

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
электроники, фотоники и  
молекулярной физики**

**В.В. Иванов**

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

|                            |  |
|----------------------------|--|
| <b>по дисциплине:</b>      | Управление лазерным излучением   |
| <b>по направлению:</b>     | Прикладные математика и физика   |
| <b>профиль подготовки:</b> | Физика перспективных технологий: электроника и квантовые технологии<br>Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики<br>кафедра квантовой электроники |
| <b>курс:</b>               | 4  |
| <b>квалификация:</b>       | бакалавр   |

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составил: Ю.А. Кротов, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник

Программа обсуждена на заседании кафедры квантовой электроники 29.05.2020

## Аннотация

Курс "Управление лазерным излучением" предусматривает ознакомление слушателей с основами управления лазерным излучением и подготовка к изучению других специализированных курсов по квантовой электронике.

### Задачи курса:

- приобретение слушателями теоретических знаний и навыков в области задач управления лазерным излучением для задач модуляции и сканирования на основе электро-, акусто- и магнитооптики;
- подготовка слушателей к изучению смежных дисциплин квантовой электроники;
- приобретение навыков в применении методов модуляции и сканирования в лазерной физике и других естественнонаучных дисциплинах.

По результатам освоения курса студент должен:

### Знать:

- ☐ основные способы управления лазерным излучением: модуляцию и сканирование;
- ☐ основы кристаллооптики, свойства электрооптических, магнитооптических и акустооптических материалов. Основные конструкции модуляторов и дефлекторов на их основе;
- ☐ основные факты и формулы для эффектов Поггеля, Керра, Зеемана в геометриях Фарадея и Фойгта, Фарадея и Коттона -Мутона;
- ☐ режимы Брега и Рамана-Ната при дифракции света на акустической волне. Коэффициент акустооптического качества.

### Уметь:

- ☐ уметь решать оптическую схему из поляризатора, фазового элемента и анализатора;
- ☐ решать задачу о распространении света в одно и двуосных кристаллах;
- ☐ рассчитывать полуволновое напряжение для модуляторов на продольном и поперечном электрооптическом эффекте Поггеля;
- ☐ оценивать разрешение сканирующего устройства ( дефлектора). Число разрешаемых позиций, время переключения, эффективность;
- ☐ оценивать температурную стабильность электрооптического модулятора;
- ☐ применять формулы теории дифракция света на периодической структуре в режимах Брега и Рамана-Ната;
- ☐ применять формулу эффекта Фарадея для пара-, диа- и ферромагнетиков.

### Владеть:

- ☐ решать оптическую схему из поляризатора, фазового элемента и анализатора;
- ☐ решать задачу о распространении света в одно и двуосных кристаллах;
- ☐ рассчитывать полуволновое напряжение для модуляторов на продольном и поперечном электрооптическом эффекте Поггеля;
- ☐ оценивать разрешение сканирующего устройства ( дефлектора). Число разрешаемых позиций, время переключения, эффективность;
- ☐ оценивать температурную стабильность электрооптического модулятора;
- ☐ применять формулы теории дифракция света на периодической структуре в режимах Брега и Рамана-Ната;
- ☐ применять формулу эффекта Фарадея для пара-, диа- и ферромагнетиков.

Основное содержание курса изложено в следующих разделах:

1. Основы кристаллооптики. Распространение света в анизотропных средах.

2. Основные способы управления лазерным излучением. Модуляция и сканирование.
3. Магнитооптика.
4. Электрооптика.
5. Акустооптика.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

- ознакомление слушателей с основами управления лазерным излучением и подготовка к изучению других специализированных курсов по квантовой электронике.

