

# Экспериментальные методы нанофотоники I

## Лекторы:

Алексей Кохановский

## Ассистент:

Алексей Михин

Ольга Кущенко



## Язык:

English

## Трудоемкость:

6 з.е.

## Форма контроля:

Exam / Экзамен

## Образовательная программа:

Нанофотоника

2 семестр

Гибридные материалы

2 семестр

Квантовые материалы

2 семестр

Компьютерное моделирование квантовых и нанофотонных систем

2 семестр

## Пререквизиты:

Фотоника

Лекции (ак.час)*	Практические занятия (ак.час)	Лабораторные занятия (ак.час)
36	6	10
*1 академический час = 45 минутам		

Nanophotonics is a rapidly developing field, which aims at tailoring the optical properties of nanomaterials and understanding the optical phenomena arising near or beyond the diffraction limit of light. This course gives insights into contemporary tools and strategies for fabrication and experimental characterization of nanoscale optical devices and structures.

Being targeted at broad audience intending to work in areas related to nanophotonics, the course is both essential for experimentalists and provides important basic knowledge for theoreticians. The course of lectures includes the study of methods of optical spectroscopy, microscopy and laser optics. The course of lectures also describes the current state of technology for manufacturing nanostructures and methods for their initial characterization. In addition to a series of lectures, the course includes laboratory work.

Нанофотоника – быстро развивающаяся область науки, посвященная управлению оптическими свойствами наноматериалов и изучению оптических явлений, возникающих вблизи дифракционного предела. Курс позволяет сформировать картину современных инструментов и принципов, позволяющих заниматься изготовлением и изучением различных объектов на нанометровом масштабе.

Курс ориентирован на широкую аудиторию студентов, планирующих работать в смежных с нанофотоникой областях. Он не только является основополагающим для экспериментаторов, но и включает важные базовые знания для теоретиков. Курс лекций включает изучение методов оптической спектроскопии, микроскопии и лазерной оптики. Также курс лекций описывает современное состояние технологий изготовления наноструктур и методик их начальной характеристики. Помимо цикла лекций, в курс входят лабораторные работы.

## Содержание курса

### Plan of a course

#### Структура курса

	Topic	Lesson type
Part I. Basics of optical microscopy		
1	Basic optical elements: mirrors, beam splitters, reflectors, polarizers and wave plates	Lecture
2	Creation of simple optical circuits. Telescope.	Lecture
3	Infinity corrected optical systems. Lenses.	Lecture
4	Diffraction limit. Confocal microscopy. Methods for overcoming the diffraction limit.	Lecture
5	Creation of a confocal microscope	Lecture
6	Near-field scanning optical microscopy	Lecture
7	Posterior focal plane microscopy. Measurement of surface waves, single particle scattering and radiation directions.	Lecture
8	Scanning probe microscopy: STM and AFM	Lecture
Part II. Basics of optical spectroscopy		
9	Optical detectors and sensors.	Lecture
10	Dispersive elements. Optical spectrometer. Spectral resolution.	Lecture
11	Sources of light. Continuous and pulsed laser radiation.	Lecture
12	Interferometers and their applications. Fourier transform infrared spectroscopy.	Lecture
13	Atomic and molecular spectroscopy. Mechanisms of broadening of spectral lines. Jablonski diagrams	Lecture
14	Luminescence and Raman microscopy. Spectroscopy with signal amplification by probe and surface.	Lecture
15	Optical spectroscopy of flat nano- and microdevices.	Lecture
Part III. Basics of Laser Optics		
16	Sources of light. Continuous and pulsed laser radiation.	Lecture
17	Coherent and incoherent light. Spatial and temporal coherence.	Lecture
18	Experimental methods for measuring the properties of laser radiation	Lecture
19	Types of optical beams, computer holography	Lecture
20	Optical tweezers, pump-probe measurements and other applications of lasers in nanophotonics applications	Lecture
Part IV. Nanofabrication and structural characterization methods		
21	Layer deposition. Dry chemical etching, plasma etching. Reactive ion etching.	Lecture
22	Focused ion beam etching. PEM. Electron beam lithography.	Lecture
23	Optical lithography	Lecture
24	Chemical methods of nanofabrication	Lecture

### План курса

#### Структура курса

	Тема	Тип занятий
Часть I. Основы оптической микроскопии		
1	Основные оптические элементы: зеркала, делители пучка, отражатели, поляризаторы и волновые пластинки	Лекция
2	Создание простых оптических схем. Телескоп.	Лекция

