

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский  
 государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)

Физический факультет

Кафедра квантовой оптики



Согласовано, декан ФФ

Бондарь А.Е.

подпись

«07» 10

2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ

«Оптика»

направление подготовки: 03.06.01 Физика и астрономия

Курс 2, семестры 3-4

профиль

Оптика

Форма обучения: очная

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)					
		Контактная работа обучающихся с преподавателем				Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Индивидуальная работа с преподавателем / Консультации в период занятий			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Кандидатский экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3-4	360		96		66	156	32	2	6		2
Всего 360 часов / 10 зачетных единиц из них: - контактная работа 172 часа - в интерактивных формах 162 часа											
Компетенции: УК-1, УК-5, ОПК-1, ПК-1, ПК-2											

Разработчик:

д.ф.-м.н., Л.В. Ильичев

Заведующий кафедрой квантовой оптики ФФ

д.ф.-м.н., академик РАН А.М. Шалагин

Ответственный за образовательную программу:

д.ф.-м. н., проф. С.В. Цыбуля

Новосибирск, 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

Аннотация .....	6
к рабочей программе модуля «Оптика» .....	6
Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы .....	6
<b>РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ</b> .....	8
Преобразователи частоты лазерного излучения в среднем, ИК и ТГц диапазонах....	8
<b>Аннотация</b> .....	10
к рабочей программе дисциплины « <b>Преобразователи частоты лазерного излучения в среднем, ИК и ТГц диапазонах</b> » .....	10
Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы .....	10
1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы .....	12
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы .....	13
3. Трудоемкость дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося.....	13
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий.....	14
5. Перечень учебной литературы .....	16
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся	16
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины .....	17
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине .....	17
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине .....	17
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.....	18
<b>РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ</b> .....	22
Дополнительные главы квантовой оптики .....	22
<b>Аннотация</b> .....	24
к рабочей программе дисциплины « <b>Дополнительные главы квантовой оптики</b> ».....	24
<b>Направленность (профиль): Оптика</b> .....	24
Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы .....	24
1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы .....	26
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы .....	27

3. Трудоемкость дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося .....	27
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий.....	28
5. Перечень учебной литературы .....	30
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся	31
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины .....	31
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине .....	32
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине .....	32
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.....	32
<b>РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ</b> .....	<b>36</b>
Оптические стандарты частоты .....	36
<b>Аннотация</b> .....	<b>38</b>
к рабочей программе дисциплины « <b>Оптические стандарты частоты</b> » .....	38
Направленность (профиль): <b>Лазерная физика</b> .....	38
Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.....	38
1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.....	40
3. Место дисциплины в структуре образовательной программы .....	41
3. Трудоемкость дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося .....	41
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий.....	42
5. Перечень учебной литературы .....	44
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся	44
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины .....	44
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине .....	45
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине .....	45
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.....	45
<b>РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ</b> .....	<b>49</b>
Оптические явления в полупроводниках для аспирантов.....	49
<b>Аннотация</b> .....	<b>51</b>

к рабочей программе дисциплины.....	51
<b>«Оптические явления в полупроводниках для аспирантов»»</b> .....	51
Направленность (профиль): <b>Оптика</b> .....	51
Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.....	51
1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.....	53
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы .....	54
3. Трудоемкость дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося .....	54
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий.....	55
5. Перечень учебной литературы .....	59
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся	60
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины .....	60
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине .....	61
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине .....	61
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.....	61
<b>КАНДИДАТСКИЙ ЭКЗАМЕН</b> .....	66
Модуль.....	66
<b>«Оптика»</b> .....	66
1.Перечень планируемых результатов обучения по модулю, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.....	68
2. Место модуля в структуре образовательной программы .....	69
<b>3. Трудоемкость модуля в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося</b> .....	69
<b>4. Содержание модуля, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий</b> .....	70
<b>5. Перечень учебной литературы</b> .....	70
<b>6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся</b> .....	71
<b>7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения модуля</b> .....	71
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по модулю .....	72

<b>9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине .....</b>	<b>72</b>
<b>10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине .....</b>	<b>72</b>
<b>А.І. ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ .....</b>	<b>79</b>
<b>Б.ІV. ТЕОРИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ .....</b>	<b>85</b>

**Аннотация**  
**к рабочей программе модуля «Оптика»**  
Направление: **03.06.01 Физика и астрономия**  
**Направленность (профиль): Физика атомного ядра и элементарных частиц**

Рабочая программа по модулю «Оптика» составлена в соответствии с требованиями СУОС по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации) и предназначена для аспирантов, обучающихся по профилю «Оптика». Модуль включает в себя рабочие программы дисциплин «Преобразователи частоты лазерного излучения в среднем, ИК и ТГц диапазонах», «Дополнительные главы квантовой оптики», «Оптические стандарты частоты» и «Оптические явления в полупроводниках для аспирантов», направленные на подготовку к сдаче кандидатского экзамена по профилю «Оптика», а также порядок подготовки к сдаче и проведения кандидатского экзамена по профилю «Оптика».

Основная цель входящих в состав модуля дисциплин познакомить аспирантов с последними научными достижениями в области квантовой оптики и практика презентации собственных научных результатов перед квалифицированной аудиторией.

Модуль направлен на формирование у обучающегося универсальных компетенций УК-1 и УК-5, а также общепрофессиональной компетенции ОПК-1 и профессиональных компетенций ПК-1, ПК-2.

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

**Знания:**

УК-1.1. Знать актуальные исследования и критически анализировать результаты предшественников и современные достижения в области физики.

УК-5.1. Знать возможные направления профессиональной самореализации, владеть приемами планирования и оценки собственной деятельности по решению профессионально-значимых задач.

ОПК-1.1. Знать современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в применении к профессиональной области деятельности.

ПК-1.1. Знать теоретические основы, базовые понятия и модели построения теоретических моделей физических явлений и процессов.

ПК-2.1. Знать основы базовых и перспективных технологий и экспериментов с использованием лазерного излучения и квантовооптических устройств и систем.

**Умения:**

УК-1.2. Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений физики

УК-5.1. Уметь выявлять и формулировать проблемы собственного профессионального развития, владеть приемами осознания собственных достижений с целью их совершенствования.

ОПК-1.2. Уметь определять и применять современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в зависимости от специфики объекта исследования.

ПК-1.2. Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений физики.

ПК-2.2. Уметь определять и применять современные научные методы в зависимости от специфики объекта исследования.

**Навыки:**

УК-5.3. Обладать профессиональными знаниями, достаточными для выполнения научных исследований на современном мировом уровне.

ОПК-1.3. Владеть способностью составлять и оформлять научно-технической документацию, научные отчеты, обзоры, доклады и статьи.

Модуль «Оптика» реализуется с третьего по четвертый семестры включительно (второй курс аспирантуры).

Преподавание дисциплин предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции с привлечением ведущих ученых, доклады обучающихся по тематике, связанной с выполнением их научной работы, самостоятельная подготовка обучающихся. Текущий контроль обеспечивается контролем посещения занятий.

Промежуточная аттестация по дисциплинам – зачет, по всему модулю – кандидатский экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы модуля составляет **360** академических часов / **10** зачетных единиц, в том числе:

1. Преобразователи частоты лазерного излучения в среднем, ИК и ТГц диапазонах - 108 часов/3 зачетных единицы.
2. Дополнительные главы квантовой оптики - 108 часов/3 зачетных единицы.
- 3.1 Оптические стандарты частоты - 108 часов/3 зачетных единицы.
- 3.2 Оптические явления в полупроводниках для аспирантов - 108 часов/3 зачетных единицы.
3. Кандидатский экзамен – 36 часов/1 зачетная единица.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский  
государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)

Физический факультет

---

Кафедра квантовой электроники

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

### **Преобразователи частоты лазерного излучения в среднем, ИК и ТГц диапазонах**

направление подготовки: 03.06.01 Физика и астрономия

**Курс 2, семестр 4**

профиль

**Лазерная физика**

Форма обучения: **очная**

Разработчик:

д.ф.-м.н. Д.Б. Колкер

Заведующий кафедрой квантовой электроники ФФ

д.ф.-м.н., академик РАН С.В. Багаев

  


Новосибирск 2020

## Содержание

Аннотация .....	10
Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.....	10
1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.....	12
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы .....	13
3. Трудоемкость дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося.....	13
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий.....	14
5. Перечень учебной литературы .....	16
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся	16
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины .....	17
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине .....	17
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине .....	17
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.....	18

## Аннотация

к рабочей программе дисциплины «Преобразователи частоты лазерного излучения в среднем, ИК и ТГц диапазонах»

Направление: **03.06.01 Физика и астрономия**

Направленность (профиль): **Лазерная физика**

Дисциплина «Преобразователи частоты лазерного излучения в среднем, ИК и ТГц диапазонах» реализуется в рамках образовательной программы высшего образования – программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 03.06.01 «Физика и астрономия» профили подготовки «Лазерная физика» и «Оптика» по очной форме обучения на русском языке. Дисциплина «Преобразователи частоты лазерного излучения в среднем, ИК и ТГц диапазонах» развивает знания, умения и навыки, сформированные у обучающихся по результатам общей базовой подготовки в рамках программ бакалавриата и магистратуры, и не требует знаний по другим дисциплинам подготовки для аспирантов. Дисциплина «Преобразователи частоты лазерного излучения в среднем, ИК и ТГц диапазонах» реализуется в четвертом семестре в рамках вариативной части дисциплин (модулей) в составе модулей «Лазерная физика» и «Оптика» в качестве обязательной дисциплины и является базовой для осуществления научно-исследовательской деятельности и подготовки научно-квалификационной работы (диссертации).

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

### **Знания:**

УК-1.1. Знать актуальные исследования и критически анализировать результаты предшественников и современные достижения в области физики в применении к профессиональной области деятельности.

УК-5.1. Знать возможные направления профессиональной самореализации, владеть приемами планирования и оценки собственной деятельности по решению профессионально-значимых задач.

ОПК-1.1. Знать современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в применении к профессиональной области деятельности.

ПК-1.1. Знать теоретические основы, базовые понятия и модели построения теоретических моделей физических явлений и процессов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.

ПК-2.1. Знать физические основы базовых экспериментов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.

### **Умения:**

УК-1.2. Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений физики, в части постановки актуальных задач научных исследований в применении к профессиональной области деятельности и в зависимости от специфики объекта исследования.

УК-5.2. Уметь выявлять и формулировать проблемы собственного профессионального развития, владеть приемами осознания собственных достижений с целью их совершенствования.

ОПК-1.2. Уметь определять и применять современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в зависимости от специфики объекта исследования.

ПК-1.2. Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.

ПК-2.2. Уметь определять и применять современные научные методы в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.

**Навыки:**

УК-5.3. Обладать знаниями, достаточными для выполнения научных исследований на современном мировом уровне в применении к профессиональной области деятельности в зависимости от специфики объекта исследования.

ОПК-1.3. Владеть способностью составлять и оформлять научно-технической документацию, научные отчеты, обзоры, доклады и статьи.

Дисциплина «Преобразователи частоты лазерного излучения в среднем, ИК и ТГц диапазонах» имеет своей целью овладение основными понятиями, теоретическими моделями, методами и базовыми экспериментальными результатами в области преобразователей частоты лазерного излучения в среднем ИК, ИК и ТГц спектральных диапазонах и знакомство с современным состоянием данной области науки.

***Текущий контроль успеваемости:***

Текущий контроль успеваемости включает контроль посещаемости обучающимися занятий, сдачу заданий, оценку их активности в ходе дискуссий и заключается в презентации аспирантом доклада по одному из разделов программы курса.

***Промежуточная аттестация:***

Промежуточная аттестация по дисциплине «Преобразователи частоты лазерного излучения в среднем, ИК и ТГц диапазонах» проводится по итогам завершения программы дисциплины в виде зачета, по результатам которого выставляется оценка «зачтено» или «не зачтено». Оценка «зачтено» может быть выставлена по результатам текущего контроля, если в ходе представления самостоятельно подготовленного доклада и ответов на вопросы обучающийся продемонстрировал уровень сформированности компетенций не ниже порогового. Оценка «зачтено» является положительным результатом прохождения промежуточной аттестации. На зачете для дополнительной проверки сформированности отдельных компетенций обучающемуся могут быть заданы вопросы по пройденному материалу.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: практические занятия, доклады обучающихся по тематике, связанной с выполнением их научной работы, индивидуальная работа с преподавателем/консультации в период занятий, самостоятельная подготовка обучающихся, зачет.

Общий объем дисциплины – 3 зачетных единицы (108 часов).

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

Код	Компетенции, формируемые в рамках дисциплины
<b>УК-1. Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях</b>	
УК-1.1	Знать актуальные исследования и критически анализировать результаты предшественников и современные достижения в области физики в применении к профессиональной области деятельности.
УК-1.2	Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений физики, в части постановки актуальных задач научных исследований в применении к профессиональной области деятельности и в зависимости от специфики объекта исследования.
<b>УК-5 Способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития</b>	
УК-5.1	Знать возможные направления профессиональной самореализации, владеть приемами планирования и оценки собственной деятельности по решению профессионально-значимых задач.
УК-5.2	Уметь выявлять и формулировать проблемы собственного профессионального развития, владеть приемами осознания собственных достижений с целью их совершенствования.
УК-5.3	Обладать знаниями, достаточными для выполнения научных исследований на современном мировом уровне в применении к профессиональной области деятельности в зависимости от специфики объекта исследования.
<b>ОПК-1. Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий</b>	
ОПК-1.1	Знать современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в применении к профессиональной области деятельности.
ОПК-1.2	Уметь определять и применять современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в зависимости от специфики объекта исследования.
ОПК-1.3	Владеть способностью составлять и оформлять научно-технической документацию, научные отчеты, обзоры, доклады и статьи.
<b>ПК-1. Способность построения теоретических моделей физических явлений и процессов в области физики в зависимости от специфики профиля подготовки.</b>	
ПК-1.1	Знать теоретические основы, базовые понятия и модели построения теоретических моделей физических явлений и процессов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.
ПК-1.2	Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.
<b>ПК-2. Способность к решению научных и практических задач в области физики в зависимости от специфики профиля подготовки.</b>	
ПК-2.1	Знать физические основы базовых экспериментов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Преобразователи частоты лазерного излучения в среднем, ИК и ТГц диапазонах» реализуется в рамках образовательной программы высшего образования – программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 03.06.01 «Физика и астрономия» профили подготовки «Лазерная физика» и «Оптика» по очной форме обучения на русском языке. Дисциплина «Преобразователи частоты лазерного излучения в среднем, ИК и ТГц диапазонах» развивает знания, умения и навыки, сформированные у обучающихся по результатам общей базовой подготовки в рамках программ бакалавриата и магистратуры и не требует знаний по другим дисциплинам подготовки для аспирантов.

Дисциплина «Преобразователи частоты лазерного излучения в среднем, ИК и ТГц диапазонах» имеет своей целью овладение основными понятиями, теоретическими моделями, методами и базовыми экспериментальными результатами в области преобразователей частоты лазерного излучения в среднем ИК, ИК и ТГц спектральных диапазонах и знакомство с современным состоянием данной области науки.

Задачи:

1. Углубленное изучение теоретических основ преобразователей частоты лазерного излучения в соответствии с требованиями СУОС ВО (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки «Физика и астрономия».
2. Развитие практических навыков решения задач и чтения оригинальной журнальной литературы в области преобразователей частоты лазерного излучения.
3. Формирование у аспирантов представления о современных фундаментальных и прикладных проблемах преобразователей частоты лазерного излучения, их связи с лазерной физикой, проблемах приложения методов на основе знаний о преобразователях частоты лазерного излучения в фундаментальных исследованиях и в приложениях, связанных с взаимодействием лазерного излучения с веществом.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: практические занятия, доклады обучающихся по тематике, связанной с выполнением их научной работы, индивидуальная работа с преподавателем/консультации в период занятий, самостоятельная подготовка обучающихся, зачет.

Общий объем дисциплины – 3 зачетных единицы (108 часов).

Для освоения дисциплины Преобразователи частоты лазерного излучения в среднем, ИК и ТГц диапазонах аспирант должен обладать базовыми знаниями по квантовой механике, термодинамике, статистической физике, молекулярной спектроскопии.