### Задачи дисциплины

- приобретение слушателями теоретических знаний и навыков в области задач управления лазерным излучением для задач модуляции и сканирования на основе электро-, акусто- и магнитооптики;
- подготовка слушателей к изучению смежных дисциплин квантовой электроники;
- приобретение навыков в применении методов модуляции и сканирования в лазерной физике и других естественнонаучных дисциплинах.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

| Код и наименование компетенции  | Индикаторы достижения компетенции   |
|---|---|
| УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач                           | УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи   |
|   | УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки                                |
| ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования | ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики   |
|   | ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях |

## 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- ☐ основные способы управления лазерным излучением: модуляцию и сканирование;
- ☐ основы кристаллооптики, свойства электрооптических, магнитооптических и акустооптических материалов. Основные конструкции модуляторов и дефлекторов на их основе;
- ☐ основные факты и формулы для эффектов Поккельса, Керра, Зеемана в геометриях Фарадея и Фойгта, Фарадея и Коттона -Мутона;
- ☐ режимы Брэгга и Рамана-Ната при дифракции света на акустической волне. Коэффициент акустооптического качества.

уметь:

- ☐ уметь решать оптическую схему из поляризатора, фазового элемента и анализатора;
- ☐ решать задачу о распространении света в одно и двусосных кристаллах;
- ☐ рассчитывать полуволновое напряжение для модуляторов на продольном и поперечном электрооптическом эффекте Поккельса;
- ☐ оценивать разрешение сканирующего устройства ( дефлектора). Число разрешаемых позиций, время переключения, эффективность;
- ☐ оценивать температурную стабильность электрооптического модулятора;
- ☐ применять формулы теории дифракция света на периодической структуре в режимах Брэгга и Рамана-Ната;
- ☐ применять формулу эффекта Фарадея для пара-, диа- и ферромагнетиков.

владеть:

- ☐ решать оптическую схему из поляризатора, фазового элемента и анализатора;
- ☐ решать задачу о распространении света в одно и двусосных кристаллах;
- ☐ рассчитывать полуволновое напряжение для модуляторов на продольном и поперечном электрооптическом эффекте Поккельса;
- ☐ оценивать разрешение сканирующего устройства ( дефлектора). Число разрешаемых позиций, время переключения, эффективность;
- ☐ оценивать температурную стабильность электрооптического модулятора;
- ☐ применять формулы теории дифракция света на периодической структуре в режимах Брегга и Рамана-Нага;
- ☐ применять формулу эффекта Фарадея для пара-, диа- и ферромагнетиков.

#### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

##### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

| №                     | Тема (раздел) дисциплины   | Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час. |          |                 |                |
|-----------------------|--|---|----------|-----------------|----------------|
|                       |  | Лекции  | Семинары | Лаборат. работы | Самост. работа |
| 1                     | Основы кристаллооптики. Распространение света в анизотропных средах.       | 8   |          |                 | 2              |
| 2                     | Основные способы управления лазерным излучением. Модуляция и сканирование. | 4   |          |                 | 2              |
| 3                     | Магнитооптика.   | 8   |          |                 | 3              |
| 4                     | Электрооптика.   | 6   |          |                 | 4              |
| 5                     | Акустооптика.  | 4   |          |                 | 4              |
| Итого часов           |  | 30  |          |                 | 15             |
| Подготовка к экзамену |  | 0 час.  |          |                 |                |
| Общая трудоёмкость    |  | 45 час., 1 зач.ед.  |          |                 |                |

##### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 7 (Осенний)

###### 1. Основы кристаллооптики. Распространение света в анизотропных средах.

1.1. Амплитудная, частотная, фазовая, поляризационная модуляции. Глубина модуляции, мощность, частотный диапазон. Внешняя модуляция света. Основные физические эффекты, лежащие в основе работы модуляторов. Временная и пространственная модуляция излучения.

1.2. Внутренняя модуляция. Различные режимы генерации когерентного оптического излучения.

1.3. Модуляция оптической длины - синхронизация мод; модуляция обратной связи - режим гигантских импульсов; модуляция добротности (потерь) - активная и пассивная - пиковый режим генерации.

1.4. Сканирование и дефлекторы: рефракционные и дифракционные методы сканирования. Разрешение сканирующего устройства.

1.5. Перспективы развития средств управления лазерным излучением. Новые материалы для электро-, акусто- и магнитооптики.

1.6. Основные принципы создания волноводных устройств управления лазерным излучением. Волноводные электрооптические модуляторы. Волноводные акустооптические дефлекторы. Применение волноводных модуляторов и дефлекторов.

2. Основные способы управления лазерным излучением. Модуляция и сканирование.

