

Излучение и подсчет одиночных фотонов: от основ до применений в нанофотонике

Single photon emission and counting: from basics to nanophotonic applications

1. Лектор: Дмитрий Зуев

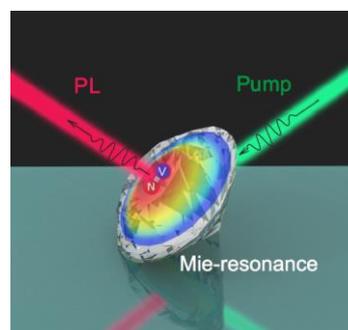
Ассистенты по лекциям: Э. Агеев, Я. Сун

Лабораторные работы: А. Ларин, В. Ярошенко

Lecturer: D. Zuev

Lecture assistants: E. Ageev, Y. Sun

Laboratory assistants: A. Larin, V. Yaroshenko



2. Краткая аннотация:

Данный курс направлен на формирование базовых знаний в области излучения и подсчета одиночных фотонов. Подробно будут описаны принципы подсчёта одиночных фотонов с корреляцией по времени, современные методы времязрешенной микроскопии и корреляционной спектроскопии, а также их применение для различных областей физики и наук о жизни. Также будут рассмотрены вопросы экспериментальной квантовой нанофотоники, связанные с использованием различных материалов для генерации одиночных фотонов, управлением их излучением и созданием квантовых устройств на чипе.

Short annotation:

This course represents basic information in the field of radiation and counting of single photons. The principles of single photons counting with time correlation, modern methods of time-resolved microscopy and correlation spectroscopy, as well as their application in physics and life sciences are described in details. The issues of experimental quantum nanophotonics associated with the use of various materials for generating single photons, controlling their radiation and creating quantum devices on a chip are also considered.

3. Название программы и семестр: Нанофотоника и метаматериалы, третий семестр

Study program and semester: Nanophotonics and metamaterials, 3rd semester.

4. Детальное описание курса с разбиением по лекциям/семинарам/практикам:

	Тема	Тип занятий
Часть 1. Подсчет одиночных фотонов		
1	Введение: историческая справка, конфокальная микроскопия, флуоресцентная микроскопия	Лекция
2	Коррелированный по времени счет одиночных фотонов (TCSPC): принципы работы	Лекция
3	Инструментарий для TCSPC: источники возбуждения, оптические системы, электроника	Лекция
4	Детекторы для подсчета фотонов	Лекция
Тест на основе 1 части		

Часть 2. Излучение одиночных фотонов		
5	Введение: зачем нам нужны одиночные фотоны?	Лекция
6	Характеристики однофотонного источника (интерферометр ХБТ, спектральная яркость, функции корреляции интенсивности)	Лекция
7	Однофотонные источники (нанопотоника алмаза, квантовые точки и нанотрубки, 2D материалы, современные материалы)	Лекция
8	Контроль однофотонного излучения в нанопотонике. Квантовая нанопотоника на чипе.	Лекция
Тест на основе 2 части		
Часть 3. Применение методов TCSPC		
9	Микроскопия визуализации времени жизни флуоресценции (FLIM)	Лекция
10	Флуоресцентная корреляционная спектроскопия (FCS)	Лекция
11	Флуоресцентный резонансный перенос энергии (FRET)	Лекция
12	Микроскопия на основе подавления спонтанного испускания (STED)	Лекция
Тест на основе 3 части		
Лабораторные		
1	Измерение времени жизни люминесценции	Лабораторная
2	Регистрация однофотонного излучения	Лабораторная
3	Микроскопия визуализации времени жизни флуоресценции	Лабораторная
Семинары		
1	Доклады студентов по исследованиям в области излучения одиночных фотонов и их регистрации	Семинар

Detailed content and structure with sectioning of lectures/seminars:

	Topic	Class type
Part 1. Single-photon counting		
1	Introduction: historical background, confocal microscopy, fluorescence microscopy	Lecture
2	Time-correlated single-photon counting (TCSPC): work principles.	Lecture
3	Toolkit for TCSPC: excitation sources, optical systems, electronics	Lecture
4	Detectors for Photon Counting	Lecture
Test on the basis of the Part 1		
Part 2. Single-photon generation		
5	Introduction: why do we need single photons?	Lecture
6	Single Photon Source Characterization (HBT interferometer, Spectral Brightness, Intensity Correlation Functions)	Lecture
7	Single Photon Sources (Diamond nanophotonics, Quantum dots and nanotubes, 2D materials, Advanced materials)	Lecture

8	Single photon radiation control in nanophotonics. Quantum nanophotonics on a chip.	Lecture
Test on the basis of the Part 2		
Part 3. Application of TCSPC Techniques		
9	Fluorescence Lifetime Imaging (FLIM)	Lecture
10	Fluorescence Correlation Spectroscopy (FCS)	Lecture
11	Fluorescence Resonance Energy Transfer (FRET)	Lecture
12	Stimulated Emission Depletion Microscopy (STED)	Lecture
Test on the basis of the Part 3		
Labs		
1	Lifetime measurements	Lab
2	Single-photon radiation detection	Lab
3	FLIM	Lab
Seminars		
1	Students talks on single photon emission and counting applications	Seminar

5. Рекомендованная литература:

Textbooks:

1. Praver, Steven, and Igor Aharonovich, eds. Quantum information processing with diamond: Principles and applications. Elsevier, 2014.
2. Becker, Wolfgang, ed. Advanced time-correlated single photon counting applications. Vol. 111. Berlin, Germany: Springer, 2015.
3. Pico Quant wiki <https://www.tcspc.com/doku.php>

6. Предварительно пройденные курсы, необходимые для изучения предмета.

Базовые курсы (бакалавриат): Общая физика, Оптика

Дополнительные курсы (магистратура): Квантовая оптика, Введение в экспериментальные методы нанофотоники, Экспериментальная нанофотоника

Course prerequisites:

Basic Courses (Undergraduate): General Physics, Optics

Additional Courses (Master): Quantum Optics, Introduction to Experimental Methods of Nanophotonics, Experimental Nanophotonics

7. Как оценивается успеваемость по курсу:

- 5-балльная шкала оценивания.
- Итоговая оценка основана на итоговом экзамене.
- Каждая часть лекций содержит 15-минутный контрольный тест (всего 3 теста). Студенты с лучшими результатами имеют возможность получить:
 - а) + 2 балла к итоговой оценке на экзамене в случае, если допущена только 1 ошибка во всех 3 тестах
 - б) +1 балл к итоговой оценке на экзамене в случае, если допущена только 2 ошибки во всех 3 тестах
- Студенты с лучшими результатами на семинаре будут иметь +1 балл к итоговой оценке на экзамене.
- Студенты с лучшими результатами на лабораторных работах будут иметь +1 балл к

итоговой оценке на экзамене.

- Передача тестов, семинаров и лабораторных работ не возможна.

Grading policy:

- 5 points grading scale (5 – excellent, 4 – good, 3 – satisfactory, 2 – failed).

- Final grade is based on the final exam mostly.

- Each part of lecture contains a 15-min control test (3 tests total). Top students with the best average grade on the tests will have:

+2 grade-level on the exam in case of only 1 mistake in all the 3 tests

+1 grade-level on the exam in case of 2 mistakes in all the 3 tests

- Top students with the best grade on the seminar will have +1 grade-level on the exam.

- Top students with the best grade on the labs will have +1 grade-level on the exam.

- No options to retake tests, seminars and labs.

8. Дополнительные комментарии:

Информация в лекциях с 7 по 12 будет постоянно обновляться с учетом свежих статей.

Additional comments: Information in lectures from 7 to 12 will be constantly updated with the latest articles.