Дисциплины (практики), для изучения которых необходимо освоение дисциплины Преобразователи частоты лазерного излучения в среднем, ИК и ТГц диапазонах:

Кандидатский экзамен по модулям Лазерная физика и Оптика

- 3. Трудоемкость дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося**

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)					Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем				Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Индивидуальная работа с преподавателем/ Консультации в период занятий			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Кандидатский экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	108		32		22	52			2		
Всего 108 часов /3 зачетных единицы из них: - контактная работа 56 часов - в интерактивных формах 54 часа											
Компетенции: УК-1, УК-5, ОПК-1, ПК-1, ПК-2											

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

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)						Консультации перед экзаменом	Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы			Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	Сам. работа во время промежуточной аттестации		
				Лекции	Практические занятия	Индивидуальная работа с преподавателем/ Консультации в период занятий				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.	Новые материалы для нелинейной оптики	1-2	10		3	2	5			
2.	Твердотельные лазеры.	3-4	10		3	2	5			
3.	Нелинейные преобразователи оптических частот	5-6	10		3	2	5			
4.	Классификация нелинейных структур	7-8	10		3	2	5			
5.	Режимы работы ПГС	9-10	10		3	2	5			
6.	Динамика процессов в ПГС	11-12	10		3	2	5			
7.	Типы параметрических систем	13-14	10		3	2	5			
8.	Предельные характеристики ПГС	15-16	10		3	2	5			

9.	Научные доклады обучающихся по тематикам их научных исследований	1-16	26	8	6	12			
10.	Зачет	17	2						2
<b>Всего</b>			108	32	22	52			2

Практические занятия проводятся в интерактивной форме, подразумевающей со стороны преподавателя постановку проблемы по указанным темам, формулировку некоторых практических заданий и задач, подходы к решению которых должны найти обучающиеся в ходе занятия, обсуждение проблемных вопросов, в том числе, с элементами свободной дискуссии с участием обучающихся и преподавателя. На практических занятиях также заслушиваются доклады обучающихся по заданным темам.

### Содержание дисциплины:

1. Новые материалы для нелинейной оптики: новые халькогенидные материалы, ориентированные структуры из GaAs, периодические структуры из материалов сегнетоэлектриков.
2. Твердотельные лазеры (одно-, двух-, трех- и т.д. микронного диапазона).
3. Нелинейные преобразователи оптических частот: генераторы второй гармоники, генераторы суммарной и разностной частоты. Параметрические генераторы света.
4. Классификация нелинейных преобразователей: Компенсация угла сноса, периодически поляризованные структуры, прецизионные делители оптических частот на  $N$  и их применение в лазерной метрологии.
5. Режимы работы ПГС: вырожденный режим параметрического генератора света, делители частоты на 2, делители частоты на 3 как мультиактивные генераторы ультрастабильных частотных маркеров.
6. Динамика процессов в ПГС: самосинхронизации фазы в параметрических генераторах с делением частоты на  $N$ , Хопф-осцилляции, прецизионное измерение оптических частот при помощи фемтосекундного лазера, оптические часы.
7. Типы параметрических систем: импульсные параметрические генераторы света, наносекундные параметрические генераторы света для медицинских применений (диагностика различных заболеваний). Каскадные ПГС, пикосекундные ПГС-системы, ПГС с синхронной накачкой.
8. Предельные характеристики ПГС: перестроечные и энергетические характеристики, оптический пробой кристаллов. Нелинейные кристаллы для оптических параметрических генераторов света.

### Индивидуальная работа с преподавателем

Перечень работ	Объем, час
Обсуждение плана доклада по избранной теме, рекомендации преподавателя относительно литературных источников, которые можно использовать при подготовке доклада, индивидуальные консультации по ходу подготовки доклада.	6

Обсуждение задач, стоящих перед аспирантом в рамках его научно-исследовательской работы, и возможных способов их решения с привлечением различных методов.	16
--	----

### Самостоятельная работа обучающихся

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Самостоятельная подготовка к лекционным и практическим занятиям с использованием учебной литературы. Подготовка доклада по избранной теме. Поиск литературных источников, работа с научным текстом, анализ литературных данных. Подготовка к практическим занятиям. Решение практических заданий.	52

## **5. Перечень учебной литературы**

### 5.1 Основная литература

1. F.Trager, Springer Handbook of Lasers and Optics (2012) (<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-19409-2> )
2. Bernhard W. Adams Nonlinear Optics, Quantum Optics, and Ultrafast Phenomena with X-Rays (2003) (<https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4615-0387-3> )
3. Салех Б., Тейх М. Оптика и фотоника. Принципы и применение // Перев. с англ. Под ред. В.Л. Деброва. Т. 1, 2. М: Издательский дом «Интеллект», 2012.

## **6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся**

Размещение учебных материалов: Адрес страницы кафедры ИЛФ СО РАН  
<http://www.laser.nsc.ru/kafedra-kvantovoj-elektroniki/>

### Литература для самостоятельного изучения:

1. Spence D.E., Kean P.N., Sibbett W. Opt. Lett., 16, 42 (1991)
2. Krausz F., Fermann M.E., Brabec T., Curllet P.F., Hofer M., Ober M.H., Spielmann C., Wintner E., Schmidt A.J., IEEE J.Quantum Electron., 28, 2097 (1992)
3. Udem Th., Holzwarth R., Haensch T.W. Nature, 416, 233 (2002)
4. Knight J.C., Birks T.A., Russell P.St.J., Atkin D.M. Opt. Lett., 22, 961(1996)
5. Birks T.A., Wadsworth W.J., Russell P.ST.JOpt Lett., 25 1415(2000)
6. J.-J. Zondy et al, "Theory of self-phase-locked optical parametric oscillators", Phys. Rev. A 63, pp. 023814 (2001)
7. J.-J. Zondy, "Stability of the self-phase locked pump-enhanced singly resonant parametric oscillator, Phys. Rev A67, 03581 (2003)
8. L. Longchambon et al, "Non-linear and quantum optics of a type II OPO containing a birefringent element, Part 2 : bright entangled beams generation" e-print arXiv:quant-ph/0311123 (2003).
9. A. Douillet, J.-J. Zondy, G. Santarelli, A. Makdissi, A. Clairon, IEEE Trans. Instrum. Meas. 50, p. 548 (2001).
10. S. Schiller, R.L. Byer, J. Opt. Soc. Am. B 10, p.1696 (1993)
11. P. Lohdahl, M. Saffman, Phys; Rev. A 60, 3251 (1999); M. Bache, P. Lohdal, A.V. Mamaev, M. Marcus, M. Saffman, Phys. Rev. A 65, p. 033811 (2002).
12. K. P. Chung, A. Marciano, J. Opt. Soc. Am. B 5, p. 2524 (1998).
13. P. Coullet, K. Emilsson, Physica D 61, p. 119 (1992).
14. L. A. Lugiato, C. Oldano, C. Fabre, E. Giacobino, R. J. Horowicz, Nuovo Cimento D 10, p. 959 (1988).

15. C. Ritchy, K. I. Petsas, E. Giacobino, C. Fabre, L. Lugiato, J. Opt. Soc. Am. B 12, 456 (1995).
16. P. Suret, D. Derozier, M. Lefranc, J. Zemmouri, S. Bielawski, Phys; Rev. A 61, p. 021805 (2000).
17. A. Douillet, J.-J. Zondy, A. Yelisseyev, L. Isaenko, S. Lobanov, J. Opt. Soc. Am. B 16, p. 1481 (1999).

Обучающиеся полностью обеспечены необходимой научной литературой за счет фондов библиотеки НГУ (<http://libra.nsu.ru/>). Обучающимся, проходящим практику в Институтах СО РАН, предоставляется доступ к информационным ресурсам на тех же основаниях, что и научным сотрудникам этих институтов на основании договоров о прохождении практической подготовки.

#### **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

Освоение дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

Взаимодействие обучающегося с преподавателем (синхронное и (или) асинхронное) осуществляется через личный кабинет студента в ЭИОС.

##### 7.1 Современные профессиональные базы данных:

1. Полнотекстовые журналы SpringerJournals за 1997-2020 г., электронные книги (2005-2020 гг.), коллекция научных материалов в области физических наук и инжиниринга SpringerMaterials, Электронная библиотека диссертаций Российской государственной библиотеки (ЭБД РГБ).
2. Полнотекстовые электронные ресурсы FreedomCollection издательства Elsevier (Нидерланды) (23 предметные коллекции).
3. Электронные ресурсы Web of Science Core Collection (Thomson Reuters Scientific LLC.), Journal Citation Reports + ESI.
4. БД Scopus (Elsevier).

##### 7.2. Информационные справочные системы

Не используются.

#### **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

#### **9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации;
2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

## **10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине**

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине и индикаторов их достижения, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы по дисциплине представлен в разделе 1.

### **10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине**

#### **Текущий контроль успеваемости:**

Текущий контроль успеваемости включает контроль посещаемости обучающимися занятий, сдачу заданий, оценку их активности в ходе дискуссий, представление доклада по тематике научного исследования.

#### **Промежуточная аттестация:**

Промежуточная аттестация по дисциплине «Преобразователи частоты лазерного излучения в среднем, ИК и ТГц диапазонах» проводится по итогам завершения программы дисциплины в виде зачета, по результатам которого выставляется оценка «зачтено» или «не зачтено». Оценка «зачтено» может быть выставлена по результатам текущего контроля, если в ходе представления самостоятельно подготовленного доклада и ответов на вопросы обучающийся продемонстрировал уровень сформированности компетенций не ниже порогового. Оценка «зачтено» является положительным результатом прохождения промежуточной аттестации. На зачете для дополнительной проверки сформированности отдельных компетенций обучающемуся могут быть заданы вопросы по пройденному материалу.

### **Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине Преобразователи частоты лазерного излучения в среднем, ИК и ТГц диапазонах**

Таблица 10.1

Код компетенции	Результат обучения по дисциплине	Оценочное средство
<b>УК-1. Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях</b>		Работа на практических занятиях Представление доклада Зачет
УК-1.1	Знать актуальные исследования и критически анализировать результаты предшественников и современные достижения в области физики в применении к профессиональной области деятельности.	
УК-1.2	Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений физики, в части постановки	

	актуальных задач научных исследований в применении к профессиональной области деятельности и в зависимости от специфики объекта исследования.	
<b>УК-5 Способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития</b>		Работа на практических занятиях Представление доклада Зачет
УК-5.1	Знать возможные направления профессиональной самореализации, владеть приемами планирования и оценки собственной деятельности по решению профессионально-значимых задач.	
УК-5.2	Уметь выявлять и формулировать проблемы собственного профессионального развития, владеть приемами осознания собственных достижений с целью их совершенствования.	
УК-5.3	Обладать знаниями, достаточными для выполнения научных исследований на современном мировом уровне в применении к профессиональной области деятельности в зависимости от специфики объекта исследования.	
<b>ОПК-1. Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий</b>		Работа на практических занятиях Представление доклада Зачет
ОПК-1.1	Знать современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в применении к профессиональной области деятельности.	
ОПК-1.2	Уметь определять и применять современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в зависимости от специфики объекта исследования.	
ОПК-1.3	Владеть способностью составлять и оформлять научно-техническую документацию, научные отчеты, обзоры, доклады и статьи.	
<b>ПК-1. Способность построения теоретических моделей физических явлений и процессов в области физики в зависимости от специфики профиля подготовки.</b>		Работа на практических занятиях Представление доклада Зачет
ПК-1.1	Знать теоретические основы, базовые понятия и модели построения теоретических моделей физических явлений и процессов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.	
ПК-1.2	Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.	
<b>ПК-2. Способность к решению научных и практических задач в области физики в зависимости от специфики профиля подготовки.</b>		Работа на практических занятиях Представление доклада Зачет
ПК-2.1	Знать физические основы базовых экспериментов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.	
ПК-2.2	Уметь определять и применять современные научные методы в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.	

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (не зачтено)	Пороговый уровень (зачтено)	Базовый уровень (зачтено)	Продвинутый уровень (зачтено)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	УК 1.1 УК 5.1 ОПК 1.1 ПК 1.1 ПК 2.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	УК 1.2 УК 5.2 ОПК 1.2 ПК 1.2 ПК 2.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	УК 5.3 ОПК 1.3	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.

***Типовые контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения***

Тематика докладов дисциплины  
«Преобразователи частоты лазерного излучения в среднем ИК и ТГц диапазоне»

1. Принципы устройства твердотельных лазеров и источников когерентного оптического излучения.
2. Аппаратно-программные комплексы для диагностики заболеваний на основе тепловых источников, полупроводниковых лазеров, ПГС и СО<sub>2</sub> лазеров.
3. Компактные лазеры импульсно периодического действия для работы в условиях механико-климатических воздействий.
4. Делители частоты и их применение в лазерной метрологии.
5. Источники излучения в ТГц диапазоне и их применение

Темы рефератов:

1. Компенсация угла сноса в нелинейных материалах.
2. Периодически ориентированные структуры из GaAs и GaP.
3. MOS-гидридная эпитаксия. Рост тонких пленок.

На зачет выносятся три любых вопроса из 8-ми предложенных к изучению разделов.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский  
государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)

Физический факультет

---

Кафедра квантовой оптики

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

### Дополнительные главы квантовой оптики

направление подготовки: 03.06.01 Физика и астрономия

**Курс 2, семестр 3**

профиль

**Оптика**

Форма обучения: **очная**

Разработчик:

д.ф.-м.н. Л.В. Ильичев



Заведующий кафедрой Квантовой оптики  
академик РАН, д.ф.-м.н., А.М.Шалагин



Новосибирск 2020

## Содержание

Аннотация .....	24
1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы .....	26
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы .....	27
3. Трудоемкость дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося .....	27
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий.....	28
5. Перечень учебной литературы .....	30
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся	31
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины .....	31
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине .....	32
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине .....	32
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.....	32

**Аннотация**  
**к рабочей программе дисциплины «Дополнительные главы квантовой оптики»**  
Направление: **03.06.01 Физика и астрономия**  
Направленность (профиль): **Оптика**

Дисциплина «Дополнительные главы квантовой оптики» реализуется в рамках образовательной программы высшего образования – программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 03.06.01 «Физика и астрономия» профили подготовки «Оптика» и «Лазерная физика» по очной форме обучения на русском языке. Дисциплина «Дополнительные главы квантовой оптики» развивает знания, умения и навыки, сформированные у обучающихся по результатам общей базовой подготовки в рамках программ бакалавриата и магистратуры, и не требует знаний по другим дисциплинам подготовки для аспирантов. Дисциплина реализуется в третьем семестре в рамках вариативной части дисциплин (модулей) в составе модуля «Оптика» в качестве обязательной дисциплины и является базовой для осуществления научно-исследовательской деятельности и подготовки научно-квалификационной работы (диссертации) и в составе модуля «Лазерная физика» в качестве дисциплины по выбору.

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

**Знания:**

УК-1.1. Знать актуальные исследования и критически анализировать результаты предшественников и современные достижения в области физики в применении к профессиональной области деятельности.

УК-5.1. Знать возможные направления профессиональной самореализации, владеть приемами планирования и оценки собственной деятельности по решению профессионально-значимых задач.

ОПК-1.1. Знать современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в применении к профессиональной области деятельности.

ПК-1.1. Знать теоретические основы, базовые понятия и модели построения теоретических моделей физических явлений и процессов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.

ПК-2.1. Знать физические основы базовых экспериментов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.

**Умения:**

УК-1.2. Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений физики, в части постановки актуальных задач научных исследований в применении к профессиональной области деятельности и в зависимости от специфики объекта исследования.

УК-5.2. Уметь выявлять и формулировать проблемы собственного профессионального развития, владеть приемами осознания собственных достижений с целью их совершенствования.

ОПК-1.2. Уметь определять и применять современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в зависимости от специфики объекта исследования.

ПК-1.2. Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.

ПК-2.2. Уметь определять и применять современные научные методы в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.

**Навыки:**

УК-5.3. Обладать знаниями, достаточными для выполнения научных исследований на современном мировом уровне в применении к профессиональной области деятельности в зависимости от специфики объекта исследования.

ОПК-1.3. Владеть способностью составлять и оформлять научно-технической документацию, научные отчеты, обзоры, доклады и статьи.

Основными задачами, стоящими при изучении данной дисциплины является углубленное изучение теоретических вопросов квантовой оптики, развитие практических навыков решения задач в области квантовой оптики, применения квантово-оптических методов в системах анализа вещества, передачи и обработки информации, в технологических и измерительных оптических системах, формирование у аспирантов представления о современных фундаментальных и прикладных проблемах квантовой оптики, её связи с лазерной физикой, проблемах приложения квантово-оптических методов исследования в науке и технике, Формирование у аспирантов представления о теоретических основах квантово-оптических методов обработки информации (квантовые вычисления и квантовая коммуникация), об основных идеях и достижениях в этой области.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: практические занятия, доклады обучающихся по тематике, связанной с выполнением их научной работы, индивидуальная работа с преподавателем/консультации в период занятий. самостоятельная подготовка обучающихся, зачет.

Текущий контроль включает контроль посещаемости обучающимися еженедельных занятий, оценку их активности в ходе дискуссий и заключается в презентации аспирантом доклада по одному из разделов программы курса.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится по итогам завершения программы дисциплины в виде зачета, по результатам которого выставляется оценка «зачтено» или «не зачтено». Оценка «зачтено» может быть выставлена по результатам текущего контроля, если в ходе представления самостоятельно подготовленного доклада и ответов на вопросы обучающийся продемонстрировал уровень сформированности компетенций не ниже порогового. Оценка «зачтено» является положительным результатом прохождения промежуточной аттестации. На зачете для дополнительной проверки сформированности отдельных компетенций обучающемуся могут быть заданы вопросы по пройденному материалу.

