



## KARTA OPISU PRZEDMIOTU - SYLABUS

Nazwa przedmiotu

Metrologia kwantowa

### Przedmiot

Kierunek studiów

Elektronika i telekomunikacja

Studia w zakresie (specjalność)

Elektroniczne systemy programowalne i optotelekomunikacja

Poziom studiów

drugiego stopnia

Forma studiów

stacjonarne

Rok/semestr

I/2

Profil studiów

ogólnoakademicki

Język oferowanego przedmiotu

polski

Wymagalność

obieralny

### Liczba godzin

Wykład

30

Laboratoria

30

Inne (np. online)

Ćwiczenia

0

Projekty/seminaria

0

### Liczba punktów ECTS

4

### Wykładowcy

Odpowiedzialny za przedmiot/wykładowca:

prof. dr hab. inż. Waldemar Nawrocki

Wydział Informatyki i Telekomunikacji

e-mail: waldemar.nawrocki@put.poznan.pl

tel. 61 665 3888

Odpowiedzialny za przedmiot/wykładowca:

### Wymagania wstępne

Student posiada znajomość metrologii, systemów pomiarowych, fizyki kwantowej i fizyki ciała stałego na poziomie wykładu akademickiego dla studentów elektroniki i telekomunikacji. Student potrafi łączyć układy elektroniczne oraz konfigurować systemy pomiarowe.

### Cel przedmiotu

Pozyskanie wiedzy i umiejętności w zakresie pomiarów i wzorców o największej rozdzielczości i dokładności, które są cechą charakterystyczną metrologii kwantowej.

### Przedmiotowe efekty uczenia się

Wiedza

Student zna rozwój systemów jednostek miar a w szczególności kwantowy System SI z 2018 roku zdefiniowany na podstawie zjawisk kwantowych i podstawowych stałych fizycznych.



Student zna zasadę nieoznaczoności Heisenberga i potrafi ją wykorzystać do określenia granic fizycznych niepewności pomiarów. Student zna graniczne dokładności pomiaru najważniejszych wielkości fizycznych.

Student zna podstawy fizyczne zjawiska Josephsona. Student wie jak wykorzystać zmiennoprądowego zjawisko Josephsona do budowy kwantowych wzorców napięcia elektrycznego (stałego i przemiennego) oraz do budowy źródła promieniowania elektromagnetycznego w zakresie mikrofal.

Student zna zasady podstawy fizyczne kwantowego efektu Halla (QHE) oraz jego wykorzystanie do budowy kwantowego wzorca rezystancji elektrycznej.

Student zna podstawy fizyczne działania atomowych wzorców częstotliwości i czasu. Międzynarodowe skale czasu, ich propagowanie (dissemination) i wykorzystanie (satelitarne systemy nawigacyjne, telekomunikacja, bankowość).

Student zna pojęcie i działanie dzielnika sygnałów wielkiej częstotliwości, tzw. grzebienia częstotliwości optycznej.

Student zna podstawy fizyczne działania laserów i ich zastosowanie w metrologii długości.

Student zna pojęcie tunelowania pojedynczych elektronów (SET) przez bariere potencjału i wykorzystanie tego zjawiska kwantowego do buforów wzorców prądu elektrycznego.

Student zna pojęcie kwantowania rezystancji elektrycznej w nanostrukturach i skutki tego efektu dla miniaturyzacji podzespołów w układach scalonych o wielkiej skali integracji (VLSIC).

Student zna zasady działania i obszar zastosowania nadprzewodnikowych detektorów strumienia magnetycznego SQUID.

#### Umiejętności

Student potrafi określić rozdzielczość i dokładność pomiaru właściwą do zadania pomiarowego.

Student potrafi obliczyć graniczną niepewność pomiaru dla danych warunków pomiaru na podstawie zasady nieoznaczoności.

Student potrafi określić czułość układów pomiarowych, a zwłaszcza wzmacniaczy, znając poziom ich szumów własnych.

Student potrafi dobrać metodę zmniejszenia poziomu szumów układów i zna techniki prowadzące do tego celu.

Student potrafi obliczyć napięcie generowane przez kwantowe, wzorcowe źródło napięcia ze złączami Josephsona.

Student potrafi odczytać i zinterpretować pomiar rezystancji nanostruktury za pomocą urządzenia z kwantowym efektem Halla.



Student potrafi wykorzystać laser do pomiarów długości z rozdzielczością równą długości fali emitowanej przez laser.

Student potrafi zmierzyć średnicę lub grubość nanostruktury za pomocą pomiarów jej rezystancji elektrycznej korzystając z efektu kwantowania rezystancji.

Student zna konstrukcję mikroskopu skaningowego i potrafi wykorzystać go do obrazowania powierzchni obiektu.

