

Warsaw University of Technology | Doctoral School No. 3

Course offered in the Doctoral School No. 3
– Spring semester of the 2021/2022 academic year

TITLE
Quantum Biophotonics
CONDUCTING UNIT
Doctoral School No. 3
SCIENTIFIC DISCIPLINE
Automation, electronic and electrical engineering
IMPLEMENTING UNIT
103000 - Faculty of Electronics and Information Technology
SUMMARY DESCRIPTION
<p>Kwantowa biofotonika (QBF), będąca częścią takich dyscyplin jak informacyjne technologie kwantowe, metrologia kwantowa, technologie obrazowania, oraz aparatura biomedyczna nie jest wykładana w postaci zwartej jako całość tworząca nowy obszar nauk inżyneryjno-technicznych na pograniczu z naukami o życiu i medycyną. Obszar ten jest interdyscyplinarny i obejmuje następujące specjalności z przymiotnikiem kwantowy: zasadę działania, technologię elementów i urządzeń oraz systemów funkcjonalnych, fotonikę, informatykę, architekturę kwantowego sprzętu biomedycznego, itp. Przy obecnym szybkim rozwoju obszaru metrologii kwantowej pozwalającej na nowe metody pomiarowe i obrazowania, coraz częściej znacznie poniżej klasycznych limitów rozdzielczości, szumów i ograniczeń kwantowych, przedmiot QBF na ten temat wydaje się celowy i wartościowy. Aparatura kwantowa będzie wypierała klasyczną w wielu obszarach w ciągu następnych dziesięcioleci.</p>
FULL DESCRIPTION
<p>Kwantowa Biofotonika jako sub-obszar kwantowych technik informacyjnych. Obszar zainteresowań i działy QBF. Różnice między klasycznymi technologiami oddziaływania i obrazowania a kwantowymi. Kwantowe przekraczanie barier szumowych, dyfrakcyjnych i kwantowych. Biofotonika jest kombinacją biologii i fotoniki oraz w niektórych coraz częstszych i przyszłościowych obszarach, kwantowych technik informacyjnych, w tym metrologicznych. Biofotonika dotyczy rozwoju aplikacji technik optycznych i kwantowo optycznych, szczególnie detekcji słabych sygnałów i obrazowania do badań molekuł biologicznych, komórek, oraz tkanek. Zastosowanie technik QBF, np. w postaci detektorów kwantowych, charakteryzuje się szeregiem zalet, że zachowują one integralność badanych obiektów biologicznych. Biofotonika i QBF są ogólnymi terminami dla wszystkich technik zajmujących się interakcją pomiędzy</p>

obiektami biologicznymi i fotonami, w tym fotonami pojedynczymi, oraz falami nieklasycznymi jak światło ściśnięte/anty-ściśnięte, sub/super Poissonowskie. Badane zjawiska obejmują emisję, detekcję, absorpcję, odbicie, rozproszenie, modyfikację i generację promieniowania z biomolekularnych obiektów, komórek, tkanek, organizmów i biomateriałów. Obszary obecnych zastosowań BF i potencjalnych QBF obejmują nauki o życiu, medycynę, rolnictwo, nauki o środowisku. Głównym obszarem działania/zastosowania BF/QBF jest diagnostyka, choć posiada także zastosowania terapeutyczne. Rozwijane techniki QBF wprowadzają zupełnie nowe możliwości badawcze w wymienionych obszarach i następnie w konsekwencji aplikacyjne. Takie obszary jak mikroskopia, obrazowanie 2/3D, fuzja czujników, wydobywanie wiedzy, detekcja i przetwarzanie słabych sygnałów, magnetometria, itp. mają silne perspektywy kwantowe.