Общий объем дисциплины – 3 зачетных единицы (108 часов).

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

Код	Компетенции, формируемые в рамках дисциплины
<b>УК-1. Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях</b>	
УК-1.1	Знать актуальные исследования и критически анализировать результаты предшественников и современные достижения в области физики в применении к профессиональной области деятельности.
УК-1.2	Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений физики, в части постановки актуальных задач научных исследований в применении к профессиональной области деятельности и в зависимости от специфики объекта исследования.
<b>УК-5. Способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития</b>	
УК-5.1	Знать возможные направления профессиональной самореализации, владеть приемами планирования и оценки собственной деятельности по решению профессионально-значимых задач.
УК-5.2	Уметь выявлять и формулировать проблемы собственного профессионального развития, владеть приемами осознания собственных достижений с целью их совершенствования.
УК-5.3	Обладать знаниями, достаточными для выполнения научных исследований на современном мировом уровне в применении к профессиональной области деятельности в зависимости от специфики объекта исследования.
<b>ОПК-1. Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий</b>	
ОПК-1.1	Знать современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в применении к профессиональной области деятельности.
ОПК-1.2	Уметь определять и применять современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в зависимости от специфики объекта исследования.
ОПК-1.3	Владеть способностью составлять и оформлять научно-технической документацию, научные отчеты, обзоры, доклады и статьи.
<b>ПК-1. Способность построения теоретических моделей физических явлений и процессов в области физики в зависимости от специфики профиля подготовки.</b>	
ПК-1.1	Знать теоретические основы, базовые понятия и модели построения теоретических моделей физических явлений и процессов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.
ПК-1.2	Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.
<b>ПК-2. Способность к решению научных и практических задач в области физики в зависимости от специфики профиля подготовки.</b>	
ПК-2.1	Знать физические основы базовых экспериментов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.
ПК-2.2	Уметь определять и применять современные научные методы в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Дополнительные главы квантовой оптики» реализуется в рамках образовательной программы высшего образования – программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 03.06.01 «Физика и астрономия» профили подготовки «Оптика» и «Лазерная физика» по очной форме обучения на русском языке. Дисциплина «Дополнительные главы квантовой оптики» развивает знания, умения и навыки, сформированные у обучающихся по результатам общей базовой подготовки в рамках программ бакалавриата и магистратуры, и не требует знаний по другим дисциплинам подготовки для аспирантов. Курс входит в набор вариативных дисциплин, направленных на подготовку к сдаче экзаменов кандидатского минимума и подготовки научно-квалификационной работы (диссертации), для аспирантов, обучающихся по профилям подготовки «Оптика» и «Лазерная физика».

Основными задачами, стоящими про изучении данной дисциплины является углубленное изучение теоретических вопросов квантовой оптики, развитие практических навыков решения задач в области квантовой оптики, применения квантово-оптических методов в системах анализа вещества, передачи и обработки информации, в технологических и измерительных оптических системах, формирование у аспирантов представления о современных фундаментальных и прикладных проблемах квантовой оптики, её связи с лазерной физикой, проблемах приложения квантово-оптических методов исследования в науке и технике, Формирование у аспирантов представления о теоретических основах квантово-оптических методов обработки информации (квантовые вычисления и квантовая коммуникация), об основных идеях и достижениях в этой области.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: практические занятия, доклады обучающихся по тематике, связанной с выполнением их научной работы, индивидуальная работа с преподавателем/консультации в период занятий. самостоятельная подготовка обучающихся, зачет.

Общий объем дисциплины – 3 зачетных единицы (108 часов).

Дисциплины (практики), для изучения которых необходимо освоение дисциплины  
Дополнительные главы квантовой оптики:

Кандидатский экзамен по модулям Оптика и Лазерная физика.

## 3. Трудоемкость дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)					Промежуточная аттестация (в часах)					
		Контактная работа обучающихся с преподавателем					Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Индивидуальная работа с преподавателем/ Консультации в период занятий	Консультации			Зачет	Дифференцированный зачет	Кандидатский экзамен	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
3	108	32			22	52			2			
Всего 108 часов /3 зачетных единицы, из них: - контактная работа 56 часов - в интерактивных формах 22 часа												
Компетенции: УК-1, УК-5, ОПК-1, ПК-1, ПК-2												

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

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)						Консультации перед экзаменом	Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы			Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	Сам. работа во время промежуточной аттестации		
				Лекции	Практические занятия	Индивидуальная работа с преподавателем/ Консультации в период занятий				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.	Инженерия состояний типа «кошки Шредингера»	1-2	4	2			2			
2.	Приготовление «кошки Шредингера» в дисперсионном режиме взаимодействия атома и поля	3	4	2			2			
3.	Приготовление «кошки Шредингера» методами керровской нелинейности	4	4	2			2			
4.	Сверхточные фазовые измерения с зацепленными состояниями	5-6	4	2			2			
5.	Сжатые состояния; двухмодовый сжатый вакуум	7-8	4	2			2			
6.	Метрология со сжатыми состояниями	9-10	4	2			2			
7.	Квантовые изображения, квантовая голография	11-12	4	2			2			
8.	Слабые измерения	13	4	2			2			
9.	Фаза в квантовой оптике	14-15	4	2			2			
10.	Геометрическая (топологическая) фаза в оптике	16	4	2			2			
11.	Научные доклады обучающихся по тематикам их научных исследований	1-16	66	12		22	32			
12.	Зачет	17	2							2
<b>Всего</b>			108	32		22	52			2

## Программа курса лекций

**Тема 1 (2 часа) Инженерия состояний типа «кошки Шредингера».** Представление кинетического уравнения потери квантов фотонной модой в интегральной форме. Доказательство универсальности эволюции когерентного состояния при потере любого фиксированного числа фотонов. Демонстрация радикального отличия при замене когерентного состояния на «кошку Шредингера». Состояния Юрке-Столера как частный случай «кошки Шредингера». Схема приготовления произвольной суперпозиции когерентных состояний из состояния Ю.-С. И когерентного состояния регистрацией одного фотона. Понятие о нелокальных «кошках Шредингера» и схема их приготовления.

**Тема 2 (2 часа) Приготовление «кошки Шредингера» в дисперсионном режиме взаимодействия атома и поля.** Дисперсионный режим модели Джейнса-Каммингса. Приготовление состояния «кошки Шредингера» фотонной моды при пост-селекции состояния атома после его взаимодействия с модой. Схема организации нужного измерения состояния атома при пост-селекции. Понятия о  $\pi/2$ - и  $\pi$ -импульсах.

**Тема 3 (2 часа) Приготовление «кошки Шредингера» методами керровской нелинейности.** Понятие о многокомпонентных «кошках Шредингера». Приближённое дискретное преобразование Фурье состояний моды. Трансформация когерентного состояния в керровской среде. Исследование состояния на различных этапах цикла трансформации. Способы визуализации процесса трансформации состояния моды. Понятие о P-, W- и Q-функциях.

**Тема 4 (2 часа) Сверхточные фазовые измерения с зацепленными состояниями.** Схема Ароша и Раймона сверхточных измерений с нелокальными «кошками Шредингера». Фазовые измерения с интерферометром Маха-Цандера и входным NOON –состоянием. Понятие о гейзенберговском пределе точности фазовых измерений в сравнении со стандартным квантовым пределом.

**Тема 5 (2 часа) Сжатые состояния; двухмодовый сжатый вакуум.** Понятие о «сжатом» свете. Квадратуры и соотношение неопределённости для них. Пример механического квантового осциллятора. Перестройка его состояния при быстром изменении жёсткости. Одномодовые и двухмодовые сжатые состояния. Способы их получения и взаимная трансформация. Понятие о сжатом вакууме.

**Тема 6 (2 часа) Метрология со сжатыми состояниями.** Задачи метрологии на примере автономной навигации. Гиометрия на эффекте Саньяка. Фазовые измерения со сжатым вакуумом на входе в интерферометр Маха-Цандера. Использование двухмодового сжатого вакуума на входе в интерферометр. «Шумовая» квантовая гиометрия. Достижение гейзенберговского предела. Информация Фишера и предел Крамера-Рао в квантовой метрологии. Перспективы использования сжатого света в интерферометре LIGO.

**Тема 7 (2 часа) Квантовые изображения, квантовая голография.** Получение изображений в бифотонном свете. Квантовая голография. Традиционная квантовая поляриметрия и квантовая «поляриметрия в шумах».

**Тема 8 (2 часа) Слабые измерения.** Эксперименты с пред- и пост-селекцией квантовых состояний. Физический смысл мнимой части слабого значения. Иллюстрация в системе «трёх коробок». Парадокс «жестокости короля». Регистрация оптического спинового эффекта Холла методом слабых измерений.

**Тема 9 (2 часа) Фаза в квантовой оптике.** «Наивный» подход Дирака к понятию фазы в квантовой механике. Подходы Пегга-Барнета и Сускинда-Глоговера. Эрмитовы операторы косинуса и синуса фазы. Состояние фотонной моды с определённой фазой. Супероператор

квантовой фазы по Масаси Бану.

**Тема 10 (2 часа)** Геометрическая (топологическая) фаза в оптике. История понятия геометрической фазы в классической и квантовой оптике. Фаза Рытова-Владимирского и фаза Панчаратнама. Идея М. Берри. Геометрическая фаза когерентного состояния и способ её переноса на атомарный конденсат Бозе-Эйнштейна. Операционный подход к понятию геометрической фазы и его обобщение на фазу смешанных состояний. Интерференционный способ её наблюдения.

Теоретический материал курса освещается в ходе практических занятий. Практикуется обсуждение проблемных вопросов, в том числе, с элементами свободной дискуссии с участием обучающихся и преподавателя. На занятиях также заслушиваются доклады обучающихся по заданным темам, сопровождающиеся уточняющими вопросами со стороны преподавателя и других обучающихся. Темы закрепляются в ходе самостоятельной работы обучающегося по решению задач с использованием рекомендованной литературы, а также в процессе научно-исследовательской деятельности. По вопросам, вызывающим затруднения, проводятся дополнительные индивидуальные консультации.

Индивидуальная работа с преподавателем

Перечень работ	Объем, час
Обсуждение плана доклада по избранной теме, рекомендации преподавателя относительно литературных источников, которые можно использовать при подготовке доклада, индивидуальные консультации по ходу подготовки доклада. Обсуждение задач, стоящих перед аспирантом в рамках его научно-исследовательской работы, и возможных способов их решения с привлечением различных методов.	22

Самостоятельная работа обучающихся

Перечень занятий на самостоятельную работу аспирантов	Объем, час
Самостоятельная подготовка к практическим занятиям с использованием учебной литературы. Подготовка доклада по избранной теме. Поиск литературных источников, работа с научным текстом, анализ литературных данных. Подготовка к практическим занятиям. Решение практических заданий.	20
Подготовка доклада по одной из тем лекций	32

## 5. Перечень учебной литературы

### 5.1 Основная литература

1. Е.В. Бакланов. Теоретические основы квантовой электроники: учебное пособие / Е.В. Бакланов; М-во образования и науки РФ, Новосиб. гос. ун-т, Физ. фак., Каф. квантовой электроники.- Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2011 .- 103.

### 5.2 Дополнительная литература

2. Ильичёв Л.В. Элементы квантовой метафизики, ч. 2, НГУ, 2006-2012 (текст учебного пособия размещён на странице кафедры Квантовой оптики).
3. Шляйх В.П. Квантовая оптика в фазовом пространстве. М.: Физматлит, 2005

4. Ильичёв Л.В. Основы квантовой оптики: Курс лекций (электронный текст). Новосибирск: НГУ-ИАиЭ СО РАН, 2019, 115 с. (предоставляется преподавателем).
5. J. Dressel et al. *Colloquium: Understanding quantum weak values: Basics and applications*, <https://arxiv.org/abs/1305.7154>.
6. R.G. Torrom et al. Introduction to quantum radar, <https://arxiv.org/abs/2006.14238v1>.
7. К. Хелстром Квантовая теория проверки гипотез и оценивания. Москва: «Мир», 1979.
8. Kok Chuan, Tan and Hyunseok, Jeong Nonclassical Light and Metrological Power: An Introductory Review, <https://arxiv.org/abs/1909.00942v1>.

### 5.3 Литература для самостоятельного изучения

9. Карасёв В.П., Масалов А.В. Состояния неполяризованного света в квантовой оптике. Опт. и спектр., т.74, вып.5, 1993, с.928-936.
10. Килин С.Я. Квантовая оптика (поля и их детектирование). Минск: Навука і Тэхніка, 1990.
11. Н.-А. Vachor and Т.С. Ralph A Guide to Experiments in Quantum Optics. WILEY-VCH Verlag, 2004
12. S. Haroche, J.-M. Raimond Exploring the Quantum. Oxford University Press, 2006

## **6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся**

Размещение учебных материалов: библиотека НГУ, тексты в сети Интернет, страница Кафедры на сайте ИАиЭ СО РАН: <https://www.iae.nsk.su/ru/departments/2015-12-07-09-12-47>

Обучающиеся полностью обеспечены необходимой научной литературой за счет фондов библиотеки НГУ (<http://libra.nsu.ru/>). Обучающимся, проходящим практику в Институтах СО РАН, предоставляется доступ к информационным ресурсам на тех же основаниях, что и научным сотрудникам этих институтов на основании договоров о прохождении практической подготовки.

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

Освоение дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет;
- Электронный справочник по "Оптике когерентного излучения" (с разделом "4.2. Цифровая голография") <http://optics.sinp.msu.ru/co/toc.html>
- Ресурсы Энциклопедия фотоники: <https://www.rp-photonics.com/encyclopedia.html>

Взаимодействие обучающегося с преподавателем (синхронное и (или) асинхронное) осуществляется через личный кабинет аспиранта в ЭИОС.

### 7.1 Современные профессиональные базы данных:

1. Полнотекстовые журналы Springer Journals за 1997-2020 г., электронные книги (2005-2020 гг.), коллекция научных материалов в области физических наук и инжиниринга Springer Materials, реферативная БД по чистой и прикладной математике zbMATH.
2. Электронная библиотека диссертаций Российской государственной библиотеки (ЭБД РГБ).
3. Полнотекстовые электронные ресурсы Freedom Collection издательства Elsevier (Нидерланды) (23 предметные коллекции).

4. Электронные ресурсы Web of Science Core Collection (Thomson Reuters Scientific LLC.), Journal Citation Reports + ESI.
5. Электронные БД JSTOR (США). 15 предметных коллекций: Arts & Sciences I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, Life Sciences, Health & General Science, Mathematics & Statistics, Ecology & Botany, Language & Literature, Business I, II.).
6. БД Scopus (Elsevier).
7. Архив электронных препринтов (arXiv.org e-Print archive) <https://arxiv.org/list/quant-ph/>

## 7.2. Информационные справочные системы

Не используются

### **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

### **9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации;
2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

### **10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине**

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине и индикаторов их достижения, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы по дисциплине представлен в разделе 1.

#### ***10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине***

##### ***Текущий контроль успеваемости:***

Текущий контроль включает контроль посещаемости обучающимися еженедельных занятий, оценку их активности в ходе дискуссий и проверки заданий для самостоятельного решения. Текущий контроль успеваемости учитывается в рамках промежуточной аттестации.

### ***Промежуточная аттестация:***

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится по итогам завершения программы дисциплины в виде зачета, по результатам которого выставляется оценка «зачтено» или «не зачтено». Оценка «зачтено» может быть выставлена по результатам текущего контроля, если в ходе представления самостоятельно подготовленного доклада и ответов на вопросы обучающийся продемонстрировал уровень сформированности компетенций не ниже порогового. Оценка «зачтено» является положительным результатом прохождения промежуточной аттестации. На зачете для дополнительной проверки сформированности отдельных компетенций обучающемуся могут быть заданы вопросы по пройденному материалу.

