

# Оптика волноводов и резонаторов

**Лекторы:**

Андрей Богданов  
Никита Устименко

**Язык:**

Русский

**Трудоемкость:**

6 з.е.

**Форма контроля:**

Экзамен

**Образовательная программа:**

Теоретическая и экспериментальная  
физика

6 семестр

Лекции (ак.час)*	Практические занятия (ак.час)	Лабораторные занятия (ак.час)
32	32	
*1 академический час = 45 минутам		

Курс направлен на то, чтобы дать студентам азы современной фотоники и рассмотреть основные практические задачи из этой области. Курс начинается с изучения теории металлических и диэлектрических волноводов и оптических резонаторов. Подробно рассмотрены физические эффекты, лежащие в основе управления электромагнитным излучением. Мы изучим методы, позволяющие анализировать захват света в резонаторах и его распространение в простейших волноводных системах. Кроме того, в курсе рассказываются основы теории фотонных кристаллов, теории связанных мод и теории рассеяния, включая задачу Ми.

## Содержание курса

### Оптика волноводов и резонаторов

#### 6 семестр

#### Структура курса

Разделы	Лекции (ак.ч.)	Практика (ак. ч.)
<b>Часть I. Волноводы и оптические волокна</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Волновод как квантовая яма для фотона. Геометрическая теория волноводов. Плоскопараллельный полый волновод с металлическими обкладками. Понятие дисперсии.</li> <li>• Фундаментальная мода</li> <li>• Плоскопараллельный диэлектрический волновод. Частота отсечки. Асимметричный волновод</li> <li>• Цилиндрический волновод полый волновод с металлическими обкладками. Волновое уравнение в цилиндрических координатах. Функции Бесселя</li> <li>• Цилиндрический диэлектрический волновод. Оптическое волокно. Потери в волноводах. Длина распространения. Примеры реальных волноводов</li> </ul>	10	10
<b>Часть II. Оптические резонаторы</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Гармонический осциллятор. Понятие добротности. Матрица рассеяния (S-матрица) и её свойства. Взаимность</li> <li>• Резонатор Фабри-Перо. Собственные моды. Квазинормальные моды. Добротность и резкость.</li> <li>• Резонансное пропускание. Согласование импедансов и поглощение</li> <li>• Резонаторы на модах шепчущей галереи. Радиационные потери открытых физических систем</li> </ul>	6	6
<b>Часть III. Фотонные кристаллы</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Понятия фотонного кристалла и фотонной запрещённой зоны. Матрица переноса (T-матрица) диэлектрического слоя. Многослойные среды. Дисперсия: уравнения Рытова</li> <li>• Зонная структура многослойной среды. Фотонная запрещённая зона. Брэгговская частота и условие <math>\pi/4</math>. Отражение от бесконечной и конечной многослойной среды. Брэгговское зеркало</li> <li>• Приближение эффективной среды для многослойных структур. Гиперболические метаматериалы</li> <li>• Ширина запрещённой зоны в приближении слабого контраста и двухволновом приближении. Метод плоских волн</li> <li>• Локальная плотность состояний. Эффект Парселла</li> </ul>	8	8
<b>Часть IV. Теория рассеяния</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Скалярная и диадная функции Грина</li> <li>• Уравнение Липпмана-Швингера. Диадная функция Грина. Оптические сечения. Рассеяние в дипольном приближении. Формула Рэлея</li> <li>• Скалярное волновое уравнение. Векторные сферические гармоники</li> <li>• Теория Ми. Мультипольное разложение. Мультипольные резонансы диэлектрического шара. Эффект Керкера. Оптические теоремы</li> </ul>	8	8

#### Рекомендуемые ресурсы

1. L. D. Landau, et al. Electrodynamics of continuous media. Vol. 8. Elsevier (2013). [ENG]
2. L. D. Landau, and E.M. Lifshitz. The classical theory of fields. (1971). [RUS]
3. L. Novotny and B. Hecht. Principles of nano-optics. Cambridge university press (2012). [ENG]
4. M. Born and E. Wolf. Principles of optics: electromagnetic theory of propagation, interference and diffraction of light. Elsevier (2013).[ENG]
5. J. D. Joannopoulos, et al. Photonic crystals: molding the flow of light. Princeton university press (2011). [ENG]
6. K. Sakoda. Optical properties of photonic crystals. Vol. 80. Springer Science & Business Media (2004). [ENG]
7. A. W. Snyder and J. Love. Optical waveguide theory. Springer Science & Business Media (2012) [ENG]
8. M.J. Adams. An introduction to optical waveguides. Vol. 14. New York: Wiley, 1981. [ENG]
9. M. L. Gorodetsky, Optical Microresonators with Giant Quality factor (Fizmatlit, Moscow, 2011). [RUS]

10. J. D. Jackson, John D. Classical Electrodynamics (3rd ed.). New York: John Wiley & Sons (1999). [ENG]
11. Bohren C. F., Huffman D. R. Absorption and scattering of light by small particles. John Wiley & Sons, 2008. [ENG]
12. «Matthew Schwartz - Lecture 19: Diffraction and resolution» [ENG] <http://www.gmrt.ncra.tifr.res.in/joardar/lecHtmlPages/lectures/03-Polarimetry.pdf> [ENG]
13. «Физика. Теоретический минимум» Online course [RUS]
14. «Оптика» Online course [RUS]

## Политика оценивания

**Оценочные средства дисциплины: домашнее задание, коллоквиум, итоговый экзамен.**

**Экзамен** состоит из письменного теста по материалу курса и письменного ответа на один вопрос из списка (высылается заранее) и беседы с лектором или ассистентом.

За тест на экзамене можно получить от 0 до 100 баллов. Критерии выставления оценки в соответствии с результатами теста:  
59 баллов и менее – оценка «неудовлетворительно» (= пересдача);  
60-79 баллов – оценка «удовлетворительно» или «хорошо»;  
80 баллов и более – оценка «хорошо» или «отлично».

Окончательно одна из двух оценок выставляется на основе ответа на вопрос и беседы.

Для допуска к экзамену необходимо успешно сдать более 70% домашних заданий (~6/9) и успешно пройти промежуточную аттестацию.

**Коллоквиум** состоит из беседы с лектором или ассистентом по базовым вопросам теории электромагнетизма. Список вопросов высылается в начале семестра. За промежуточную аттестацию выставляется оценка. Промежуточная аттестация считается успешной пройденной, если оценка за неё «удовлетворительно» и выше. Если оценка «неудовлетворительно», то студент отправляется на пересдачу. У каждого студента есть одна попытка пересдать промежуточную аттестацию лектору или ассистенту. Далее возможна пересдача только на комиссии. Предусмотрены дополнительные лекции (по запросу студентов) и методические материалы для подготовки к промежуточной аттестации.

**Домашние задания.** В ходе обучения студенты выполняют домашние задания, направленные как на аналитическое описание, так и на численное моделирование изучаемых в рамках курса явлений. Домашние задания сдаются в строго указанные сроки ассистенту лектора. Если домашнее задание не отправлено ассистенту лектора до дедлайна без уважительной причины, оно считается невыполненным. Для зачёта домашнего задания нужно набрать определенное количество баллов, указанное в файле задания. Списывание при выполнении домашних заданий запрещено.