- * Przypomnienie klasyki, metrologia, inteligentne obrazowanie, technologiczna dostępność technik kwantowych;
- * Optyka kwantowa. Statystyka fotonowa. Światło Poissonowskie. Światło super i sub-Poissonowskie. Pojedynczy foton;
- * Informacja kwantowa. Qubit. Nielokalność. Splątanie. Przyczynowość informacyjna. Oświecenie kwantowe;
- * Biofotonika. Definicja dziedziny. Zjawiska biofotoniczne. Zastosowania. Przegląd technik biofotonicznych;
- * Kwantowa biofizyka. Kwantowa biologia. Kwantowa Biofotonika.
- * Biosygnały optyczne. Aktywacja kwantowa. Dekohierencja kwantowa w systemach biologicznych.
- * Metrologia kwantowa. Wzmocnienie kwantowe metrologii klasycznej. Jak jest dokładna metrologia kwantowa. Estymacja kwantowa a klasyczna. Splątanie dwuczęściowe i wieloczęściowe. Limit Heisenberga. Gdzie szukać przewagi nad metrologią klasyczną. Szum i niedoskonałości eksperymentu. Kwantowy efekt Zeno i akumulacja błędów. Metrologia kwantowa w biomedycynie.
- * Materiały kwantowe w biofotonice. Metamateriały fotoniczne.
- * Czujniki kwantowe. Dojrzałość techniczna czujników kwantowych. Ograniczenia czujników kwantowych. Dokładność czujników kwantowych. Czujniki kwantowe do pomiarów wielkości biomedycznych. SQID. Interferometr ze ściśniętym światłem. Spektroskopia kwantowa NMR. Detekcja splątanych fotonów. Kwantowe detektory pikselowe.
- * Obrazowanie kwantowe i klasyczne. Litografia kwantowa. Ghost imaging. Obrazujące matryce kwantowe, Rodzaje kwantowych metod obrazowania.
- * Mikroskopia kwantowa. Modyfikowane techniki mikroskopowe.
- * Klasyczne i kwantowe techniki biofotoniczne: OB, MPI/MPE, SRS, SBS, CRS, SERS, MES, CSAR, TPEF, MUSE, SHG,
- * Techniki specjalne. Techniki mezoskopowe i nanoskopowe. Plazmonika. Mikro i nanofluidyka, Nanoskopowe pułapkowanie, Pęseta optyczna. Etykietowanie kwantowe. Kwantowe etykiety fluorescencyjne (kropki kwantowe). Emergencje kwantowe. Kwantowe techniki odkrywania leków.
- * Oddziaływania subkrytyczne i aktywacyjne;
- * Wspomagane kwantowo techniki obliczeniowe w biofizyce i biofotonice; Obliczeniowe techniki kwantowe inspirowane biologią.

LITERATURE

Literatura (przykładowa):

- [1] M.Arndt, et al., 2009, Quantum physics meets biology, HFSPJ 3(6) 386-400
- [2] Di Zhou, R.Gilmore, 2010, What is quantum biophysics, physics.drexel.edu
- [3] G.R.Fleming, et al., 2011, Quantum effects in biology, Proceedia Chem. 3(2011) 38-57

- [4] Ken-Tye Yong, 2012, Quantum dots for biophotonics, *Theranostics* 2(7) 629-630
- [5] L.Liu, et.al., 2013, NIR Ag nanocrystals as optical probes for in Vivo applications, *Theranostics* 3(2) 109-115
- [6] M.Asano, et al., 2015, Quantum information biology, arXiv:1503.02515
- [7] A.Stekhin, et al., 2018, Quantum biophysics of water, *CP* 15(3) 663-670
- [8] V.Giovannetti, 2011, Advances in quantum metrology, arXiv:1102.2318
- [9] R.Demkowicz-Dobrzański, et al., 2012, The elusive Heisenberg limit in quantum enhanced metrology, arXiv:1201.3940
- [10] Y.Israel, et al., 2014, Supersensitive polarization microscopy using NOON states of light, *PRL* 112(103604)
- [11] G.Toth, I.Apellaniz, 2014, Quantum metrology from a quantum information science perspective, arXiv:1405.4878
- [12] M.Tsang, et al., Quantum theory of superresolution for two incoherent optical point sources, arXiv:1511.00552
- [13] S.Piradola, et al., 2018, Advances in photonic quantum sensing, arXiv:1811.01969
- [14] L.Pezze, et al., 2018, Quantum metrology with nonclassical states of atomic ensembles, arXiv:1609.01609
- [15] Journals, *Photonics Spectra Magazine* [photonics.com]; *Biophotonics magazine* [biophotonics-digital.com]; *AIP Biophysics Reviews* [aip.scitation.org/journal/bpr]