### ***Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине Оптические стандарты частоты***

Таблица 10.1

Код компетенции	Результат обучения по дисциплине	Оценочное средство
<b>УК-1. Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях</b>		
УК-1.1	Знать актуальные исследования и критически анализировать результаты предшественников и современные достижения в области физики в применении к профессиональной области деятельности.	Работа на практических занятиях Представление доклада Зачет
УК-1.2	Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений физики, в части постановки актуальных задач научных исследований в применении к профессиональной области деятельности и в зависимости от специфики объекта исследования.	
<b>УК-5 Способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития</b>		
УК-5.1	Знать возможные направления профессиональной самореализации, владеть приемами планирования и оценки собственной деятельности по решению профессионально-значимых задач.	Работа на практических занятиях Представление доклада Зачет
УК-5.2	Уметь выявлять и формулировать проблемы собственного профессионального развития, владеть приемами осознания собственных достижений с целью их совершенствования.	
УК-5.3	Обладать знаниями, достаточными для выполнения научных исследований на современном мировом уровне в применении к профессиональной области деятельности в зависимости от специфики объекта исследования.	
<b>ОПК-1. Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий</b>		
ОПК-1.1	Знать современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в применении к профессиональной области деятельности.	Работа на практических занятиях Представление доклада Зачет

ОПК-1.2	Уметь определять и применять современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в зависимости от специфики объекта исследования.	
ОПК-1.3	Владеть способностью составлять и оформлять научно-технической документацию, научные отчеты, обзоры, доклады и статьи.	
<b>ПК-1. Способность построения теоретических моделей физических явлений и процессов в области физики в зависимости от специфики профиля подготовки.</b>		Работа на практических занятиях Представление доклада Зачет
ПК-1.1	Знать теоретические основы, базовые понятия и модели построения теоретических моделей физических явлений и процессов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.	
ПК-1.2	Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.	
<b>ПК-2. Способность к решению научных и практических задач в области физики в зависимости от специфики профиля подготовки.</b>		Работа на практических занятиях Представление доклада Зачет
ПК-2.1	Знать физические основы базовых экспериментов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.	
ПК-2.2	Уметь определять и применять современные научные методы в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.	

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (не зачтено)	Пороговый уровень (зачтено)	Базовый уровень (зачтено)	Продвинутый уровень (зачтено)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	УК 1.1 УК 5.1 ОПК 1.1 ПК 1.1 ПК 2.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.

Наличие умений	УК 1.2 УК 5.2 ОПК 1.2 ПК 1.2 ПК 2.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	УК 5.3 ОПК 1.3	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.

***Типовые контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения***

Примеры тем докладов по дисциплине  
«Дополнительные главы квантовой оптики»

1. Подход Пэйджа-Лампарда к понятию нестационарного спектра в сравнении с подходом Винера-Хинчина.
2. Модель Тависа-Каммингса.
3. Перспективы использования модели осциллятора Бейтмана в квантовой оптике.
4. Проявления топологической фазы квантованной моды поля
5. Получение изображений с использованием коррелированных фотонов.
6. Квантовая голография.
7. Квантовая эллипсометрия.
8. Фаза Панчаратнама и фаза Рытова-Владимирского (сходство и различие)
9. Интерферометрия Саньяка со сжатым вакуумом.
10. Гейзенберговский предел в квантовой метрологии.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский  
государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)

Физический факультет

---

Кафедра физики полупроводников

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

### **Оптические явления в полупроводниках для аспирантов**

направление подготовки: 03.06.01 Физика и астрономия

**Курс 2, семестр 3**

профиль

**Физика полупроводников**

Форма обучения: **очная**

Разработчик:

д.ф.-м.н., проф. В.Л. Альперович



Заведующий кафедрой физики полупроводников ФФ  
академик РАН, д.ф.-м.н., А.В. Латышев



Новосибирск 2020

## Содержание

<b>Аннотация</b> .....	38
к рабочей программе дисциплины <b>«Оптические стандарты частоты»</b> .....	38
Направленность (профиль): <b>Лазерная физика</b> .....	38
Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы .....	38
1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы .....	40
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы .....	41
3. Трудоемкость дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося .....	41
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий .....	42
5. Перечень учебной литературы .....	44
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся .....	44
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины .....	44
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине .....	45
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине .....	45
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине .....	45

## **Аннотация**

к рабочей программе дисциплины «**Оптические стандарты частоты**»

Направление: **03.06.01 Физика и астрономия**

Направленность (профиль): **Лазерная физика**

Дисциплина «Оптические стандарты частоты» реализуется в рамках образовательной программы высшего образования – программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 03.06.01 «Физика и астрономия» профили подготовки «Лазерная физика» и «Оптика» по очной форме обучения на русском языке. Дисциплина «Оптические стандарты частоты» развивает знания, умения и навыки, сформированные у обучающихся по результатам общей базовой подготовки в рамках программ бакалавриата и магистратуры, и не требует знаний по другим дисциплинам подготовки для аспирантов. Курс входит в набор вариативных дисциплин, направленных на подготовку к сдаче экзаменов кандидатского минимума и подготовки научно-квалификационной работы (диссертации), для аспирантов, обучающихся по профилям подготовки «Лазерная физика» и «Оптика».

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

### **Знания:**

УК-1.1. Знать актуальные исследования и критически анализировать результаты предшественников и современные достижения в области физики в применении к профессиональной области деятельности.

УК-5.1. Знать возможные направления профессиональной самореализации, владеть приемами планирования и оценки собственной деятельности по решению профессионально-значимых задач.

ОПК-1.1. Знать современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в применении к профессиональной области деятельности.

ПК-1.1. Знать теоретические основы, базовые понятия и модели построения теоретических моделей физических явлений и процессов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.

ПК-2.1. Знать физические основы базовых экспериментов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.

### **Умения:**

УК-1.2. Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений физики, в части постановки актуальных задач научных исследований в применении к профессиональной области деятельности и в зависимости от специфики объекта исследования.

УК-5.2. Уметь выявлять и формулировать проблемы собственного профессионального развития, владеть приемами осознания собственных достижений с целью их совершенствования.

ОПК-1.2. Уметь определять и применять современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в зависимости от специфики объекта исследования.

ПК-1.2. Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.

ПК-2.2. Уметь определять и применять современные научные методы в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.

### **Навыки:**

УК-5.3. Обладать знаниями, достаточными для выполнения научных исследований на современном мировом уровне в применении к профессиональной области деятельности в зависимости от специфики объекта исследования.

ОПК-1.3. Владеть способностью составлять и оформлять научно-технической документацию, научные отчеты, обзоры, доклады и статьи.

Цели дисциплины – овладение аспирантами основными понятиями, теоретическими моделями, методами и базовыми экспериментальными результатами в области оптических стандартов частоты и знакомство с современным состоянием данной области науки. В задачи входит углубленное изучение теоретических основ оптических стандартов частоты, развитие навыков решения задач и чтения оригинальной журнальной литературы в области оптических стандартов частоты, формирование у аспирантов представления о современных фундаментальных и прикладных проблемах оптических стандартов частоты, их связи с лазерной физикой, проблемах приложения методов оптических стандартов частоты в фундаментальных исследованиях и в приложениях, связанных с навигацией и связью. Дисциплина предназначена для аспирантов, область будущей профессиональной деятельности которых включает научные исследования, метрология и инженерная деятельность с использованием лазерного излучения; исследования процессов взаимодействия оптического излучения с веществом; научные и технологические разработки в области лазерных систем и квантовой метрологии.

***Текущий контроль успеваемости:***

Текущий контроль успеваемости включает контроль посещаемости обучающимися занятий, сдачу заданий, оценку их активности в ходе дискуссий.

***Промежуточная аттестация:***

Промежуточная аттестация по дисциплине «Оптические стандарты частоты» проводится по итогам завершения программы дисциплины в виде зачета, по результатам которого выставляется оценка «зачтено» или «не зачтено». Оценка «зачтено» может быть выставлена по результатам текущего контроля, если в ходе представления самостоятельно подготовленного доклада и ответов на вопросы обучающийся продемонстрировал уровень сформированности компетенций не ниже порогового. Оценка «зачтено» является положительным результатом прохождения промежуточной аттестации. На зачете для дополнительной проверки сформированности отдельных компетенций обучающемуся могут быть заданы вопросы по пройденному материалу.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: практические занятия, доклады обучающихся по тематике, связанной с выполнением их научной работы, индивидуальная работа с преподавателем/консультации в период занятий, самостоятельная подготовка обучающихся, зачет.

Общий объем дисциплины – 3 зачетных единицы (108 часов).

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

Код	Компетенции, формируемые в рамках дисциплины
<b>УК-1. Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях</b>	
УК-1.1	Знать актуальные исследования и критически анализировать результаты предшественников и современные достижения в области физики в применении к профессиональной области деятельности.
УК-1.2	Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений физики, в части постановки актуальных задач научных исследований в применении к профессиональной области деятельности и в зависимости от специфики объекта исследования.
<b>УК-5. Способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития</b>	
УК-5.1	Знать возможные направления профессиональной самореализации, владеть приемами планирования и оценки собственной деятельности по решению профессионально-значимых задач.
УК-5.2	Уметь выявлять и формулировать проблемы собственного профессионального развития, владеть приемами осознания собственных достижений с целью их совершенствования.
УК-5.3	Обладать знаниями, достаточными для выполнения научных исследований на современном мировом уровне в применении к профессиональной области деятельности в зависимости от специфики объекта исследования.
<b>ОПК-1. Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий</b>	
ОПК-1.1	Знать современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в применении к профессиональной области деятельности.
ОПК-1.2	Уметь определять и применять современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в зависимости от специфики объекта исследования.
ОПК-1.3	Владеть способностью составлять и оформлять научно-технической документацию, научные отчеты, обзоры, доклады и статьи.
<b>ПК-1. Способность построения теоретических моделей физических явлений и процессов в области физики в зависимости от специфики профиля подготовки.</b>	
ПК-1.1	Знать теоретические основы, базовые понятия и модели построения теоретических моделей физических явлений и процессов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.
ПК-1.2	Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.
<b>ПК-2. Способность к решению научных и практических задач в области физики в зависимости от специфики профиля подготовки.</b>	
ПК-2.1	Знать физические основы базовых экспериментов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.
ПК-2.2	Уметь определять и применять современные научные методы в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.

### 3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Оптические стандарты частоты» реализуется в рамках образовательной программы высшего образования – программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 03.06.01 «Физика и астрономия» профили подготовки «Лазерная физика» и «Оптика» по очной форме обучения на русском языке. Дисциплина «Оптические стандарты частоты» развивает знания, умения и навыки, сформированные у обучающихся по результатам общей базовой подготовки в рамках программ бакалавриата и магистратуры, и не требует знаний по другим дисциплинам подготовки для аспирантов. Курс входит в набор вариативных дисциплин, направленных на подготовку к сдаче экзаменов кандидатского минимума и подготовки научно-квалификационной работы (диссертации), для аспирантов, обучающихся по профилям подготовки «Лазерная физика» и «Оптика».

Цели дисциплины – овладение аспирантами основными понятиями, теоретическими моделями, методами и базовыми экспериментальными результатами в области оптических стандартов частоты и знакомство с современным состоянием данной области науки. В задачи входит углубленное изучение теоретических основ оптических стандартов частоты, развитие навыков решения задач и чтения оригинальной журнальной литературы в области оптических стандартов частоты, формирование у аспирантов представления о современных фундаментальных и прикладных проблемах оптических стандартов частоты, их связи с лазерной физикой, проблемах приложения методов оптических стандартов частоты в фундаментальных исследованиях и в приложениях, связанных с навигацией и связью. Дисциплина предназначена для аспирантов, область будущей профессиональной деятельности которых включает научные исследования, метрология и инженерная деятельность с использованием лазерного излучения; исследования процессов взаимодействия оптического излучения с веществом; научные и технологические разработки в области лазерных систем и квантовой метрологии.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: практические занятия, доклады обучающихся по тематике, связанной с выполнением их научной работы, индивидуальная работа с преподавателем/консультации в период занятий. самостоятельная подготовка обучающихся, зачет.

Общий объем дисциплины – 3 зачетных единицы (108 часов).

Дисциплины (практики), для изучения которых необходимо освоение дисциплины Оптические стандарты частоты:

Кандидатский экзамен по модулям Лазерная физика и Оптика.

### 3. Трудоемкость дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)					Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем					Самостоятельная работа, не включая период сессии	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Индивидуальная работа с преподавателем/ Консультации в период занятий	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации		Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Кандидатский экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	108		32		22	52			2		

Всего 108 часа /3 зачетных единицы из них: - контактная работа 56 часов - в интерактивных формах 54 часа
Компетенции: УК-1, УК-5, ОПК-1, ПК-1, ПК-2

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

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)						Консультации перед экзаменом	Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы			Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	Сам. работа во время промежуточной аттестации		
				Лекции	Практические занятия	Индивидуальная работа с преподавателем/консультации в период занятий				
1	2	3	4	5	6		7	8	9	10
1.	Колебательные системы с обратной связью	1-2	10		4			6		
2.	Стабилизация частоты при наличии шумов	3-4	10		4			6		
3.	Метод разнесенных полей Рамсея и его обобщения	5-6	10		4			6		
4.	Методы стабилизации частоты лазеров	7-8	10		4			6		
5.	Ионные стандарты оптического диапазона	9-10	10		4			6		
6.	Метрологические характеристики решеточных стандартов	11-12	10		4			6		
7.	Научные доклады обучающихся по тематикам их научных исследований	13-16	46		8	22		16		
8.	Зачет	17	2							2
<b>Всего</b>			108		32	22		52		2

#### План практических занятий

1. Колебательные системы с обратной связью: математическое описание колебаний, идеальные и реальные гармонические осцилляторы, амплитудная и фазовые модуляции, электронные сервосистемы, компоненты, примеры систем.
2. Стабилизация частоты при наличии шумов: флуктуации частоты во временном представлении, дисперсия Аллана, спектральное описание флуктуаций частоты, флуктуации частоты и форма линии генерации, методы измерений частоты.
3. Метод разнесенных полей Рамсея и его обобщения: метод Рамсея с разнесенными во времени осциллирующими полями в приложении к задачам прецизионной спектроскопии

и квантовой обработке информации, обобщенные методы Рамсея, композитные импульсы, двухпетлевые методы.

4. Методы стабилизации частоты лазеров: методы Хэнша-Куйо, Паунда-Дривера-Холла, практические приемы стабилизации частоты лазеров на основе использования спектральных линий оптических реперов.

5. Ионные стандарты оптического диапазона: принципы действия ионных ловушек, способы практической реализации ионных ловушек и проведение точных измерений с помощью ионных стандартов.

6. Метрологические характеристики решеточных стандартов: захват нейтральных атомов в оптические решетки на магической длине волны, режим Лэмба-Дикке, систематические сдвиги частоты в решеточных стандартах, решеточные стандарты с Бозе- и Ферми-атомами.

7. Научные доклады обучающихся по тематикам их научных исследований: оптические стандарты частоты на основе ультрахолодных атомов магния, оптические стандарты частоты на основе одиночного иона иттербия, оптический стандарт частоты на основе поглощающей ячейки с метаном, оптический стандарт частоты на основе резонансов в молекулярном йоде, фемтосекундные синтезаторы частот.

Теоретический материал курса освещается в ходе практических занятий, обсуждается как необходимый математический аппарат и теоретические аспекты алгоритмов, так и реальные примеры использования обсуждаемых методов из практики наиболее известных экспериментов в мировой науке. В ходе занятий поощряются вопросы слушателей, часть тем обсуждается в форме дискуссий. Материал занятий доступен в электронном виде. В ходе обучения широко используются компьютерные демонстрации. По вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации.

#### Индивидуальная работа с преподавателем

Перечень работ	Объем, час
Обсуждение плана доклада по избранной теме, рекомендации преподавателя относительно литературных источников, которые можно использовать при подготовке доклада, индивидуальные консультации по ходу подготовки доклада. Обсуждение задач, стоящих перед аспирантом в рамках его научно-исследовательской работы, и возможных способов их решения с привлечением различных методов.	22

#### Самостоятельная работа обучающихся

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Самостоятельная подготовка к практическим занятиям с использованием учебной литературы. Подготовка доклада по избранной теме. Поиск литературных источников, работа с научным текстом, анализ литературных данных. Подготовка к практическим занятиям. Решение практических заданий.	52

## **5. Перечень учебной литературы**

### 5.1 Основная литература

1. Ф.Риле Стандарты частоты: принципы и приложения / Ф. Риле ; пер. с англ. Н.Н. Колачевского .— Москва : Физматлит, 2009 .— 511 с. : ил. ; 24 см. — Пер. изд.: Frequency standards: Basics and Applications / Fritz Riehle. - Wiley-VCH.— Библиогр.: с. 463-511.

### 5.2 Дополнительная литература

2. Е.В.Бакланов. Теоретические основы квантовой электроники: учебное пособие / Е.В. Бакланов ; М-во образования и науки РФ, Новосиб. гос. ун-т, Физ. фак., Каф. квантовой электроники .- Новосибирск : Новосибирский государственный университет, 2011 .- 103.

## **6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся**

Размещение учебных материалов: Адрес страницы кафедры ИЛФ СО РАН  
<http://www.laser.nsc.ru/kafedra-kvantovoj-elektroniki/>

Обучающиеся полностью обеспечены необходимой научной литературой за счет фондов библиотеки НГУ (<http://libra.nsu.ru/>). Обучающимся, проходящим практику в Институтах СО РАН, предоставляется доступ к информационным ресурсам на тех же основаниях, что и научным сотрудникам этих институтов на основании договоров о прохождении практической подготовки.

