



**KAPITAŁ LUDZKI**  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez  
Unię Europejską w ramach  
Europejskiego Funduszu  
Społecznego

**UNIA EUROPEJSKA**  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



|  |                 |   |                         |
|--|-----------------|---|-------------------------|
| <b>Nazwa przedmiotu</b>  |                 | <b>Kod ECTS</b>   |                         |
| Informacja kwantowa - ćwiczenia  |                 | 13.2.0631   |                         |
| <b>Nazwa jednostki prowadzącej przedmiot</b>   |                 |   |                         |
| Instytut Fizyki Teoretycznej i Astrofizyki   |                 |   |                         |
| <b>Studia</b>  |                 |   |                         |
| <b>wydział</b>   | <b>kierunek</b> | <b>poziom</b>   | <b>drugiego stopnia</b> |
| Wydział Matematyki,<br>Fizyki i Informatyki  | Fizyka          | <b>forma</b>  | stacjonarne             |
|  |                 | <b>moduł</b>  | fizyka                  |
|  |                 | <b>specjalnościowy</b>  | Podstawowa              |
| <b>specjalizacja</b>   |                 |   |                         |
| <b>Nazwisko osoby prowadzącej (osób prowadzących)</b>  |                 |   |                         |
| dr Michał Studziński; dr Paweł Mazurek; prof. UG, dr hab. Marcin Pawłowski; prof. dr hab. Michał Horodecki         |                 |   |                         |
| <b>Formy zajęć, sposób ich realizacji i przypisana im liczba godzin</b>  |                 | <b>Liczba punktów ECTS</b>  |                         |
| <b>Formy zajęć</b>   |                 | 3<br>udział studenta w zajęciach (45 godz. ćwiczeń<br>audytoryjnych) - 2 ECTS<br>praca własna studenta - 1 ECTS |                         |
| Ćw. audytoryjne  |                 |   |                         |
| <b>Sposób realizacji zajęć</b>   |                 |   |                         |
| zajęcia on-line, zajęcia w sali dydaktycznej   |                 |   |                         |
| <b>Liczba godzin</b>   |                 |   |                         |
| Ćw. audytoryjne: 45 godz.  |                 |   |                         |
| <b>Termin realizacji przedmiotu</b>  |                 |   |                         |
| 2023/2024 letni  |                 |   |                         |
| <b>Status przedmiotu</b>   |                 | <b>Język wykładowy</b>  |                         |
| obowiązkowy  |                 | polski  |                         |
| <b>Metody dydaktyczne</b>  |                 | <b>Forma i sposób zaliczenia oraz podstawowe kryteria oceny lub wymagania egzaminacyjne</b>                     |                         |
| - Rozwiązywanie zadań<br>- praca własna - praktyczne sprawdzanie<br>umiejętności i wiedzy nabytej podczas wykładu. |                 | <b>Sposób zaliczenia</b>  |                         |
|  |                 | Zaliczenie na ocenę   |                         |
|  |                 | <b>Formy zaliczenia</b>   |                         |
|  |                 | kolokwium   |                         |
|  |                 | <b>Podstawowe kryteria oceny</b>  |                         |
|  |                 | Zaliczenie ćwiczeń na podstawie kolokwium. Skala ocen zgodna z Regulaminem Studiów Uniwersytetu Gdańskiego.     |                         |
|  |                 | składowe oceny  | próg zaliczeniowy       |
|  |                 | kolokwium   | składowa oceny końcowej |
|  |                 |   | 51%                     |
|  |                 |   | 100%                    |
| <b>Sposób weryfikacji założonych efektów uczenia się</b>   |                 |   |                         |

|                             |              |
|-----------------------------|--------------|
| zakładany efekt kształcenia | kolokwium    |
|                             | Wiedza       |
| K_W01                       | +            |
| K_W02                       | +            |
| K_W03                       | +            |
| K_W04                       | +            |
| K_W05                       | +            |
| K_W06                       | +            |
|                             | Umiejętności |
| K_U01                       | +            |
| K_U09                       | +            |
|                             | Kompetencje  |
| K_K01                       | +            |
| K_K02                       | +            |

**Określenie przedmiotów wprowadzających wraz z wymogami wstępnymi**

**A. Wymagania formalne**

-

**B. Wymagania wstępne**

Znajomość podstaw mechaniki kwantowej wraz podstawami algebry oraz analizy matematycznej. Znajomość podstaw teorii informacji klasycznej.