2.1. Распространение света в анизотропных средах. Поперечность электромагнитной волны в среде. Оптическая индикатриса. Волновая и лучевая поверхности. Эллипсоид Френеля.

3. Магнитооптика.

3. 1. Эффект Зеемана. Магнитная добавка к тензору диэлектрической проницаемости. Геометрии Фарадея и Фойгта. Индуцированная магнитным полем оптическая анизотропия.

3.2. Эффект Фарадея для пара-, диа- и ферромагнетиков. Эффект Коттона-Мутона. Магнитооптические материалы и их основные характеристики. Модуляция фазы и амплитуды. Модуляторы на линейном эффекте Фарадея.

4. Электрооптика.

4.1. Электрооптические эффекты Поккельса и Керра. Тензорная и матричная записи. Основные кристаллы электрооптики и их сингонии.

4.2. Продольный электрооптический эффект Поккельса. Полуволновое напряжение. Модулятор на продольном электрооптическом эффекте Поккельса.

4.3. Поперечный электрооптический эффект. Температурная стабильность. Выбор рабочей точки. Конструкции модуляторов. Основные ограничения по быстродействию. Материалы для электрооптических модуляторов.

4.4. Электрооптические дефлекторы. Дефлекторы с непрерывным сканированием. Число разрешаемых позиций. Управляющее напряжение. Дискретный электрооптический дефлектор, его разрешение и быстродействие.

5. Акустооптика.

5.1. Дифракция света на периодической структуре. Режимы Брегга и Рамана-Ната. Угол Брегга. Теория связанных волн. Коэффициент акустооптического качества.

5.2. Акустооптические модуляторы. Быстродействие и эффективность. Материалы для акустооптики.

5.3. Акустооптические дефлекторы. Число разрешаемых позиций, время переключения, эффективность. Частотные зависимости углов дифракции для анизотропной дифракции света.

## **5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

учебная аудитория, оснащенная мультимедиа проектором, экраном и микрофоном.

## **6.Перечень рекомендуемой литературы**

Основная литература

1. Мустель Е. Р., Парыгин В. Н. Методы модуляции и сканирования света. - Москва: Наука, 1970 г.
2. Балакший В.И., Парыгин В.Н., Чирков Л.Е. Физические основы акустооптики. - Москва, 1985 г.
3. Вонсовский С. В. Магнетизм. - Москва, 1971 г.

Дополнительная литература

1. Звелто О. Принципы лазеров: рус. пер. перераб. и доп. при участии автора книги .— 4-е изд. — СПб. : Лань, 2008 .— 720 с.

**7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

<http://lib.mipt.ru>

**8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

**9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

- 1) посещение всех лекций, предусмотренных учебным планом; ведение конспектов занятий; активное участие в обсуждении лекций;
- 2) важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультацией к преподавателю на лекции.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

|   |  |
|---|--|
| <b>по направлению:</b>  | Прикладные математика и физика   |
| <b>профиль подготовки:</b>  | Физика перспективных технологий: электроника и квантовые технологии<br>Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики<br>кафедра квантовой электроники |
| <b>курс:</b>  | 4  |
| <b>квалификация:</b>  | бакалавр   |
| Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет |  |
| <b>Разработчик:</b>   | Ю.А. Кротов, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник   |

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

| Код и наименование компетенции  | Индикаторы достижения компетенции   |
|---|---|
| УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач                           | УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи   |
|   | УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки                                |
| ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования | ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики   |
|   | ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях |

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Управление лазерным излучением» обучающийся должен:

### знать:

- ☐ основные способы управления лазерным излучением: модуляцию и сканирование;
- ☐ основы кристаллооптики, свойства электрооптических, магнитооптических и акустооптических материалов. Основные конструкции модуляторов и дефлекторов на их основе;
- ☐ основные факты и формулы для эффектов Поккельса, Керра, Зеемана в геометриях Фарадея и Фойгта, Фарадея и Коттона -Мутона;
- ☐ режимы Брега и Рамана-Ната при дифракции света на акустической волне. Коэффициент акустооптического качества.