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

Освоение дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет;

Взаимодействие обучающегося с преподавателем (синхронное и (или) асинхронное) осуществляется через личный кабинет студента в ЭИОС.

### 7.2 Современные профессиональные базы данных:

1. Полнотекстовые журналы Springer Journals за 1997-2020 г., электронные книги (2005-2020 гг.), коллекция научных материалов в области физических наук и инжиниринга Springer Materials.
2. Электронная библиотека диссертаций Российской государственной библиотеки (ЭБД РГБ).
3. Полнотекстовые электронные ресурсы Freedom Collection издательства Elsevier (Нидерланды) (23 предметные коллекции).
4. Электронные ресурсы Web of Science Core Collection (Thomson Reuters Scientific LLC.), Journal Citation Reports + ESI.
5. БД Scopus (Elsevier).

### 7.2. Информационные справочные системы

Не используются

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

## **9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации;
2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

## **10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине**

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине и индикаторов их достижения, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы по дисциплине представлен в разделе 1.

### ***10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине***

#### ***Текущий контроль успеваемости:***

Текущий контроль успеваемости включает контроль посещаемости обучающимися занятий, сдачу заданий, оценку их активности в ходе дискуссий, представление доклада по тематике научного исследования.

#### ***Промежуточная аттестация:***

Промежуточная аттестация по дисциплине «Оптические стандарты частоты» проводится по итогам завершения программы дисциплины в виде зачета, по результатам которого выставляется оценка «зачтено» или «не зачтено». Оценка «зачтено» может быть выставлена по результатам текущего контроля, если в ходе представления самостоятельно подготовленного доклада и ответов на вопросы обучающийся продемонстрировал уровень сформированности компетенций не ниже порогового. Оценка «зачтено» является положительным результатом прохождения промежуточной аттестации. На зачете для дополнительной проверки сформированности отдельных компетенций обучающемуся могут быть заданы вопросы по пройденному материалу.

**Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине Оптические стандарты частоты**

Таблица 10.1

Код компетенции	Результат обучения по дисциплине	Оценочное средство
<b>УК-1. Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях</b>		
УК-1.1	Знать актуальные исследования и критически анализировать результаты предшественников и современные достижения в области физики в применении к профессиональной области деятельности.	Работа на практических занятиях Представление доклада Зачет
УК-1.2	Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений физики, в части постановки актуальных задач научных исследований в применении к профессиональной области деятельности и в зависимости от специфики объекта исследования.	
<b>УК-5 Способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития</b>		
УК-5.1	Знать возможные направления профессиональной самореализации, владеть приемами планирования и оценки собственной деятельности по решению профессионально-значимых задач.	Работа на практических занятиях Представление доклада Зачет
УК-5.2	Уметь выявлять и формулировать проблемы собственного профессионального развития, владеть приемами осознания собственных достижений с целью их совершенствования.	
УК-5.3	Обладать знаниями, достаточными для выполнения научных исследований на современном мировом уровне в применении к профессиональной области деятельности в зависимости от специфики объекта исследования.	
<b>ОПК-1. Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий</b>		
ОПК-1.1	Знать современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в применении к профессиональной области деятельности.	Работа на практических занятиях Представление доклада Зачет
ОПК-1.2	Уметь определять и применять современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в зависимости от специфики объекта исследования.	
ОПК-1.3	Владеть способностью составлять и оформлять научно-технической документацию, научные отчеты, обзоры, доклады и статьи.	
<b>ПК-1. Способность построения теоретических моделей физических явлений и процессов в области физики в зависимости от специфики профиля подготовки.</b>		
ПК-1.1	Знать теоретические основы, базовые понятия и модели	Работа на практических занятиях Представлен

	построения теоретических моделей физических явлений и процессов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.	ие доклада Зачет
ПК-1.2	Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.	
<b>ПК-2. Способность к решению научных и практических задач в области физики в зависимости от специфики профиля подготовки.</b>		Работа на практических занятиях Представлен ие доклада Зачет
ПК-2.1	Знать физические основы базовых экспериментов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.	
ПК-2.2	Уметь определять и применять современные научные методы в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.	

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (не зачтено)	Пороговый уровень (зачтено)	Базовый уровень (зачтено)	Продвинутый уровень (зачтено)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	УК 1.1 УК 5.1 ОПК 1.1 ПК 1.1 ПК 2.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	УК 1.2 УК 5.2 ОПК 1.2 ПК 1.2 ПК 2.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без

			негрубые ошибки.	или с недочетами.	недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	УК 5.3 ОПК 1.3	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.

***Типовые контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения***

Тематика докладов дисциплины  
«Оптические стандарты частоты»

1. Спектроскопия квантовой логики.
2. Столкновительные сдвиги частоты в ансамблях ультрахолодных атомов в оптических решетках.
3. Магнито-индуцированная спектроскопия 0-0 переходов.
4. Гипер-рамсеевская спектроскопия.
5. Методы подавления сдвигов частоты, обусловленных тепловым равновесным излучением.
6. Электродинамика атомов в оптических решетках: поправки высших порядков и связанные с ними сдвиги частоты реперного перехода.
7. Многоионные оптические стандарты частоты.
8. Оптические стандарты частоты на базе многозарядных ионов.
9. Оптические стандарты частоты на базе ядерных переходов.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский  
государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)

Физический факультет

---

Кафедра физики полупроводников

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

### **Оптические явления в полупроводниках для аспирантов**

направление подготовки: 03.06.01 Физика и астрономия

**Курс 2, семестр 3**

профиль

**Физика полупроводников**

Форма обучения: **очная**

Разработчик:

д.ф.-м.н., проф. В.Л. Альперович



Заведующий кафедрой физики полупроводников ФФ  
академик РАН, д.ф.-м.н., А.В. Латышев



Новосибирск 2020

## Содержание

Аннотация .....	51
1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы .....	53
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы .....	54
3. Трудоемкость дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося .....	54
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий.....	55
5. Перечень учебной литературы .....	59
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся .....	60
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины .....	60
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине .....	61
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине .....	61
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.....	61

**Аннотация**  
к рабочей программе дисциплины  
**«Оптические явления в полупроводниках для аспирантов»»**  
Направление: **03.06.01 Физика и астрономия**  
Направленность (профиль): **Оптика**

Дисциплина «Оптические явления в полупроводниках для аспирантов» реализуется в рамках образовательной программы высшего образования – программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 03.06.01 «Физика и астрономия» профили подготовки «Физика полупроводников» и «Оптика» по очной форме обучения на русском языке. Дисциплина «Оптические явления в полупроводниках для аспирантов» развивает знания, умения и навыки, сформированные у обучающихся по результатам общей базовой подготовки в рамках программ бакалавриата и магистратуры, и не требует знаний по другим дисциплинам подготовки для аспирантов. Курс входит в набор вариативных дисциплин, направленных на подготовку к сдаче экзаменов кандидатского минимума и подготовки научно-квалификационной работы (диссертации), для аспирантов, обучающихся по профилям подготовки «Физика полупроводников» и «Оптика».

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

**Знания:**

УК-1.1. Знать актуальные исследования и критически анализировать результаты предшественников и современные достижения в области физики в применении к профессиональной области деятельности.

УК-5.1. Знать возможные направления профессиональной самореализации, владеть приемами планирования и оценки собственной деятельности по решению профессионально-значимых задач.

ОПК-1.1. Знать современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в применении к профессиональной области деятельности.

ПК-1.1. Знать теоретические основы, базовые понятия и модели построения теоретических моделей физических явлений и процессов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.

ПК-2.1. Знать физические основы базовых экспериментов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.

**Умения:**

УК-1.2. Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений физики, в части постановки актуальных задач научных исследований в применении к профессиональной области деятельности и в зависимости от специфики объекта исследования.

УК-5.2. Уметь выявлять и формулировать проблемы собственного профессионального развития, владеть приемами осознания собственных достижений с целью их совершенствования.

ОПК-1.2. Уметь определять и применять современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в зависимости от специфики объекта исследования.

ПК-1.2. Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.

ПК-2.2. Уметь определять и применять современные научные методы в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.

**Навыки:**

УК-5.3. Обладать знаниями, достаточными для выполнения научных исследований на современном мировом уровне в применении к профессиональной области деятельности в зависимости от специфики объекта исследования.

ОПК-1.3. Владеть способностью составлять и оформлять научно-технической документацию, научные отчеты, обзоры, доклады и статьи.

Основные задачи преподавания данной дисциплины состоят в углубленном изучении теоретических вопросов физики взаимодействия электромагнитного излучения с твердыми телами, оптических методов исследования полупроводников и полупроводниковых структур, а также принципов работы современных полупроводниковых фотоприемников, солнечных элементов, светоизлучающих и фотоэмиссионных приборов. В ходе изучения дисциплины у аспирантов формируются представления о способах феноменологического и микроскопического описания оптических явлений в кристаллах, о современном состоянии исследований оптических процессов в полупроводниках, об основных идеях и достижениях в этой области, о спектроскопических методах исследования полупроводников.

***Текущий контроль успеваемости:***

Текущий контроль успеваемости включает контроль посещаемости обучающимися занятий, сдачу заданий, оценку их активности в ходе дискуссий и заключается в презентации аспирантом доклада по одному из разделов программы курса.

***Промежуточная аттестация:***

Промежуточная аттестация по дисциплине «Оптические явления в полупроводниках для аспирантов» проводится по итогам завершения программы дисциплины в виде зачета, по результатам которого выставляется оценка «зачтено» или «не зачтено». Оценка «зачтено» может быть выставлена по результатам текущего контроля, если в ходе представления самостоятельно подготовленного доклада и ответов на вопросы обучающийся продемонстрировал уровень сформированности компетенций не ниже порогового. Оценка «зачтено» является положительным результатом прохождения промежуточной аттестации. На зачете для дополнительной проверки сформированности отдельных компетенций обучающемуся могут быть заданы вопросы по пройденному материалу.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: практические занятия, доклады обучающихся по тематике, связанной с выполнением их научной работы, индивидуальная работа с преподавателем/консультации в период занятий, самостоятельная подготовка обучающихся, зачет.

Общий объем дисциплины – 3 зачетных единицы (108 часов).

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

Код	Компетенции, формируемые в рамках дисциплины
<b>УК-1. Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях</b>	
УК-1.1	Знать актуальные исследования и критически анализировать результаты предшественников и современные достижения в области физики в применении к профессиональной области деятельности.
УК-1.2	Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений физики, в части постановки актуальных задач научных исследований в применении к профессиональной области деятельности и в зависимости от специфики объекта исследования.
<b>УК-5. Способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития</b>	
УК-5.1	Знать возможные направления профессиональной самореализации, владеть приемами планирования и оценки собственной деятельности по решению профессионально-значимых задач.
УК-5.2	Уметь выявлять и формулировать проблемы собственного профессионального развития, владеть приемами осознания собственных достижений с целью их совершенствования.
УК-5.3	Обладать знаниями, достаточными для выполнения научных исследований на современном мировом уровне в применении к профессиональной области деятельности в зависимости от специфики объекта исследования.
<b>ОПК-1. Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий</b>	
ОПК-1.1	Знать современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в применении к профессиональной области деятельности.
ОПК-1.2	Уметь определять и применять современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в зависимости от специфики объекта исследования.
ОПК-1.3	Владеть способностью составлять и оформлять научно-технической документацию, научные отчеты, обзоры, доклады и статьи.
<b>ПК-1. Способность построения теоретических моделей физических явлений и процессов в области физики в зависимости от специфики профиля подготовки.</b>	
ПК-1.1	Знать теоретические основы, базовые понятия и модели построения теоретических моделей физических явлений и процессов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.
ПК-1.2	Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.
<b>ПК-2. Способность к решению научных и практических задач в области физики в зависимости от специфики профиля подготовки.</b>	
ПК-2.1	Знать физические основы базовых экспериментов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.
ПК-2.2	Уметь определять и применять современные научные методы в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Оптические явления в полупроводниках для аспирантов» реализуется в рамках образовательной программы высшего образования – программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 03.06.01 «Физика и астрономия» профили подготовки «Физика полупроводников» и «Оптика» по очной форме обучения на русском языке. Дисциплина «Оптические явления в полупроводниках для аспирантов» развивает знания, умения и навыки, сформированные у обучающихся по результатам общей базовой подготовки в рамках программ бакалавриата и магистратуры, и не требует знаний по другим дисциплинам подготовки для аспирантов. Курс входит в набор вариативных дисциплин, направленных на подготовку к сдаче экзаменов кандидатского минимума и подготовки научно-квалификационной работы (диссертации), для аспирантов, обучающихся по профилям подготовки «Физика полупроводников» и «Оптика».

Основные задачи преподавания данной дисциплины состоят в углубленном изучении теоретических вопросов физики взаимодействия электромагнитного излучения с твердыми телами, оптических методов исследования полупроводников и полупроводниковых структур, а также принципов работы современных полупроводниковых фотоприемников, солнечных элементов, светоизлучающих и фотоэмиссионных приборов. В ходе изучения дисциплины у аспирантов формируются представления о способах феноменологического и микроскопического описания оптических явлений в кристаллах, о современном состоянии исследований оптических процессов в полупроводниках, об основных идеях и достижениях в этой области, о спектроскопических методах исследования полупроводников.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: практические занятия, доклады обучающихся по тематике, связанной с выполнением их научной работы, индивидуальная работа с преподавателем/консультации в период занятий. самостоятельная подготовка обучающихся, зачет.

Общий объем дисциплины – 3 зачетных единицы (108 часов).

Дисциплины (практики), для изучения которых необходимо освоение дисциплины Оптические стандарты частоты:

Кандидатский экзамен по модулям Оптика и Физика полупроводников.

## 3. Трудоемкость дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)					Промежуточная аттестация (в часах)					
		Контактная работа обучающихся с преподавателем					Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Индивидуальная работа с преподавателем/ Консультации в период занятий	Консультации			Зачет	Дифференцированный зачет	Кандидатский экзамен	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
3	108	32			22	52			2			
Всего 108 часов /3 зачетных единицы, из них:												
- контактная работа 56 часов												
- в интерактивных формах 22 часа												
Компетенции: УК-1, УК-5, ОПК-1, ПК-1, ПК-2												

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

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)						Индивидуальная работа с преподавателем/Консультации перед экзаменом	Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы			Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	Сам. работа во время промежуточной аттестации		
				Лекции	Практические занятия	Индивидуальная работа с преподавателем/ Консультации в период занятий				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.	Оптические характеристики вещества. Модель Лоренца. Нелинейные оптические явления.	1-2	4		2		2			
2.	Определение оптических характеристик полупроводников из экспериментов по отражению и поглощению света	3-4	4		2		2			
3.	Межзонные оптические переходы в полупроводниках Экситонные эффекты.	5-6	4		2		2			
4.	Поглощение света, обусловленное фононами и примесями.	7-8	4		2		2			
5.	Фотоэлектрические и фотоэмиссионные явления в полупроводниках.	9-10	4		2		2			
6.	Излучательная рекомбинация в полупроводниках	11-12	4		2		2			
7.	Оптические явления в полупроводниковых микроструктурах	13-14	4		2		2			
8.	Оптические методы исследования полупроводников	15-16	4		2		2			
9.	Научные доклады обучающихся по тематикам их научных исследований	1-16	74		16	22	36			
10.	Зачет	17	2							2
<b>Всего</b>			108		32	22	52			2

## Программа курса по разделам и темам

### ***Раздел 1. Феноменологическое описание оптических свойств кристаллов***

Цель: сформировать представления о возможностях и ограничениях феноменологического описания оптических свойств кристаллов и о классической теории дисперсии оптических характеристик.

*Тема 1.* Оптические характеристики вещества.

Уравнения Максвелла для распространения электромагнитных волн в среде.

Тензор диэлектрической проницаемости, его связь с симметрией кристалла.

Комплексный показатель преломления.

Дисперсионные соотношения Крамерса-Кронига.

Классическая теория дисперсии оптических характеристик. Модель Лоренца.

Нелинейно-оптические явления в кристаллах.

*Тема 2.* Связь измеряемых величин с оптическими характеристиками.

Отражение, преломление, поглощение и интерференция света в полупроводниках.

Изменение состояния поляризации света при отражении и преломлении. Эллипсометрия.

Пределы применимости феноменологического описания оптических свойств.

### ***Раздел 2. Механизмы поглощения света в полупроводниках.***

Цель: Изучить микроскопические механизмы поглощения света в полупроводниках.

*Тема 3.* Межзонные оптические переходы.

Межзонные оптические переходы в прямозонных и в непрямозонных полупроводниках.

Влияние кулоновского взаимодействия электронов и дырок (экситонных эффектов) на край собственного поглощения. Поляритоны.

*Тема 4.* Поглощение света, обусловленное фононами и примесями.

Поглощение света на фононах.

Поглощение света на свободных носителях заряда.

Оптические переходы примесь-зона.

*Тема 5.* Влияние внешних воздействий на поглощение света.