**Cele kształcenia**

Celem przedmotu jest nabycie praktycznych umiejętności w operowaniu pojęciami i faktami przedstawionymi na wykładzie poprzez rozwiązywanie wybranych problemów.

**Treści programowe**

Student nabywa praktycznych umiejętności w operowaniu pojęciami oraz formalizmem prezentowanym podczas wykładu. Odbywać się to będzie poprzez rozwiązywanie odpowiednio dobranych problemów (rozwiązywanie zadań). Obowiązuje ten sam zakres tematyczny jak na wykładzie:

**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):**

Złącze Josephsona.

Efektywny Hamiltonian qubitu nadprzewodzącego.

Główne źródła szumu.

Bramki jedno qubitowe, dwuqubitowe, pomiary.

Wykaz literatury

**Wykaz literatury**

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 ćwiczeniowca/ćwiczeniowców  |  |
|--|--|
| <p><b>Kierunkowe efekty uczenia się</b></p> <p>K_W01 ma rozszerzoną wiedzę z fizyki ogólnej oraz zaawansowaną z wybranego obszaru fizyki; zna historię rozwoju fizyki i jej znaczenie dla postępu nauk ścisłych i przyrodniczych, poznania świata i rozwoju społecznego</p> <p>K_W02 posiada pogłębioną wiedzę w zakresie zaawansowanej matematyki oraz metod matematycznych i komputerowych, konieczną do rozwiązywania problemów fizycznych o średnim poziomie złożoności oraz zawansowaną w wybranym obszarze fizyki</p> <p>K_W03 zna zaawansowane techniki doświadczalne, obserwacyjne i numeryczne pozwalające zaplanować i wykonać złożony eksperyment fizyczny lub symulację komputerową</p> <p>K_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</p> <p>K_W05 informatycznych stosowanych do modelowania i symulacji układów fizycznych</p> <p>K_W06 posiada wiedzę o aktualnych kierunkach rozwoju fizyki, a w szczególności w obrębie obranej specjalizacji</p> <p>K_U01 potrafi zastosować metodę naukową w rozwiązywaniu problemów fizycznych, realizacji eksperymentów i wnioskowaniu</p> <p>K_U09 potrafi pracować samodzielnie i w zespole</p> <p>K_K01 zna ograniczenia własnej wiedzy i umiejętności; potrafi precyzyjnie formułować pytania; rozumie potrzebę dalszego kształcenia się i innych osób</p> <p>K_K02 ma świadomość rozstrzygającej roli eksperymentu w weryfikacji teorii fizycznych; ma świadomość istnienia metody naukowej w gromadzeniu wiedzy</p> | <p><b>Wiedza</b></p> <p>Student:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Zna i rozumie podstawowy formalizm używany w teorii informacji kwantowej.</li> <li>2. Zna i rozumie podstawowe protokoły kwantowe wykorzystywane do przesyłania informacji, kryptografii i obliczeń.</li> <li>3. Zna i rozumie koncepcje obliczeń kwantowych wraz z różnicami w stosunku do obliczeń klasycznych.</li> <li>4. Zna i rozumie podstawy kwantowej kryptografii wraz z przedstawionymi na wykładzie przykładami.</li> <li>5. Zna podstawowe realizacje eksperymentalne wykorzystywane do tworzenia obwodów kwantowych. Rozumie ograniczenia omawianych metod.</li> </ol> <p><b>Umiejętności</b></p> <p>Student potrafi wykorzystywać teorię przedstawioną podczas wykładu do rozwiązywania problemów (zadań) dotyczących treści programowych.</p> <p>Student potrafi dowodzić fakty/twierdzenia będące wariacją treści przedstawianych na wykładzie.</p> <p><b>Kompetencje społeczne (postawy)</b></p> <p>Student nabeędzie kompetencji praktycznych do dyskusji na temat kwantowej teorii informacji. Będzie w stanie przeprowadzić rozumowanie wykazujące ważkość rozwoju teorii kwantowych wraz z jej eksperymentalnymi zastosowaniami dla nowoczesnego społeczeństwa.</p> |
| <p><b>Kontakt</b></p> <p>studzinski.m.g@gmail.com</p>  |  |