#### Kompetencje społeczne

Student nabywa i doskonali umiejętności działania w grupie wykonującej zespołowe zadanie w laboratorium dydaktycznym. Jest świadomy dobrych efektów pracy grupowej przy odpowiedzialnym współdziałaniu wszystkich członków grupy.

Student potrafi podzielić prace związane z przygotowaniem wspólnego raportu z wykonania zadania.

Student nabywa cechy systematyczności w pracy dzięki regularnemu, cotygodniowemu wykonywaniu zadań (ćwiczeń laboratoryjnych) i sprawozdań z tych prac.

Student jest szczególnie wyczulony na skutki działania projektowanych i eksploatowanych systemów dla bezpieczeństwa ludzi (zwłaszcza ich życia) i bezpieczeństwa sprzętu – przykłady dotyczą systemów pomiarowo-kontrolnych w sieciach infrastruktury komunalnej.

Student ma świadomość istotnego znaczenia czynnika ekonomicznego przy budowie i eksploatacji wzorców jednostek miary i systemów pomiarowych.

Student jest świadomy stałego rozwoju techniki w ogóle i techniki pomiarowej w szczególności i związanej z tym konieczności własnego doskonalenia zawodowego przez poznawanie nowych standardów dotyczących sprzętu i oprogramowania.

Ma świadomość konieczności przestrzegania etyki zawodowej.

#### Metody weryfikacji efektów uczenia się i kryteria oceny

Efekty uczenia się przedstawione wyżej weryfikowane są w następujący sposób:

Egzamin pisemny po zakończeniu wykładu. Sprawdzanie przygotowania do zajęć laboratoryjnych.

Kontrola raportów z zajęć laboratoryjnych

#### Treści programowe

- Systemy jednostek miary i ich rozwój. Międzynarodowy system SI z 2018: definicja systemu i jednostek miary. Realizacja wzorów jednostek miar: "mise en pratique". Alternatywne kwantowe systemy miar.
- Zjawisko Josephsona, wzorce napięcia stałego i przemiennego z matrycami złącz Josephsona. Warunki techniczne do instalowania i poprawnego działania kwantowego wzorca napięcia. Przetwornik U/f ze złączem Josephsona, źródła częstotliwości rzędu 1 THz ze złączami Josephsona.



- Nadprzewodnikowe detektory strumienia magnetycznego SQUID. Ich zastosowania w medycynie oraz innych obszarach nauki i techniki.
- Kwantowy efekt Halla i kwantowy wzorzec rezystancji elektrycznej. Warunki techniczne do instalowania i poprawnego działania kwantowego wzorca rezystancji.
- Kwantowe wzorce częstotliwości i zegary atomowe: maser wodorowy, cezowe wzorce częstotliwości (w ich wariantach o różnej dokładności) oraz fizyczne podstawy wzorców częstotliwości optycznej.
- Grzebień sygnałów o częstotliwości z widma optycznego.
- Międzynarodowe skale czasu i częstotliwości. Polski wkład w metrologię czasu.
- Tunelowanie pojedynczych elektronów (SET) oraz par Coopera przez barierę potencjału. Wzorce natężenia prądu stałego wykorzystujące efekt SET.
- Kwantowanie rezystancji elektrycznej w nanostrukturach. Implikacje zjawiska kwantowania rezystancji w procesie miniaturyzacji podzespołów ( tranzystorów i ścieżek) układów scalonych wielkiej skali integracji. Wykorzystanie efektu kwantowania do pomiarów rozmiaru geometrycznego struktur o skali atomowej.
- Lasery w zastosowaniu metrologicznych - dalmierze.
- Mikroskopy skaningowe: skaningowy mikroskop tunelowy, mikroskop sił atomowych, inne mikroskopy bliskiego pola.
- Termometria szumowa.

### Metody dydaktyczne

wykład, laboratorium, konsultacje, praca własna studentów

### Literatura

Podstawowa

1. Wstęp do metrologii kwantowej, Nawrocki W., Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2007.
2. Introduction to Quantum Metrology, Nawrocki W., Springer, Heidelberg, wyd. 2, 2019.
3. Quantum Metrology, Goebel E., Siegner U, Wiley, New York, 2015.
4. Komputerowe systemy pomiarowe, Nawrocki W., Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2006.

Uzupełniająca

1. Measurement Systems and Sensors, Nawrocki W., Artech House, London-Boston, wyd. 2, 2015.
2. 9th Edition of the SI Brochure (Draft), BIPM, Sevres, 2019. <https://www.bipm.org/en3>.



### Bilans nakładu pracy przeciętnego studenta

	Godzin	ECTS
Łączny nakład pracy	100	4,0
Zajęcia wymagające bezpośredniego kontaktu z nauczycielem	75	3,0
Praca własna studenta (studia literaturowe, przygotowanie do zajęć laboratoryjnych/egzaminu) <sup>1</sup>	25	1,0

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