Пьезооптические явления. Влияние гидростатического и одноосного давления на межзонное поглощение света.

Влияние температуры на край собственного поглощения. Правило Урбаха.

Электрооптические явления. Линейный и квадратичный электрооптические эффекты. Влияние электрического поля на край собственного поглощения. Эффект Франца-Келдыша.

Магнитооптические явления. Эффект Фарадея. Циклотронный резонанс. Межзонное поглощение света в квантующем магнитном поле. Диамагнитные экситоны.

*Тема 6.* Поглощение света в сильнолегированных и неупорядоченных полупроводниках.

Электронный спектр и плотность состояний в сильнолегированных полупроводниках. Критерий сильного легирования. Формирование примесной зоны и хвостов плотности состояний в запрещенной зоне. Сильнолегированные компенсированные полупроводники.

Межзонные оптические переходы в сильнолегированных полупроводниках. Эффект Мосса-Бурштейна. Правило Урбаха.

Энергетический спектр неупорядоченных (аморфных) полупроводников. Плотность состояний. Роль ближнего порядка в формировании электронного спектра некристаллических полупроводников. Спектры оптического поглощения неупорядоченных полупроводников.

### ***Раздел 3. Явления с участием неравновесных носителей заряда.***

Цель: сформировать представления об основных явлениях в полупроводниках с участием неравновесных носителей заряда и приборах, разработанных на основе таких явлений.

*Тема 7. Фотоэлектрические явления в полупроводниках.*

Фотоэлектрические явления на баллистических, горячих и термализованных неравновесных носителях заряда. Релаксация импульса и энергии.

Время жизни. Диффузия и дрейф. Фотопроводимость. Фото-ЭДС в контакте металл-полупроводник и в *p-n* переходе.

Полупроводниковые фотоприемники. Фотосопротивления и фотодиоды. Основные параметры фотоприемников. Шумы фотоприемников. Матричные фотоприемники.

Солнечные элементы.

*Тема 8. Излучательная рекомбинация в полупроводниках.*

Излучательная рекомбинация неравновесных носителей заряда. Переходы зона-зона и примесь-зона.

Горячая фотолюминесценция. Исследование механизмов рассеяния импульса, энергии и спина электронов по спектрам горячей поляризованной фотолюминесценции.

Полупроводниковые излучатели: светодиоды и лазеры. Инжекционные лазеры на двойных гетероструктурах.

*Тема 9. Фотоэмиссия электронов из полупроводников.*

Внешний фотоэффект. Определение работы выхода электронов из полупроводника.

Активирование поверхности полупроводника до состояния с эффективным отрицательным электронным средством (ОЭС).

Полупроводниковые фотокатоды с ОЭС. Фотоэмиссия электронов, поляризованных по спине. Использование ОЭС-фотокатодов в научных исследованиях и в электронно-оптических приборах.

### ***Раздел 4. Оптические явления в полупроводниковых микроструктурах.***

Цель: сформировать представления об оптических явлениях в полупроводниковых низкоразмерных структурах и о приборах, разработанных на их основе.

*Тема 10. Оптические явления в квантовых ямах.*

Поглощение и излучение света в полупроводниковых квантовых ямах. Правила отбора.

Инфракрасные фотоприемники и электрооптические модуляторы на структурах с квантовыми ямами.

*Тема 11. Оптические явления в полупроводниковых сверхрешетках.*

Поглощение света и транспорт электронов в композиционных полупроводниковых сверхрешетках. Локализация Ванье-Штарка.

Легированные сверхрешетки: зонные диаграммы, оптические и фотоэлектрические свойства.

### ***Раздел 5. Оптические методы исследования полупроводников.***

Цель: сформировать представления о возможностях современных оптических, фотоэлектрических и фотоэмиссионных методах исследования объема и поверхности полупроводников и полупроводниковых структур.

*Тема 12. Фотолюминесценция и комбинационное рассеяние света.*

Идентификация типов оптических переходов и химической природы примесей по спектрам фотолюминесценции. Измерение времени жизни.

Комбинационное рассеяние света. Рассеяние на оптических и акустических фонах. Электронное комбинационное рассеяние.

*Тема 13. Фотоэлектрическая и модуляционная спектроскопия.*

Фотоэлектрическая спектроскопия полупроводниковых структур. Определение порогов оптических переходов и рекомбинационных параметров неравновесных носителей заряда.

Методы модуляционной спектроскопии полупроводников. Электропоглощение, электроотражение и фотоотражение.

*Тема 14. Оптические методы исследования поверхности.*

Проблема обеспечения поверхностной чувствительности оптических методов.

Анизотропное отражение поляризованного света.

Фотоэмиссионная спектроскопия. Химические сдвиги фотоэмиссионных линий. Определение состава и электронных свойств поверхности. Использование синхротронного излучения для фотоэмиссионных исследований поверхности полупроводников.

В ходе реализации учебного процесса по дисциплине «Оптические явления в полупроводниках для аспирантов» проводятся практические занятия. Материал курса увязывается с передовыми исследованиями всюду, где это допускается уровнем знаний и подготовки аспирантов. Специально указываются темы, активно обсуждающиеся в текущей профессиональной научной литературе.

Методическая новизна базовой части курса состоит в изложении с единых позиций оптических свойств различных твердых тел – полупроводников, диэлектриков и металлов. Это позволяет студентам глубже осознать, с одной стороны, фундаментальные различия между откликом металлов и диэлектриков на электромагнитное излучение и, с другой стороны, понять случаи «металлического» поведения оптических спектров полупроводников и влияния межзонных переходов в металлах на их оптические свойства. По сравнению с известными учебниками, при изложении материала более широко используются графики и диаграммы, иллюстрирующие микроскопические механизмы поглощения света, релаксацию импульса, энергии и спина фотоэлектронов, возникновение фототоков и фото-ЭДС, а также фотоэмиссию электронов из кристалла в вакуум. В курсе детально рассмотрены физические основы и экспериментальные реализации методов модуляционной спектроскопии полупроводников, в том числе электропоглощение, электро- и фотоотражение.

Еще одно отличие данного курса от традиционных курсов по оптике полупроводников состоит в детальном рассмотрении современных методов исследования поверхности твердых тел, основанных на использовании видимого, ультрафиолетового и рентгеновского излучения. В числе таких методов рассмотрены фотоэмиссионная спектроскопия и спектроскопия анизотропного отражения света.

Практические занятия проводятся в "интерактивной" форме, с возможностью для аспирантов задавать вопросы преподавателю (и наоборот) непосредственно по ходу изложения. По вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации.

## Индивидуальная работа с преподавателем

Перечень работ	Объем, час
Обсуждение плана доклада по избранной теме, рекомендации преподавателя относительно литературных источников, которые можно использовать при подготовке доклада, индивидуальные консультации по ходу подготовки доклада. Обсуждение задач, стоящих перед аспирантом в рамках его научно-исследовательской работы, и возможных способов их решения с привлечением различных методов.	22

## Самостоятельная работа обучающихся

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Изучение проблемы в историческом аспекте с использованием лекций и обязательной литературы. Анализ периодической литературы за последние 5 лет, относящейся к теме доклада. Периодическая литература, имеющаяся в доступных полнотекстовых базах данных.	16
Подготовка доклада по одной тем семинаров, вынесенных на самостоятельную подготовку	36

## 5. Перечень учебной литературы

### 5.1 Основная литература

1. Ненашев А.В., Альперович В.Л. Колебания кристаллической решетки [Текст: электронный ресурс]: учебное пособие: [для студентов и аспирантов физических специальностей вузов] / А.В. Ненашев, В.Л. Альперович; М-во образования и науки РФ, Новосиб. гос. ун-т, Физ. фак. Электрон. дан. (1 файл) (Новосибирск: РИЦ НГУ, 2016)

### 5.2 Дополнительная литература для самостоятельного изучения

2. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников : учеб. пособие. СПб. : Лань, 2008. 624 с.
3. Фотоприемники видимого и ИК диапазонов / Под ред. Р.Д. Киеса. М. : Радио и связь, 1985. 328 с.
4. Рывкин С.М. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. М., 1963. 496 с.
5. Херман М. Полупроводниковые сверхрешетки. М. : Мир, 1989. 240 с.
6. Пихтин А.Н. Оптическая и квантовая электроника. М. :Высш. шк., 2001. 573 с.
7. Ю П., Кардона М. Основы физики полупроводников. М. :Физматлит, 2002. 560 с.
8. Грундман М. Основы физики полупроводников. Нанопизика и технические приложения. М. :Физматлит, 2012. 772 с.
9. Гантмахер В.Ф., Левинсон И.Б. Рассеяние носителей тока в металлах и полупроводниках. М.: Наука, 1984. 352 с.
10. Кейси Х., Паниш М. Лазеры на гетероструктурах. В 2-х томах. Т.1. М.: Мир, 1981. 304 с.
11. Кейси Х., Паниш М. Лазеры на гетероструктурах. В 2-х томах. Т.2. М.: Мир, 1981. 268 с.
12. Войцеховский А.В., Петров А.С., Потахова Г.И. Оптика полупроводников : учеб. пособие. Томск: Изд. Томского гос. ун-та, 1987. 221 с.

13. Оптическая ориентация / Под ред. Ф. Майера и Б.П. Захарчени. Л. : Наука, 1989. 408 с.

## **6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся**

Размещение учебных материалов:

Адрес в интернете, по которому размещены учебные материалы дисциплины:

[http://www.isp.nsc.ru/index.php?ACTION=part&id\\_part=4&sub\\_part=79&sub\\_sub\\_part=4227](http://www.isp.nsc.ru/index.php?ACTION=part&id_part=4&sub_part=79&sub_sub_part=4227).

<http://www.isp.nsc.ru/obrazovanie/aspirantura/obshchaya-informatsiya>

1. В.Л.Альперович. Оптические процессы в полупроводниках. Программа курса, вопросы к коллоквиуму, задание, рекомендованная литература. (Интернет-ресурс: [http://www.isp.nsc.ru/index.php?ACTION=part&id\\_part=4&sub\\_part=79&sub\\_sub\\_part=422](http://www.isp.nsc.ru/index.php?ACTION=part&id_part=4&sub_part=79&sub_sub_part=422)).
2. В.Л. Альперович. Дополнительные вопросы и комментарии к программе кандидатского экзамена по физике полупроводников. Методические указания, схема ответов по наиболее сложным разделам, контрольные вопросы, задачи, рекомендованная литература. (Интернет-ресурс: <http://www.isp.nsc.ru/obrazovanie/aspirantura/obshchaya-informatsiya>).
3. А. В. Ненашев, В. Л. Альперович. Колебания кристаллической решётки. Учебное пособие. РИЦ НГУ, Новосибирск, 2015.
4. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.: Наука, 1977. 672 с.
5. МоссТ., БареллГ., ЭллисБ.. Полупроводниковая оптоэлектроника. М. : Мир, 1976. 431 с.

Обучающиеся полностью обеспечены необходимой научной литературой за счет фондов библиотеки НГУ (<http://libra.nsu.ru/>). Обучающимся, проходящим практику в Институтах СО РАН, предоставляется доступ к информационным ресурсам на тех же основаниях, что и научным сотрудникам этих институтов на основании договоров о прохождении практической подготовки.

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

Освоение дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;

- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет;

Взаимодействие обучающегося с преподавателем (синхронное и (или) асинхронное) осуществляется через личный кабинет студента в ЭИОС. Электронный адрес преподавателя: [alper\\_isp@mail.ru](mailto:alper_isp@mail.ru)

### **7.1 Современные профессиональные базы данных:**

6. Полнотекстовые журналы SpringerJournals за 1997-2020 г., электронные книги (2005-2020 гг.), коллекция научных биомедицинских и биологических протоколов SpringerProtocols, коллекция научных материалов в области физических наук и инжиниринга SpringerMaterials, реферативная БД по чистой и прикладной математике zbMATH.
7. Электронная библиотека диссертаций Российской государственной библиотеки (ЭБД РГБ).
8. Полнотекстовые электронные ресурсы FreedomCollection издательства Elsevier (Нидерланды) (23 предметные коллекции).

9. Электронные ресурсы Web of Science Core Collection (Thomson Reuters Scientific LLC.), Journal Citation Reports + ESI.

10. Электронные БД JSTOR (США). 15 предметных коллекций: Arts & Sciences I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, Life Sciences, Health & General Science, Mathematics & Statistics, Ecology & Botany, Language & Literature, Business I, II.).

11. БД Scopus (Elsevier).

#### 7.2. Информационные справочные системы

- Электронный архив: «Новые полупроводниковые материалы: Характеристики и свойства» - URL: <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/r/introduction.html>

- Раздел "Образование" сайта ИФП СО РАН - URL: [http://www.isp.nsc.ru/index.php?ACTION=part&id\\_part=4&sub\\_part=81](http://www.isp.nsc.ru/index.php?ACTION=part&id_part=4&sub_part=81)

- Поисковая платформа "Web of Knowledge" [http://apps.webofknowledge.com/WOS\\_GeneralSearch\\_input.do?product=WOS&search\\_mode=GeneralSearch&SID=S2kBCc@@@5IIfkFB7B9a&preferencesSaved=&highlighted\\_tab=WOS](http://apps.webofknowledge.com/WOS_GeneralSearch_input.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&SID=S2kBCc@@@5IIfkFB7B9a&preferencesSaved=&highlighted_tab=WOS); <http://wokinfo.com/russian>

### **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

### **9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации;
2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

### **10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине**

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине и индикаторов их достижения, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы по дисциплине представлен в разделе 1.

#### ***10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине***

***Текущий контроль успеваемости:***

Текущий контроль включает контроль посещаемости обучающимися еженедельных занятий, оценку их активности в ходе дискуссий и проверки заданий для самостоятельного решения.

Для организации и контроля самостоятельной работы аспирантов, а также проведения консультаций применяются информационно-коммуникационные технологии. Накануне каждого занятия аспирантам по электронной почте высылаются файлы с детальным планом занятия, контрольными вопросами и заданиями по теме, точным указанием страниц учебников и пособий, которые рекомендуется прочесть для активного усвоения материала на занятии.

Текущий контроль успеваемости учитывается в рамках промежуточной аттестации.

**Промежуточная аттестация:**

Промежуточная аттестация по дисциплине «Оптические явления в полупроводниках для аспирантов» проводится по итогам завершения программы дисциплины в виде зачета, по результатам которого выставляется оценка «зачтено» или «не зачтено». Оценка «зачтено» может быть выставлена по результатам текущего контроля, если в ходе представления самостоятельно подготовленного доклада и ответов на вопросы обучающийся продемонстрировал уровень сформированности компетенций не ниже порогового. Оценка «зачтено» является положительным результатом прохождения промежуточной аттестации. На зачете для дополнительной проверки сформированности отдельных компетенций обучающемуся могут быть заданы вопросы по пройденному материалу.

**Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине Оптические явления в полупроводниках для аспирантов**

Таблица 10.1

Код компетенции	Результат обучения по дисциплине	Оценочное средство
<b>УК-1. Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях</b>		Работа на практических занятиях Представление доклада Зачет
УК-1.1	Знать актуальные исследования и критически анализировать результаты предшественников и современные достижения в области физики в применении к профессиональной области деятельности.	
УК-1.2	Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений физики, в части постановки актуальных задач научных исследований в применении к профессиональной области деятельности и в зависимости от специфики объекта исследования.	
<b>УК-5. Способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития</b>		Работа на практических занятиях Представление доклада Зачет
УК-5.1	Знать возможные направления профессиональной самореализации, владеть приемами планирования и оценки собственной деятельности по решению профессионально-значимых задач.	
УК-5.2	Уметь выявлять и формулировать проблемы собственного профессионального развития, владеть приемами осознания собственных достижений с целью их совершенствования.	

УК-5.3	Обладать знаниями, достаточными для выполнения научных исследований на современном мировом уровне в применении к профессиональной области деятельности в зависимости от специфики объекта исследования.	
<b>ОПК-1. Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий</b>		Работа на практических занятиях Представление доклада Зачет
ОПК-1.1	Знать современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в применении к профессиональной области деятельности.	
ОПК-1.2	Уметь определять и применять современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в зависимости от специфики объекта исследования.	
ОПК-1.3	Владеть способностью составлять и оформлять научно-техническую документацию, научные отчеты, обзоры, доклады и статьи.	
<b>ПК-1. Способность построения теоретических моделей физических явлений и процессов в области физики в зависимости от специфики профиля подготовки.</b>		Работа на практических занятиях Представление доклада Зачет
ПК-1.1	Знать теоретические основы, базовые понятия и модели построения теоретических моделей физических явлений и процессов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.	
ПК-1.2	Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.	
<b>ПК-2. Способность к решению научных и практических задач в области физики в зависимости от специфики профиля подготовки.</b>		Работа на практических занятиях Представление доклада Зачет
ПК-2.1	Знать физические основы базовых экспериментов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.	
ПК-2.2	Уметь определять и применять современные научные методы в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.	

