



## KARTA OPISU PRZEDMIOTU - SYLABUS

Nazwa przedmiotu

Podstawy inżynierii kwantowej

### Przedmiot

Kierunek studiów

Fizyka Techniczna

Studia w zakresie (specjalność)

Poziom studiów

pierwszego stopnia

Forma studiów

stacjonarne

Rok/semestr

3/5

Profil studiów

ogólnoakademicki

Język oferowanego przedmiotu

polski

Wymagalność

obligatoryjny

### Liczba godzin

Wykład

30

Laboratoria

15

Inne (np. online)

Ćwiczenia

15

Projekty/seminaria

### Liczba punktów ECTS

5

### Wykładowcy

Odpowiedzialny za przedmiot/wykładowca:

dr Gustaw Szawiola, docent dydaktyczny.

Odpowiedzialny za przedmiot/wykładowca:

email : gustaw.szawiola@put.poznan.pl

Wydział Inżynierii materiałowej i Fizyki

Technicznej

Piotrowo 3, 60-965 Poznań

### Wymagania wstępne

Wiedza z fizyki doświadczalnej, fizyki kwantowej, fizyki atomowej, konstrukcji optycznych, podstaw matematyki wyższej, metod analitycznych i symbolicznych. Umiejętność rozwiązywania prostych problemów fizycznych w oparciu o posiadana wiedzę, wykonywanie prostych pomiarów fizycznych. podstawowa obsługa oscyloskopu, generatora funkcji i uniwersalnych mierników elektronicznych, umiejętność korzystania z programów algebry symbolicznej. Zrozumienie konieczności poszerzania swoich kompetencji, gotowość do podjęcia współpracy w ramach zespołu.

### Cel przedmiotu

1. Przekazanie studentom podstawowej wiedzy dotyczącej analizy i inżynierii stanów kwantowych



izolowanych obiektów kwantowych, pozwalające na rozumienie działania i stosowanie prostych modułów funkcjonalnych rozwijanych technik szczególnie kwantowo-informatycznych.

2. Rozwijanie u studentów umiejętności algorytmicznej analizy, planowania i realizacji prostych pomiarów, procesów i eksperymentów kwantowych a także konfigurowania i stosowania prostych modułów funkcjonalnych do realizacji tych procesów, w zakresie określonym przez treści programowe.
3. Kształtowanie u studentów umiejętności samodzielnego kształcenia i zespołowego profesjonalnego działania.

### Przedmiotowe efekty uczenia się

#### Wiedza

W wyniku zajęć student uzyska wiedzę w następującym zakresie :

1. znajomości podstawowych zjawisk kwantowych, w szczególności z dziedziny optyki kwantowej, wykorzystywanych w inżynierii kwantowej; [K1\_W04]
2. definiowania podstawowych typów stanów układów kwantowych, istotnych w inżynierii kwantowej, na podstawie ich matematycznego opisu; rozróżniania stanów czystych i mieszanych, splątanych i separowalnych; stanów koherentnych i stanów Focka; [K1\_W04, K1\_W01]
3. charakteryzacji wybranych implementacji i zastosowań inżynierii kwantowej. [K1\_W13, K1\_W11]

#### Umiejętności

W wyniku przeprowadzonych zajęć student opanuje następujące umiejętności:

1. opisu stanu kwantowego kubitu oraz układu dwóch kubitów i obliczania prawdopodobieństwa wyników określonych kwantowych pomiarów rzutowych; [K1\_U01, K1\_U09]
2. przeprowadzenia procedury tomografii stanu kwantowego kubitu w implementacji na stanach polaryzacyjnych światła i analizy otrzymanych wyników; [K1\_U17, K1\_U09, K1\_U04, K1\_U12]
3. wykonania prostych obliczeń dotyczących transformacji stanów pojedynczych kubitów i ich prostych układów; [K1\_U01, K1\_U09]
4. przeprowadzania transformacji stanu kwantowego kubitu, w implementacji na stanach polaryzacyjnych światła, za pomocą liniowych elementów (retarderów, polaryzatorów) i modułów optycznych [K1\_U17, K1\_U09, K1\_U04, K1\_U12]
5. analizy prostych obwodów kwantowych i wyznaczenia kolejnych stanów kwantowych jakie przyjmuje układ kubitów po transformacji przez moduły funkcjonalne obwodu kwantowego. [K1\_U01, K1\_U09].

