrafi ich bronić przeprowadzając argumentację naukową.	[SU1] wypowiedź ustna/rozmowa/ dyskusja [SU2] prezentacja/projekt/referat/ raport [SU4] test/egzamin - ustny lub pisemny											
[FIZMU2_W02] posiada pogłębioną wiedzę w zakresie matematyki oraz metod matematycznych i komputerowych, konieczną do rozwiązywania problemów fizycznych o wysokim poziomie złożoności oraz pogłębioną w wybranym obszarze fizyki	Student zna i rozumie podstawowy formalizm matematyczny oraz metody numeryczne używane w teorii informacji kwantowej. Rozumie ograniczenia omawianych metod. Student wie i rozumie konieczność dalszego poszukiwania nowych i bardziej efektywnych formalizmów/metod w informacji kwantowej.	[SW4] test/egzamin - ustny lub pisemny [SW1] wypowiedź ustna/rozmowa/ dyskusja											
Treści przedmiotu	WIADOMOŚCI PODSTAWOWE:Postulaty mechaniki kwantowej. Notacja Diraca. Macierz gęstości. Pomiar kwantowy. Kanał kwantowy, rozkład Krausa. Pojęcie kubitu i sfery Blocha.Stan separowalny i splątany. PRZYKŁADY KWANTOWYCH PROTOKOŁÓW: Protokół BB84, protokół E91, protokół gęstego kodowania oraz teleportacji (wraz z eksperymentalną realizacją). OBWODY KWANTOWE: Koncepcja bramki kwantowej i obwodu kwantowego wraz z podstawowymi przykładami. Uniwersalność zbioru bramek kwantowych wraz z przykładami. Elementy teorii złożoności kwantowej. Przykłady protokołów realizujących obliczenia kwantowe (Deutsch-Jozsa, Shor + implikacje kryptograficzne). ELEMENTY OBLICZEŃ KWANTOWYCH + KOREKCJA BŁĘDÓW: Rodzaje błędów. Kwantowa korekcja błędów, threshold theorem, kody Kitaeva. Problem kwantowej supermacji (boson sampling). Klasyczna symulowalność obliczeń kwantowych. Przykłady kwantowo-klasycznych metod obliczeniowych (VQE, QAOA). Omówienie klasycznych symulacji dyskredytujących kwantowość komputera DWave. ELEMENTY KRYPTOGRAFII KWANTOWEJ: Podstawy klasycznej kryptografii (symetryczne i asymetryczne protokoły, typowe ataki kryptograficzne). Kwantowa dystrybucja klucza (BB84, E91, BBM92 z dowodem bezpieczeństwa - szkic). Kwantowa generacja liczb losowych. Kryptografia kwantowa niezależna od urządzenia. Elementy kwantowego hakerstwa. Omówienie podstawowych realizacji eksperymentalnych. FIZYCZNE REALIZACJE (WYBRANE): Ogólny schemat bramki jedno-qubitowej: oscylacje Rabiego. Defazowanie. Czas T1 i T2. Qubit nadprzewodzący. Złącze Josephsona. Efektywny Hamiltonian kubitu nadprzewodzącego. Główne źródła szumu. Transmon. Bramki jedno-qubitowe, dwuqubitowe, pomiar. Qubit spinowy. Kropka kwantowa. Blokada Kulomba. Bramki jednoqubitowe, dwuqubitowe, pomiar.												
Wymagania wstępne i dodatkowe	Znajomość podstaw mechaniki kwantowej wraz podstawami algebry oraz analizy matematycznej. Znajomość podstaw teorii informacji klasycznej.												
Sposoby i kryteria oceniania osiągniętych efektów uczenia się	<table><tr><th>Sposób oceniania (składowe)</th><th>Próg zaliczeniowy</th><th>Składowa oceny końcowej</th></tr><tr><td>prace i projekty domowe</td><td>51.0%</td><td>35.0%</td></tr><tr><td>egzamin pisemny</td><td>51.0%</td><td>65.0%</td></tr></table>	Sposób oceniania (składowe)	Próg zaliczeniowy	Składowa oceny końcowej	prace i projekty domowe	51.0%	35.0%	egzamin pisemny	51.0%	65.0%			
Sposób oceniania (składowe)	Próg zaliczeniowy	Składowa oceny końcowej											
prace i projekty domowe	51.0%	35.0%											
egzamin pisemny	51.0%	65.0%											

Zalecana lista lektur	Podstawowa lista lektur	Nielsen and Chuang, Quantum Computation and Quantum information, Cambridge University Press; Michel Le Bellac, Wstęp do informatyki kwantowej, Państwowe Wydawnictwo Naukowe; John Watrous, Lecture notes, https://cs.uwaterloo.ca/~watrous/QC-notes/; Wybrane artykuły naukowe dostarczone przez wykładowcę/ wykładowców
	Uzupełniająca lista lektur	N.David Mermin, Quantum Computer Science (An introduction), Cambridge University Press Daniel A. Lidar and Todd A. Brun, Quantum Error Correction, Cambridge University Press Thomas M. Cover, Joy A. Thomas, Elements of Information Theory, Wiley-Interscience Paul Skrzypczyk and Daniel Cavalcanti, Semidefinite Programming in Quantum Information Science, IOP Publishing
	Adresy eZasobów	Podstawowe https://arxiv.org/pdf/1708.03530 - Wykłady Jasona Petta https://www.youtube.com/watch?v=t5nxusm_Umk - Wykłady Alexander Blais, Quantum Computing with Superconducting Qubits https://arxiv.org/pdf/2005.12667 - Elektrodynamika kwantowa obwodów https://www.youtube.com/watch?v=ATpC2Plbi8g&list=PLtTptV8SRcxjedfXwNPSI_fxvxwUCjsd - Wykłady Sergey Frolov, Quantum Transport https://www.youtube.com/watch?v=L-7CQ-walBA - Wykład Jasona Petta
Przykładowe zagadnienia/ przykładowe pytania/ realizowane zadania	-Wyjaśnij różnicę między opisem stanu czystego a stanu mieszanego przy użyciu macierzy gęstości. -Udowodnij, że bramki Hadamarda i CNOT tworzą zbiór uniwersalny dla obwodów kwantowych. -Zasymuluj w Pythonie/QuTiP przebieg teleportacji kwantowej i oblicz wierność przesyłanego stanu. -Wyjaśnij ideę twierdzenia o progu (threshold theorem) w kontekście budowy komputerów kwantowych. -Zaimplementuj w Qiskit prosty kod korekcji błędów (np. 3-qubit bit-flip code) i przeanalizuj skuteczność przy różnych prawdopodobieństwach błędu. -Oblicz informację wzajemną dla dwuqubitowego stanu Bella. -Przedyskutuj znaczenie boson samplingu w kontekście kwantowej supremacji.	
Praktyki zawodowe w ramach przedmiotu	Nie dotyczy	

Dokument wygenerowany elektronicznie. Nie wymaga pieczęci ani podpisu.