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (не зачтено)	Пороговый уровень (зачтено)	Базовый уровень (зачтено)	Продвинутый уровень (зачтено)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	УК 1.1 УК 5.1 ОПК 1.1 ПК 1.1 ПК 2.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место	Минимально допустимый уровень знаний. Допускается	Уровень знаний соответствует программе подготовки по	Уровень знаний соответствует программе

		грубые ошибки.	значительное количество негрубых ошибок.	темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	УК 1.2 УК 5.2 ОПК 1.2 ПК 1.2 ПК 2.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	УК 5.3 ОПК 1.3	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.

***Типовые контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения***

Тематика докладов дисциплины  
«Оптические явления в полупроводниках для аспирантов».

Ниже приведена примерная тематика докладов дисциплины (конкретная тема доклада определяется преподавателем совместно с обучающимся с учетом специфики научных исследования аспиранта).

1. Механизмы поглощения света в полупроводниках: межзонные оптические переходы в прямозонных и непрямозонных полупроводниках, *экситонное* поглощение, поглощение света на фонах, на свободных носителях заряда и на примесях.
2. Оптические явления во внешних электрическом и магнитном полях.
3. Оптические явления в структурах с квантовыми ямами: межзонное поглощение, экситонные эффекты. Квантовый эффект Штарка.
4. Полупроводниковые излучатели: светодиоды и полупроводниковые лазеры. Инжекционные лазеры на основе двойной гетероструктуры. Белые светодиоды на основе соединений AlGaIn-InGaIn. Белые светодиоды на основе соединений AlGaIn-InGaIn.
5. Внешний фотоэффект. Полупроводниковые фотоэммитеры с отрицательным электронным средством.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский  
государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)

Физический факультет

---

Кафедра квантовой оптики

## КАНДИДАТСКИЙ ЭКЗАМЕН

**Модуль**  
**«Оптика»**

направление подготовки: 03.06.01 Физика и астрономия

**Курс 2, семестр 4**  
профиль  
**Оптика**

Форма обучения: **очная**

Заведующий кафедрой квантовой оптики ФФ  
д.ф.-м.н., академик РАН А.М. Шалагин



---

Новосибирск 2020

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по модулю, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы -----	68
2. Место модуля в структуре образовательной программы -----	69
3. Трудоемкость модуля в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося -----	69
4. Содержание модуля, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий -----	70
5. Перечень учебной литературы -----	70
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся	71
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения модуля -----	71
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по модулю -----	72
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине -----	72
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине -----	72

## 1.Перечень планируемых результатов обучения по модулю, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В рамках промежуточной аттестации (сдачи кандидатского экзамена) по модулю «Оптика» проводится оценка универсальных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций (портфолио), полученных в рамках прохождения дисциплин «Преобразователи частоты лазерного излучения в среднем, ИК и ТГц диапазонах», «Дополнительные главы квантовой оптики», «Оптические стандарты частоты» и «», направленные на подготовку к сдаче кандидатского экзамена по профилю «Оптика», а также порядок подготовки к сдаче и проведения кандидатского экзамена по профилю «Оптика». В состав портфолио входят перечень типовых задач для самостоятельного решения, перечень и презентации докладов, подготовленных обучающимся самостоятельно в рамках освоения дисциплин модуля.

Код	Компетенции, формируемые в рамках дисциплины
<b>УК-1. Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях</b>	
УК-1.1	Знать актуальные исследования и критически анализировать результаты предшественников и современные достижения в области физики в применении к профессиональной области деятельности.
УК-1.2	Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений физики, в части постановки актуальных задач научных исследований в применении к профессиональной области деятельности и в зависимости от специфики объекта исследования.
<b>УК-5 Способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития</b>	
УК-5.1	Знать возможные направления профессиональной самореализации, владеть приемами планирования и оценки собственной деятельности по решению профессионально-значимых задач.
УК-5.2	Уметь выявлять и формулировать проблемы собственного профессионального развития, владеть приемами осознания собственных достижений с целью их совершенствования.
УК-5.3	Обладать знаниями, достаточными для выполнения научных исследований на современном мировом уровне в применении к профессиональной области деятельности в зависимости от специфики объекта исследования.
<b>ОПК-1. Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий</b>	
ОПК-1.1	Знать современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в применении к профессиональной области деятельности.
ОПК-1.2	Уметь определять и применять современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в зависимости от специфики объекта исследования.
ОПК-1.3	Владеть способностью составлять и оформлять научно-технической документацию, научные отчеты, обзоры, доклады и статьи.

<b>ПК-1. Способность построения теоретических моделей физических явлений и процессов в области физики в зависимости от специфики профиля подготовки.</b>	
ПК-1.1	Знать теоретические основы, базовые понятия и модели построения теоретических моделей физических явлений и процессов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.
ПК-1.2	Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.
<b>ПК-2. Способность к решению научных и практических задач в области физики в зависимости от специфики профиля подготовки.</b>	
ПК-2.1	Знать физические основы базовых экспериментов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.
ПК-2.2	Уметь определять и применять современные научные методы в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.

## 2. Место модуля в структуре образовательной программы

Дисциплины (практики), изучение которых необходимо для освоения модуля Оптика:

1. Преобразователи частоты лазерного излучения в среднем, ИК и ТГц диапазонах
2. Дополнительные главы квантовой оптики
- 3.1 Оптические стандарты частоты
- 3.2 Оптические явления в полупроводниках для аспирантов

Дисциплины (практики), для изучения которых необходимо освоение модуля Оптика:

Подготовка научно-квалификационной работы (диссертации);

Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена;

Представление научного доклада об основных результатах подготовленной научно-квалификационной работы (диссертации).

## 3. Трудоемкость модуля в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)					Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем				Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Индивидуальная работа с преподавателем			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Кандидатский экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3-6	360	64	32		68	156	32	2	6		2
Всего 360 часов /10 зачетных единиц из них:- контактная работа 174 часа - в интерактивных формах 100 часов											
Компетенции: УК-1, УК-5, ОПК-1, ПК-1, ПК-2											

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

№ п/п	Раздел модуля	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)						Консультации перед экзаменом	Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы			Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	Сам. работа во время промежуточной аттестации		
				Лекции	Практические занятия	Индивидуальная работа с преподавателем /Консультации в период занятий				
1	2	3	4	5	6		7	8	9	10
1.	Б.1.В. ОД.									
1.1.	Преобразователи частоты лазерного излучения в среднем, ИК и ТГц диапазонах	4	108		32	22	52			2
1.2.	Дополнительные главы квантовой оптики	3	108		32	22	52			2
2	Б.1.В. ВД.									
2.1.	Оптические стандарты частоты	3	108		32	22	52			2
2.2.	Оптические явления в полупроводниках для аспирантов	3	108		32	22	52			2
3.	Кандидатский экзамен	4	36					32	2	2
<b>Всего</b>			<b>360</b>		<b>96</b>	<b>66</b>	<b>156</b>	<b>32</b>	<b>2</b>	<b>8</b>
Общий объем контактной работы составляет 172 часа, в интерактивных формах – 162 часа										

Самостоятельная работа обучающихся

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к кандидатскому экзамену по специальности	32

**5. Перечень учебной литературы**

5.1 Основная литература

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теоретическая физика: учебное пособие для студентов физических специальностей университетов: [в 10 т.] / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц Москва: Наука, 19 -22 см. Т.8: Электродинамика сплошных сред3-е изд., испр1992661 с. : ил.ISBN 5-02-014673-0.
2. Н. Бломберген. Нелинейная оптика : пер. с англ. / Н. Бломберген ; под ред. [и со вступ. ст.] С. А. Ахманова и Р. В. ХохловаМосква : Мир, 1966, 424 с.

5.2 Дополнительная литература

3. В.Л. Гинзбург. Распространение электромагнитных волн в плазме / В.Л. Гинзбург2-е изд.,перераб.М. : Наука, 1967, 683 с.
4. Л.М. Бреховских. Волны в слоистых средах / АН СССР, Акуст.ин-т 2-е изд.,доп.и перераб. М.: Наука., 1973343 с.
5. Л.А. Вайнштейн. Электромагнитные волны М.: Сов. радио, 1957, 581 с.

6. Л.А. Вайнштейн. Открытые резонаторы и открытые волноводы / Л. А. Вайнштейн Москва: Сов. радио, 1966, 475 с.
7. Л.М. Сороко. Основы голографии и когерентной оптики М.: Наука., 1971, 616 с.
8. В.М.Файн, Квантовая радиофизика: в 2 т. Изд. 2-е, перераб. и доп Москва: Советское радио, 1972-1975. Т.1: Фотоны и нелинейные среды / В.М. Файн 1972, 471, [1] с.
9. С.М. Рытов. Введение в статистическую радиофизику: Учеб. пособие для физ. спец. вузов. Ч.2. Случайные поля/ С.М. Рытов, Ю.А. Кравцов, В.И. Татарский. / С.М. Рытов 2-е изд., перераб. и доп. М.: Наука., 1978, 463 с.
10. И.И. Собельман. Введение в теорию атомных спектров / И.И. Собельман Москва: Наука, 1977, 319 с.
11. И.Л. Фабелинский. Молекулярное рассеяние света / И. Л. Фабелинский Москва: Наука, 1965, 511 с.
12. И.Р. Шен, Принципы нелинейной оптики / И. Р. Шен; пер. с англ. И. Л. Шумая; под ред. С. А. Ахманова Москва: Наука, 1989, 557, [1] с.: ил.; 22 см. ISBN 5-02-014043-0.
12. Р. Лоудон. Квантовая теория света / Пер. с англ. А.А. Колоколова; Под ред. Г.В. Скроцкого М.: Мир, 1976, 488 с.
14. Ф. Арреки, М. Скалли, Г. Хакен, В.Валдих. Квантовые флуктуации излучения лазера / Ф. Арреки [и др.] ; пер. с англ. Г. И. Сурдутовича; под ред. А. П. Казанцева Москва: Мир, 1974, 236 с.
- 14.А.Н. Зайдель, Г.В. Островская, Ю.И. Островский Техника и практика спектроскопии / А.Н. Зайдель, Г.В. Островская, Ю.И. Островский 2-е изд., испр. и доп. М.: Наука, 1976. 392 с: ил(Физика и техника спектрального анализа: Библиотека инженера)
15. Светосильные спектральные приборы / [В. А. Вагин, М. А. Гершун, Г. Н. Жижин, К. И. Тарасов]; под ред. К. И. Тарасова Москва : Наука, 1988. 262, [1] с.: ил. ; 22 см.(Физика и техника спектроскопии ; вып.18) ISBN 5-02-013841-ХИ.В. Пейсахсон. Оптика спектральных приборов. Л., Машиностроение, 1969 г.

## **6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся**

Обучающийся в аспирантуре должен уметь самостоятельно осуществлять научный поиск литературы, необходимой при подготовке доклада по избранной теме.

Обучающиеся полностью обеспечены необходимой научной литературой за счет фондов библиотеки НГУ (<http://libra.nsu.ru/>). Обучающимся, проходящим практику в Институтах СО РАН, предоставляется доступ к информационным ресурсам на тех же основаниях, что и научным сотрудникам этих институтов на основании договоров о прохождении практической подготовки.

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения модуля**

Освоение дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

Взаимодействие обучающегося с преподавателем (синхронное и (или) асинхронное) осуществляется через личный кабинет студента в ЭИОС.

### 7.1 Современные профессиональные базы данных:

1. Полнотекстовые журналы SpringerJournals за 1997-2020 г., электронные книги (2005-2020 гг.), коллекция научных биомедицинских и биологических протоколов SpringerProtocols, коллекция научных материалов в области физических наук и инжиниринга SpringerMaterials, реферативная БД по чистой и прикладной математике zbMATH.

2. Электронная библиотека диссертаций Российской государственной библиотеки (ЭБД РГБ).
3. Полнотекстовые электронные ресурсы FreedomCollection издательства Elsevier (Нидерланды) (23 предметные коллекции).
4. Электронные ресурсы Web of Science Core Collection (Thomson Reuters Scientific LLC.), Journal Citation Reports + ESI.
5. Электронные БД JSTOR (США). 15 предметных коллекций: Arts & Sciences I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, Life Sciences, Health & General Science, Mathematics & Statistics, Ecology & Botany, Language & Literature, Business I, II).
6. БД Scopus (Elsevier).

## 7.2. Информационные справочные системы

Не используются

### **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по модулю**

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

### **9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Для реализации дисциплин по модулю используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации;
2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете.

### **10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине**

Перечень планируемых результатов обучения по модулю и индикаторов их достижения, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы по дисциплине представлен в разделе 1.

#### ***10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по модулю***

##### ***Текущий контроль успеваемости:***

Текущий контроль успеваемости по модулю «Оптика» представляет собой контроль результатов освоения дисциплин, входящих в состав модуля: «Преобразователи частоты лазерного излучения в среднем, ИК и ТГц диапазонах», «Дополнительные главы

квантовой оптики», «Оптические стандарты частоты» и «Оптические явления в полупроводниках для аспирантов» и осуществляется в форме презентации аспирантом доклада по одному из разделов программы дисциплины.

#### ***Промежуточная аттестация:***

Промежуточная аттестация проводится в форме кандидатского экзамена. Кандидатский экзамен проводится по программе, соответствующей примерной программе, утвержденной Министерством образования и науки Российской Федерации.

Для приема кандидатского экзамена создается комиссия по приему кандидатских экзаменов (экзаменационная комиссия), состав которой утверждается приказом ректора НГУ. Состав экзаменационной комиссии формируется из числа научно-педагогических работников (в том числе работающих по совместительству) НГУ в количестве не более 5 человек, и включает в себя председателя, заместителя председателя и членов экзаменационной комиссии.

В состав экзаменационной комиссии могут включаться научно-педагогические работники других организаций.

Для оценивания знаний обучающегося в рамках проведения кандидатского экзамена используются следующие оценочные средства:

1. Портфолио - целевая подборка работ студентов, раскрывающая его индивидуальные образовательные достижения в одной или нескольких учебных дисциплинах;
2. Экзаменационный билет - комплекс вопросов и задач.

Кандидатский экзамен проводится экзаменационной комиссией по билетам (программам), утверждаемым деканом физического факультета НГУ. Для подготовки экзаменуемый использует листы ответа, которые хранятся в деле обучающегося вместе с протоколом экзамена.

В случае неявки экзаменуемого на кандидатский экзамен по уважительной причине (при наличии подтверждающих документов) он может быть допущен приказом ректора к сдаче кандидатского экзамена в течение текущего периода приема экзаменов.

В случае получения неудовлетворительной оценки пересдача кандидатского экзамена в течение текущего периода приема экзаменов не допускается. Пересдача кандидатского экзамена с положительной оценки на другую положительную оценку не допускается. Оценка уровня знаний экзаменуемого определяется экзаменационными комиссиями по пятибалльной шкале.

Оценка выставляется простым большинством голосов членов экзаменационной комиссии. При равенстве голосов решающей считается оценка председателя.

Экзаменуемым может быть в двухдневный срок подана апелляция ректору о несогласии с решением экзаменационной комиссии.

Экзаменационная комиссия по приему кандидатского экзамена по специальной дисциплине правомочна принимать кандидатский экзамен по специальной дисциплине, если в ее заседании участвуют не менее 3 специалистов, имеющих ученую степень кандидата или доктора наук по научной специальности, соответствующей специальной дисциплине, в том числе не менее одного доктора наук.

Решение экзаменационной комиссии оформляется протоколом, в котором указываются, в том числе, код и наименование направления подготовки, по которой сдавались кандидатские экзамены; шифр и наименование научной специальности, наименование отрасли науки, по которой подготавливается научно-квалификационная работа (диссертация).

#### ***Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по модулю Оптика***

Таблица 10.2 Критерии оценки сформированности компетенций<sup>1</sup> в рамках промежуточной аттестации по модулю

Шифр компетенций	Структурные элементы оценочных средств	Показатель сформированности	Не сформирован (неудовлетворительно)	Пороговый уровень (удовлетворительно)	Базовый уровень (хорошо)	Продвинутый уровень (отлично)
УК - 1	Портфолио (презентация), устное сообщение	Знать актуальные исследования и критически анализировать результаты предшественников и современные достижения в области физики в применении к профессиональной области деятельности. (УК-1.1) Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений физики, в части постановки актуальных задач научных исследований в применении к профессиональной области деятельности и в зависимости от специфики объекта исследования. (УК-1.2)	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки. Отсутствуют умения при решении поставленных задач.	Минимально допустимый уровень знаний. Допускается значительное количество негрубых ошибок. Наличие минимального уровня умений при решении поставленных задач.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок либо не полностью отвечает на дополнительные вопросы. Демонстрирует умения при решении поставленных задач.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы. Демонстрирует умения при решении поставленных задач на высоком уровне.
УК -5	Портфолио (презентация), устное сообщение	Знать возможные направления профессиональной самореализации, владеть приемами планирования и оценки собственной деятельности по решению	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки. Отсутствуют умения при	Минимально допустимый уровень знаний. Допускается значительное количество негрубых	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины.