LEARNING OUTCOMES

efekty uczenia się
 student, który zaliczył przedmiot: forma zajęć/
 technika kształcenia sposób weryfikacji (oceny)* odniesienie do efektów uczenia się
 dla programu

WIEDZA

Ma wiedzę w zakresie: podstaw fizyki kwantowej, zjawisk kwantowych w tym fotonicznych w systemach biomedycznych, oraz wykorzystywanych do budowy urządzeń technicznych. wykład egzamin

Ma uporządkowaną, podbudowaną teoretycznie wiedzę w zakresie projektowania i zasad użytkowania technicznych urządzeń kwantowych jak: czujników, urządzeń pomiarowych, systemów złożonych w tym biomedycznej kwantowej aparatury biomedycznej.

wykład egzamin

UMIEJĘTNOŚCI

Potrafi wykorzystać poznane metody oraz modele teoretyczne i techniczne do analizy podstawowych zagadnień z obszaru kwantowej biofizyki i biofotoniki oraz niektórych informacyjnych technologii kwantowych oraz do podstawowych metod projektowania funkcjonalnych kwantowych urządzeń metrologicznych.

wykład egzamin

Potrafi wykorzystać poznane zasady i metody kwantowej biofotoniki oraz niektórych informacyjnych technologii kwantowych oraz odpowiednie narzędzia projektowania do rozwiązywania podstawowych zadań z obszaru metrologii kwantowej i jej integracji z metodami klasycznymi. wykład

opcjonalnie laboratorium egzamin

praca w laboratorium, sprawozdanie

Potrafi pozyskiwać informacje z literatury, baz danych oraz innych źródeł, potrafi integrować uzyskane informacje, dokonywać ich interpretacji, a także wyciągać wnioski

oraz formułować i uzasadniać opinie. Potrafi skutecznie pracować w projektowym środowisku wirtualnym. wykład
 opcjonalnie laboratorium egzamin
 praca w laboratorium, sprawozdanie

KOMPETENCJE SPOŁECZNE

Rozumie potrzebę uczenia się przez całe życie; potrafi inspirować i organizować proces uczenia się innych osób. wykład,
 laboratorium egzamin, praca w laboratorium
 Potrafi współdziałać i pracować w grupie, przyjmując w niej różne role.
 wykład
 laboratorium egzamin,
 praca w laboratorium

ASSESSMENT METHODS AND CITERIA; COURSE COMPLETION FORM

1. Liczba godzin kontaktowych – 30 godz (opcjonalnie 45 godz), w tym
 - uczestnictwo w wykładach: 30 godz.,
 - uczestnictwo w laboratoriach/projekcie: 15 godz.
 2. Praca własna studenta – 30 godz., w tym
 - przygotowanie do laboratorium z projektem: 10 godz.,
 - przygotowanie do egzaminu: 20 godz.
- Łączny nakład pracy studenta wynosi 50 godz., co odpowiada 2 pkt ECTS.
 (opcjonalnie 75 godz, co odpowiada 3 pkt ECTS)

LANGUAGE OF THE COURSE		ECTS CREDITS
English		2
TYPE OF CLASSES	NUMBER OF HOURS	COURSE INSTRUCTOR
Lecture	30	Ryszard Romaniuk, prof. dr hab. inż.