#### Kompetencje społeczne

W wyniku przeprowadzonych zajęć student rozwinie wymienione kompetencje społeczne:



1. samodzielnej i zespołowej etycznej pracy, wykazując odpowiedzialność za rzetelność wyników pracy własnej oraz zespołu; [K1\_K01, K1\_K02]
2. profesjonalnego zachowania z odpowiedzialnością za bezpieczeństwo własne i zespołu [K1\_K05, K1\_K07].

### Metody weryfikacji efektów uczenia się i kryteria oceny

Efekty uczenia się przedstawione wyżej weryfikowane są w następujący sposób:

#### 1. Wykład (efekty kształcenia: W01, W02, W03, U03 ):

- forma i składniki oceny (udział procentowy): egzamin pisemny - test wyboru i zadania otwarte (80%), egzamin ustny (20%) ;

- kryteria oceny /ocena: 96% - /5,0; 86%- 95% /4,5; 76%-85% /4; 66 -75% /3,5; 50%-65.0% /3; < 50% /2.

#### 2. Ćwiczenia (efekty kształcenia: U01, U03, K01 ):

- forma i składniki oceny (udział procentowy): bieżące sprawdziany w trakcie ćwiczeń (100%);

- kryteria oceny /ocena: 96% - /5,0; 86%- 95% /4,5; 76%-85% /4; 66 -75% /3,5; 50%-65.0% /3; < 50% /2.

#### 3. Laboratorium (efekty kształcenia: U02, U04, K01, K02 ):

- forma i składniki oceny (udział procentowy): bieżąca ocena realizacji ćwiczeń laboratoryjnych udokumentowana w zeszycie laboratoryjnym (60%); test podsumowujący (30%); sprawozdanie w formie manuskryptu z określonego ćwiczenia (10%).

- kryteria oceny /ocena: 96% - /5,0; 86%- 95% /4,5; 76%-85% /4; 66 -75% /3,5; 50%-65.0% /3; < 50% /2.

### Treści programowe

#### 1. Tomografia i inżynieria stanów pojedynczego kubitu.

- a. Ujednolicony opis i tomografia stanu kwantowego (czystego i mieszanego) kwantowego pojedynczego kubitu.
- b. Transformacja obrotów stanów pojedynczego kubitu – elementarne jednokubitowe bramki kwantowe.
- c. Inżynieria dynamiki pojedynczego kubitu w ujęciu półklasycznym - oscylacje Rabiego.
- d. L:Transformacja obrotów stanów polaryzacyjnych światła.
- e. L:Tomografia stanów polaryzacyjnych światła.



2. Układy dwóch kubitów, proste obwody kwantowe.

- a. Opis stanów układów dwukubitowych. Nierówność Bella – operacje i splatanie w układach kwantowych.
- b. Inżynieria dynamiki i transformacje stanów układów dwukubitowych. Dwukubitowe bramki kwantowe. Twierdzenie o nieklonowaniu.
- c. Synteza transformacji unitarnych. Proste obwody kwantowe i teleportacja stanów kwantowych.
- d. L:: Synteza dowolnych stanów polaryzacyjnych światła – składanie operacji transformacji obrotów.

3. Narzędzia i implementacje.

- a. Kwantowe pola elektromagnetyczne we wnęce rezonansowej. Detekcja i statystyczna charakterystyka światła w stanach Focka i stanach koherentnych.
- b. Izolowane układy kwantowe i ich obserwacja – pułapka jonowa Paula.
- c. Model Jaynesa-Cummingsa oddziaływania układ dwupoziomowego z polem elektromagnetycznym.
- d. L:: Cechowanie fotodetektora.
- e. L: Detekcja pojedynczych fotonów za pomocą fotodiody lawinowej.