### уметь:

- ☐ уметь решать оптическую схему из поляризатора, фазового элемента и анализатора;
- ☐ решать задачу о распространении света в одно и двуосных кристаллах;
- ☐ рассчитывать полуволновое напряжение для модуляторов на продольном и поперечном электрооптическом эффекте Поккельса;
- ☐ оценивать разрешение сканирующего устройства ( дефлектора). Число разрешаемых позиций, время переключения, эффективность;
- ☐ оценивать температурную стабильность электрооптического модулятора;
- ☐ применять формулы теории дифракция света на периодической структуре в режимах Брега и Рамана-Ната;
- ☐ применять формулу эффекта Фарадея для пара-, диа- и ферромагнетиков.

### владеть:

- ☐ решать оптическую схему из поляризатора, фазового элемента и анализатора;
- ☐ решать задачу о распространении света в одно и двуосных кристаллах;
- ☐ рассчитывать полуволновое напряжение для модуляторов на продольном и поперечном электрооптическом эффекте Поккельса;
- ☐ оценивать разрешение сканирующего устройства ( дефлектора). Число разрешаемых позиций, время переключения, эффективность;
- ☐ оценивать температурную стабильность электрооптического модулятора;
- ☐ применять формулы теории дифракция света на периодической структуре в режимах Брега и Рамана-Ната;
- ☐ применять формулу эффекта Фарадея для пара-, диа- и ферромагнетиков.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия по теме прошлой лекции или в конце занятия по пройденной теме.

## 4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся



Вопросы для подготовки к дифференцированному зачету:

1. Основы кристаллооптики. Распространение света в анизотропных средах.
2. Основные способы управления лазерным излучением. Модуляция и сканирование.
3. Магнитооптика.
4. Электрооптика.
5. Акустооптика.

Критерии оценивания

10 баллов — (ПРЕВОСХОДНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы, а также по основным вопросам, выходящим за ее пределы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- безупречное владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- выраженная способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации;
- полное и глубокое усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку, использовать научные достижения других дисциплин;
- творческая самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, активное участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

9 баллов — (ОТЛИЧНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации в рамках учебной программы, полное усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, творческое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

8 баллов — (ПОЧТИ ОТЛИЧНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем поставленным вопросам в объеме учебной программы;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины (методами комплексного анализа, техникой информационных технологий), умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач; способность самостоятельно решать сложные проблемы в рамках учебной программы;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку с позиций государственной идеологии (по дисциплинам социально-гуманитарного цикла);
- активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, систематическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

7 баллов — (ОЧЕНЬ ХОРОШО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;
- использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), лингвистически и логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;

- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

6 баллов — (ХОРОШО):

- достаточно полные и систематизированные знания в объеме учебной программы;
- использование необходимой научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач; способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку; активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, периодическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

5 баллов — (ПОЧТИ ХОРОШО):

- достаточные знания в объеме учебной программы;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

4 балла — (УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО), ЗАЧТЕНО:

- достаточный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- использование научной терминологии, стилистическое и логическое изложение ответа на вопросы, умение делать выводы без существенных ошибок;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении стандартных (типовых) задач;
- умение под руководством преподавателя решать стандартные (типовые) задачи;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им оценку;
- работа под руководством преподавателя на практических, лабораторных занятиях, допустимый уровень культуры исполнения заданий.

3 балла — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО), НЕЗАЧТЕНО:

- недостаточно полный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- знание части основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- использование научной терминологии, изложение ответа на вопросы с существенными лингвистическими и логическими ошибками;
- слабое владение инструментарием учебной дисциплины, некомпетентность в решении стандартных (типовых) задач;
- неумение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях изучаемой дисциплины;
- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

2 балла — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО):

- фрагментарные знания в рамках образовательного стандарта;

- знания отдельных литературных источников, рекомендованных учебной программой дисциплины;
- неумение использовать научную терминологию дисциплины, наличие в ответе грубых стилистических и логических ошибок;
- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

1 балл — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО):

- отсутствие знаний и компетенций в рамках образовательного стандарта или отказ от ответа.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

При проведении дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету не должен превышать двух астрономических часов в устной и (или) письменной форме.