3	Оптические системы, скорректированные на бесконечность. Объективы.	Лекция
4	Дифракционный предел. Конфокальная микроскопия. Методы преодоления	Лекция
5	Создание конфокального микроскопа	Лекция
6	Сканирующая оптическая микроскопия ближнего поля.	Лекция
7	Микроскопия в задней фокальной плоскости. Измерение поверхностных волн, рассеяние одиночных частиц и направления излучения.	Лекция
8	Сканирующая зондовая микроскопия: СТМ и АСМ	Лекция
Часть II. Основы оптической спектроскопии		
9	Оптические детекторы и датчики.	Лекция
10	Дисперсионные элементы. Оптический спектрометр. Спектральное разрешение.	Лекция
11	Источники света. Непрерывное и импульсное лазерное излучение.	Лекция
12	Интерферометры и их применения. Инфракрасная Фурье спектроскопия.	Лекция
13	Атомная и молекулярная спектроскопия. Механизмы уширения спектральных линий. Диаграммы Яблонского	Лекция
14	Люминесцентная и рамановская микроскопия. Спектроскопия с усилением сигнала зондом и поверхностью.	Лекция
15	Оптическая спектроскопия плоских нано- и микроустройств.	Лекция
Часть III. Основы лазерной оптики		
16	Источники света. Непрерывное и импульсное лазерное излучение.	Лекция
17	Когерентный и некогерентный свет. Пространственная и временная когерентность.	Лекция
18	Экспериментальные методы измерения свойств лазерного излучения	Лекция
19	Типы оптических пучков, компьютерная голография	Лекция
20	Оптические пинцеты, измерения накачка-зонд и другие применения лазеров в задачах нанофотоники	Лекция
Часть IV. Методы нанофабрикации и структурной характеристики		
21	Слоевое осаждение. Сухое химическое травление, травление плазмой. Реактивное ионное травление.	Лекция
22	Травление фокусированным ионным пучком. ПЭМ. Электронно-лучевая литография.	Лекция
23	Оптическая литография	Лекция
24	Химические методы нанофабрикации	Лекция

## Рекомендуемые ресурсы

1. Hecht, E. Optics. Pearson Education, 2016.
2. Sivukhin D. V. Course of General Physics, Vol. 4: Optics. Moscow "Fizmatlit. 1980.
3. Novotny, L., & Hecht, B. Principles of nano-optics. Cambridge university press, 2012.
4. Zayats, A. V. & Richards D. Nano-optics and near-field optical microscopy. Artech house, 2009.
5. Maier, St. Plasmonics: fundamentals and applications. Springer Science & Business Media, 2007.
6. Mironov, V. L. (2004). Fundamentals of scanning probe microscopy. Moscow: Technosfera, 144.
7. Thorlabs tutorials: [https://www.thorlabs.de/navigation.cfm?Guide\\_ID=2400](https://www.thorlabs.de/navigation.cfm?Guide_ID=2400)

## Политика оценивания

### Academic performance control:

- Tests (written, with marks)
- Self-study (some of the questions in the tests and examination will not be covered in the lectures)
- Interim assessment (based on the tests, with mark)
- Presentations on Nobel Prizes in optics (oral)
- Final examination (oral)

**Quality criteria for the presentation:**

- Introduction and historical background
- Clarity in description of the discovery/technology/effect
- Coverage of the real-world applications
- Clear structure of the presentation and the art of rhetoric.

**The final examination rules:**

- The examination is oral.
- Each of the students has to answer 3 questions from 3 parts of the course.
- Students have 1 hour to prepare the answer.
- Students are not allowed to use any materials, sources or devices, except personal handwritten lecture notes.
- The results of the tests will be taken into account during the examination.
- Poor attendance results in additional questions and more rigorous assessment of knowledge during the exam.
- A few students who delivered best talks at the seminar will be awarded by "+1" to the final mark. The list of these students will not be announced until the examination

**Контроль успеваемости:**

- Тесты (письменные, с оценкой)
- Самостоятельное изучение (некоторые вопросы тестов и экзамена не будут обсуждаться на лекциях)
- Промежуточная аттестация (по итогам результатов тестов, с оценкой)
- Презентации, посвященные Нобелевским премиям по оптике (устно)
- Итоговый экзамен (устный)

**Критерии качества презентации:**

- Наличие введения и исторической справки
- Доступность описания открытия/технологии/эффекта
- Обсуждение реальных применений
- Структурированность презентации и ораторское искусство

**Правила проведения итогового экзамена:**

- Экзамен проводится в устной форме
- Каждый студент должен подготовить ответ на 3 вопроса из 3 разделов курса.
- На подготовку ответа отводится 1 час.
- Запрещается пользоваться какими-либо материалами и устройствами, помимо собственного рукописного конспекта.
- Результаты тестов принимаются во внимание в процессе сдачи экзамена.
- Плохая посещаемость приведет к большому числу дополнительных вопросов и в целом более тщательной проверке знаний в ходе экзамена.
- Несколько студентов, сделавших наилучшие доклады, получают "+1" балл к итоговой оценке. Список этих студентов не будет обнародован вплоть до экзамена.

## Тип самостоятельных заданий

- Within each lecture students write a test on the topic of previous class.
- During seminar classes the students will make review talks on Nobel Prizes in optics and photonics.
- На каждой лекции проводится тест по предыдущему занятию.
- В рамках семинарских занятий студенты сделают обзорные доклады, посвященные Нобелевским премиям по оптике и фотонике.