4. Zastosowania (cz.1.) – elementy informatyki kwantowej.

- a. Kwantowy generator liczb losowych. Podstawy kwantowej dystrybucja klucza szyfrującego .
- b. Procesor kwantowy – wymagania i zastosowania. Przykłady implementacji.
- c. Analiza prostych algorytmów kwantowych.
- d. L: Interferencja kwantowa - zjawisko gumki kwantowej w interferometrze Macha-Zehndera.
- e. L: Badanie kwantowego generatora liczb losowych.

5. Zastosowania (cz. 2.) - elementy metrologii kwantowej.

- a. Pomiary nieniszczące stanów kwantowych.
- b. Czujniki i detektory kwantowe oparte o pojedyncze izolowane struktury. Interferometria Ramseya.
- c. Podstawy interferometrii wspomaganą splątaniem kwantowym, stany NOON.
- d. L: Pomiar nieniszczący – kwantowy efekt Zenona.

(L – laboratorium)



## Metody dydaktyczne

1. Wykład: prezentacja multimedialna, uzupełniana przykładami podawanymi na tablicy.
2. Ćwiczenia: indywidualne i zespołowe rozwiązywanie problemów; kierowana i samodzielna analiza przypadków, np. dotyczących obwodów kwantowych.
3. Ćwiczenia laboratoryjne: przeprowadzanie eksperymentów fizycznych, realizacja protokołów pomiarowych; obsługa przyrządów i urządzeń pomiarowych, analiza i raportowanie wyników pomiarów, praca w małych zespołach eksperymentalnych.

## Literatura

### Podstawowa

1. Bernard Zygelman, A First Introduction to Quantum Computing and Information, Springer 2018, pozycja dostępna w formie e-booka poprzez E-Zasoby Biblioteki Politechniki Poznańskiej
2. Abraham Asfaw, Luciano Bello, Yael Ben-Haim, Sergey Bravyi, Nicholas Bronn, Lauren Capelluto, Almudena Carrera Vazquez, Jack Ceroni, Richard Chen, Albert Frisch, Jay Gambetta, Shelly Garion, Leron Gil, Salvador De La Puente Gonzalez, Francis Harkins, Takashi Imamichi, David McKay, Antonio Mezzacapo, Zlatko Mineev, Ramis Movassagh, Giacomo Nannicini, Paul Nation, Anna Phan, Marco Pistoia, Arthur Rattew, Joachim Schaefer, Javad Shabani, John Smolin, Kristan Temme, Madeleine Tod, Stephen Wood, James Wootton, "Learn Quantum Computation Using Qiskit", 2020, <http://community.qiskit.org/textbook>;
3. Christopher C. Gerry, Peter L. Knight, Wstęp do optyki kwantowej, Wydawnictwo Naukowe PWN 20071. M. Le Bellac, Wstęp do informatyki kwantowej, Wydawnictwo Naukowe PWN 2011, pozycja dostępna w formie e-booka poprzez E-Zasoby Biblioteki Politechniki Poznańskiej

### Uzupełniająca

1. Michel Le Bellac, Wstęp do informatyki kwantowej, Wydawnictwo Naukowe PWN 2011, pozycja dostępna w formie e-booka poprzez E-Zasoby Biblioteki Politechniki Poznańskiej
2. Mark Beck, Quantum mechanics : theory and experiment, Oxford University Press 2012
3. Marek Sawerwain, Joanna Wiśniewska, Informatyka kwantowa : wybrane obwody i algorytmy, Wydawnictwo Naukowe PWN 2015



**Bilans nakładu pracy przeciętnego studenta**

	Godzin	ECTS
Łączny nakład pracy	132	5,0
Zajęcia wymagające bezpośredniego kontaktu z nauczycielem	72	3,0
Praca własna studenta (studia literaturowe, przygotowanie do zajęć laboratoryjnych/ćwiczeń, przygotowanie do kolokwium/egzaminu, wykonanie projektu) <sup>1</sup>	90	3,0

<sup>1</sup> niepotrzebne skreślić lub dopisać inne czynności