<sup>1</sup> Выбор показателя сформированности компетенции (укрупненной характеристики компетенции) из представленных для оценки осуществляется случайным образом

		<p>профессионально-значимых задач. (УК-5.1).          Уметь выявлять и формулировать проблемы собственного профессионального развития, владеть приемами осознания собственных достижений с целью их совершенствования. (УК-5.2).          Обладать знаниями, достаточными для выполнения научных исследований на современном мировом уровне в применении к профессиональной области деятельности в зависимости от специфики объекта исследования. (УК-5.3).</p>	<p>выявлении и формулировке проблемы собственного профессионального развития.          Отсутствуют навыки владения приемами выполнения научных исследований на современном мировом уровне.</p>	<p>ошибок.          Наличие минимального уровня умений при выявлении и формулировке проблемы собственного профессионального развития.          Наличие минимального уровня владения приемами выполнения научных исследований на современном мировом уровне</p>	<p>Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок либо не полностью отвечает на дополнительные вопросы.          Демонстрирует умения при выявлении и формулировке проблемы собственного профессионального развития.          Демонстрирует навыки владения приемами выполнения научных исследований на современном мировом уровне</p>	<p>Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.          На высоком уровне демонстрирует умения при выявлении и формулировке проблемы собственного профессионального развития.          На высоком уровне демонстрирует навыки владения приемами выполнения научных исследований на современном мировом уровне</p>
ОПК - 1	<p>Портфолио (презентация), устное сообщение</p>	<p>Знать современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в применении к профессиональной области деятельности. (ОПК-1.1).          Уметь определять и применять современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные</p>	<p>Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.          Отсутствуют умения при определении применения современных научных методов исследования и информационно-</p>	<p>Минимально допустимый уровень знаний.          Допускается значительное количество негрубых ошибок.          Наличие минимального уровня умений при определении применения</p>	<p>Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины.          Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок либо не отвечает на дополнительные вопросы.</p>	<p>Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины.          Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.</p>

		<p>технологии в зависимости от специфики объекта исследования (ОПК-1.2). Владеть способностью составлять и представлять научные обзоры, доклады (ОПК-1.3).</p>	<p>коммуникационные технологий. Доклад не последователен, не ясна суть работы</p>	<p>современных научных методов исследования и информационно-коммуникационные технологий. Доклад не в полной мере отражает суть работы, нарушена последовательность</p>	<p>Минимально допустимый уровень знаний. Допускается значительное количество негрубых ошибок. Демонстрирует умения при определении применения современных научных методов исследования и информационно-коммуникационные технологий. Доклад отражает суть работы, но нарушена последовательность</p>	<p>На высоком уровне демонстрирует умения при определении применения современных научных методов исследования и информационно-коммуникационные технологий. Доклад отражает суть работы, последователен.</p>
ПК-1	Вопрос экзаменационного билета	<p>Знать теоретические основы, базовые понятия и модели построения теоретических моделей физических явлений и процессов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования (ПК-1.1) Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования. (ПК-1.2).</p>	<p>Не демонстрирует либо демонстрирует отдельные несвязанные знания и умения в профессиональной области деятельности</p>	<p>Демонстрирует общие знания и умения базовых понятий в профессиональной области деятельности</p>	<p>Демонстрирует хорошие знания и умения базовых понятий в профессиональной области деятельности, но допускает некоторые несущественные ошибки, неточности в формулировках</p>	<p>Демонстрирует углубленные знания и умения базовых понятий и моделей в профессиональной области деятельности</p>

ПК-2	<p>Вопрос экзаменационного билета</p>	<p>Знать физические основы базовых экспериментов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования. (ПК-2.1)          Уметь определять и применять современные научные методы в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования. (ПК-2.2)</p>	<p>Не владеет основными физическими понятиями и законами в профессиональной области деятельности</p>	<p>Владеет базовыми понятиями в профессиональной области деятельности</p>	<p>Владеет всеми понятиями, в профессиональной области деятельности, и понимает их взаимосвязь, но допускает некоторые несущественные ошибки, неточности в формулировках</p>	<p>Свободно владеет всеми понятиями, в профессиональной области деятельности, понимает их взаимосвязь и границы применимости</p>
------	---------------------------------------	---	--	---	--	--

## Критерии выставления оценок по результатам промежуточной аттестации по модулю

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается комиссией. Каждая решённая задача и каждый вопрос категории оценивается от 2 до 5 баллов. Соответствие уровня сформированности компетенции и оценки определяются следующим образом: не сформирована - 2 балла («неудовлетворительно»), пороговый уровень - 3 балла («удовлетворительно»), базовый уровень - 4 балла («хорошо») и продвинутый уровень - 5 баллов («отлично»).

Положительная оценка (3 балла и выше) ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Для получения положительной оценки необходимо продемонстрировать пороговый уровень при решении не менее двух задач из разных категорий. Если решено более двух задач из разных категорий, при дальнейшем расчете итоговой оценки учитывают два лучших результата решения задач из разных категорий.

Итоговая оценка за кандидатский экзамен выставляется комиссией как среднее арифметическое баллов, полученных за решение задач и за ответы на вопросы с округлением по математическим правилам. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

<b>Оценка</b>	<b>Критерии выставления оценки (содержательная характеристика)</b>
«неудовлетворительно» (уровень компетенций не сформирован)	Аспирант не владеет теоретическим материалом, допуская грубые ошибки, испытывает затруднения в формулировке основных понятий в профессиональной области, не демонстрирует либо демонстрирует отдельные несвязанные знания
«удовлетворительно» (сформирован пороговый уровень компетенций)	Аспирант демонстрирует в профессиональной области общие знания базовых понятий и моделей оптики, критичных для понимания основных оптических явлений и экспериментов, но допускает существенные ошибки по содержанию рассматриваемых (обсуждаемых) вопросов
«хорошо» (сформирован базовый уровень компетенций)	Аспирант в основном демонстрирует в профессиональной области углубленные знания базовых понятий и моделей оптики, свободно владеет всеми основными разделами современной квантовой оптики, но допускает незначительные ошибки при ответах на дополнительные вопросы
«отлично» (сформирован продвинутый уровень компетенций)	Аспирант демонстрирует углубленные знания базовых понятий и моделей оптики, свободно владеет всеми основными разделами современной квантовой оптики

*Типовые контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения*

**1. Форма экзаменационного билета и перечень экзаменационных задач и вопросов.**

Форма экзаменационного билета представлена в таблице 1.1.

Таблица 1.1.

<p style="text-align: center;"><b>Новосибирский государственный университет</b> <b>Кандидатский экзамен</b></p> <p style="text-align: center;">_____</p> <p style="text-align: center;">наименование модуля</p> <p style="text-align: center;">_____</p> <p style="text-align: center;">наименование образовательной программы</p> <p style="text-align: center;"><b>ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №</b></p> <p>1. Вопрос из раздела категории А. 2. Вопрос из раздела категории Б (для теоретиков) или В (для экспериментаторов). 3. Вопросы по изложенному аспирантом предмету его исследований.</p> <p>Составитель: _____ И. О. Фамилия (подпись)</p> <p>Ответственный за образовательную программу: _____ И. О. Фамилия (подпись)</p> <p>« ____ » _____ 20 г.</p>
---

**Перечень вопросов к кандидатскому экзамену**

<p style="text-align: center;"><b>А. ФИЗИЧЕСКАЯ ОПТИКА.</b> <b>А.1. ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ</b></p>
<p>1. Основы электромагнитной теории света. Элементарные обоснования электромагнитной теории. Уравнения Максвелла, линейные материальные уравнения. Вектор Умова—Пойнтинга. Сферические волны. Параболическое приближение. Монохроматические поля. Спектральное разложение. Свойства диэлектрической проницаемости, как функции комплексной частоты. Поглощение и усиление поля в среде. Диэлектрическая проницаемость газа в модели линейного анизотропного осциллятора.</p> <p>2. Плоские монохроматические волны в среде. Однородные и неоднородные волны. Волновой вектор. Фазовая скорость. Группа волн и групповая скорость. Скорость переднего фронта волны. Поляризация света. Вектор Джонса. Параметры Стокса. Сфера Пуанкаре. Расчетные методы Джонса и Мюллера.</p> <p>3. Отражение и преломление волн. Граничные условия. Задача Френеля (геометрические законы и формулы Френеля). Полное отражение. Явление Брюстера.</p> <p>4. Распространение волн в слабонеоднородных средах. Случай одномерно-неоднородной среды. Отражение от слоя Рэлея. Другие случаи переходного слоя, допускающие точное</p>

решение. Оптико-геометрическое приближение. Кривизна и кручение луча. Поляризация волн в неоднородных средах. Отражение волн от неоднородных сред. Оптико-механическая аналогия. Элементы электронной оптики.

5. Полные резонаторы, волноводы. Поле в плоскопараллельной пластинке. Типы колебаний. Прямоугольный и цилиндрический резонаторы. Резонаторы с малыми потерями (объемными и поверхностными). Открытые резонаторы. Волноводы.

6. Дифракция. "Строгая" постановка задачи о дифракции. Дифракция на полуплоскости и шаре. Принцип Гюйгенса-Френеля-Кирхгофа, "Геометрическая" теория дифракции. Диффузионное приближение (параболическое уравнение). Дифракционные явления Френеля и Фраунгофера. Гауссовы пучки. Дифракционные потери открытых резонаторов. Дифракционные явления в оптических приборах. Метод Рэлея решения дифракционных задач. Дифракция на периодических структурах (однородных и многомерных). Дифракция рентгеновских лучей. Разложение импульса спектральным прибором. Рассеяние света на макроскопических объектах (оптика мутных сред).

7. Принцип восстановления волнового фронта. Схемы голографирования (Френеля, Фурье, Фраунгофера, Денисюка). Разрешающая способность голографических приборов. Голографическая интерферометрия. Голография нестационарных объектов.

8. Металлооптика. Уравнения Максвелла для проводящих сред. Нормальный и аномальный скин-эффект. Преломление и отражение от металлов. Оптические характеристики металлов. Экспериментальные методы металлооптики. Дифракция на проводящих частицах (теория Ми).

9. Распространение волн в анизотропных средах. Тензорные линейные уравнения. Тензор диэлектрической проницаемости. Плоские монохроматические волны в анизотропных средах. Двойное лучепреломление (линейное и круговое). Волновые и лучевые поверхности, теорема обращения. Эллипсоид Френеля. Коническая рефракция. Пространственная дисперсия. Гиротропные среды. Эффекты пространственной дисперсии в кубических кристаллах. Вынужденная анизотропия и гиротропия. Эффект Керра и Погкельса. Элементы магнитооптики. Оптическая активность, эффект Фарадея.

## А. II. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ОПТИКА

1. Излучение волн заряженными частицами (классическая теория). Поле системы зарядов на больших расстояниях. Дипольное, квадрупольное и магнито-дипольное излучение. Тормозное излучение. Излучение Вавилова-Черенкова. Синхротронное излучение. Торможение излучением.

2. Статистическое усреднение в молекулярной оптике. Матрица плотности. Кинетическое уравнение, интеграл столкновений для разреженных газов. Модель затухающего осциллятора.

3. Теория дисперсии и уширение спектральных линий. Поляризация молекул в слабых полях. Зависимость диэлектрической проницаемости от частоты. Влияние релаксационных процессов на дисперсию. Радиационное и доплеровское уширение. Уширение из-за взаимодействия; ударное и статистическое приближение. Модуляционная модель. Описание ударного уширения с помощью матрицы плотности; кинетическое уравнение. Контур линии и дисперсия при ударном и доплеровском уширении.

4. Распространение и отражение волн в молекулярной оптике. Теорема "погашения".

5. Рассеяние света. Интенсивность, спектр и поляризация света, рассеянного в газах на флуктуациях плотности и анизотропии; эффекты столкновений. Рассеяние света конденсированными системами. Дуплет Мандельштама-Бриллюэна. Крыло линии Рэлея. Энтропийное и концентрационное рассеяние. Метод гетеродирования при исследовании спектра рэлеевского рассеяния. Комбинационное рассеяние света.

6. Люминесценция. Классификация люминесценции по длительности свечения и способу ее возбуждения. Молекулярная и рекомбинационная люминесценция. Закон Стокса—Ломмеля. Правило зеркальной симметрии спектров поглощения и люминесценции Левшина и универсальное соотношение между ними Степанова. Закон Вавилова. Триpletные состояния молекул и их роль в процессах деградации и миграции энергии электронного возбуждения. Схема Теренина—Льюиса. Тушение (температурное, концентрационное, посторонними веществами) люминесценции. Безызлучательный перенос энергии электронного возбуждения. Люминесценция молекулярных кристаллов. Теория Давыдова. Кооперативные процессы в люминесценции. Зонная модель люминесценции диэлектриков. Размножение электронных возбуждений в твердом теле. Термовысвечивание и инфракрасная стимуляция.

#### А.ІІІ. НЕЛИНЕЙНАЯ ОПТИКА

1. Нелинейные материальные уравнения. Физические причины, приводящие к нелинейным материальным уравнениям (нагревание, электрострикция, ориентационный эффект, насыщение, внутри молекулярная нелинейность). Нелинейная поляризация и нелинейный тензор диэлектрической проницаемости; свойства симметрии. Отличие среднего и действующего полей в нелинейной оптике.
2. Феноменологическая нелинейная оптика. Энергетические соотношения. Спектральное разложение полей. Оптико-геометрическое приближение, уравнения связанных волн.
3. Генерация суммарных и разностных гармоник. Задача Френеля в нелинейной оптике; условие пространственной синфазности (синхронизма). Коэффициент преобразования; реальные пучки; влияние поглощения. Отражение и преломление нескольких плоских полихроматических волн. Генерация гармоник в кристаллах.
4. Самофокусировка световых волн. Оптико-геометрическая и дифракционная теория самофокусировки. "Схлопывание" пучка, канализация. Измерение спектра импульса. Самодифракция.
5. Вынужденное рассеяние Мандельштама-Брилюэна. БРМБ в жидкостях. Генерация гиперзвука. Характер нарастания стоксовых компонентов. Вынужденное рассеяние в крыле линии Рэлея.
6. Вынужденное комбинационное рассеяние. Генерация стоксовых и антистоксовых компонентов. Параметрическое взаимодействие.
7. Лазеры на основе ВКР. Распространение импульсов в резонансной среде. Некогерентное взаимодействие импульса со средой; изменение формы импульса; скорость распространения. Когерентное взаимодействие импульса со средой; самопросветление;  $\pi$  и  $2\pi$  - импульсы. Оптические нутации. Световое эхо.
8. Параметрические явления. Параметрическая поляризация. Условие синхронизма. Параметрическая люминесценция. Параметрические генераторы и усилители. Параметрическое четырехфотонное рассеяние в газовой резонансной среде. Обращение волнового фронта.
9. Статистические явления в нелинейной оптике. Статистические явления при генерации гармоник, вынужденном рассеянии и самовоздействии.

#### А.ІV. КОГЕРЕНТНОСТЬ СВЕТА. КВАНТОВАЯ ОПТИКА.

1. Когерентность классических полей. Случайные стационарные функции. Теорема Хинчина-Винера. Пространственная и временная когерентность. Корреляционные функции электромагнитного поля. Область когерентности, объем когерентности. Параметр вырождения. Теорема Цернике-Ван-Ситтерта. Интерференция и дифракция частично когерентного света. Коэффициент Рождественского.

2. Интерферометрия интенсивности. Опыт Брауна-Твисса. Корреляционные функции высшего порядка. Гетеродирование света.
3. Квантовая статистика фотонов. Квантование электромагнитного поля. Перестановочные соотношения. Матрица плотности. Представления чисел заполнения и когерентных состояний. Квантовые корреляционные функции. Сжатые состояния. Бифотоны. Перепутанные состояния света. Оптическая реализация кубитов и их преобразования. Состояния Белла. Парадокс Эйнштейна—Подольского—Розена. Неравенства Белла.
4. Регистрация света. Флуктуации излучения и флуктуации фототока. Связь статистик фотонов и фотоотчетов, формула Манделя для распределения фотоотчетов. Дробовой шум. Статистика взаимоисключающих событий. Дисперсия и распределение числа отсчетов. Эффекты группировки и антигруппировки фотонов. Соотношение между временем когерентности и интервалом измерения. Статистика тепловых и квантовых шумов. Статистика частично поляризованного излучения. Поляризационная матрица.

## **Б. СПЕКТРОСКОПИЯ**

### **Б.1. АТОМНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ.**

1. Электронная структура молекул и типы молекулярных спектров. Виды движения в молекуле. Разделение движений электронной и ядерной подсистем (адиабатическое приближение). Разделение колебательного и вращательного движения ядер. Основные методы теории электронной структуры молекул: метод валентных связей (ВС) и метод молекулярных орбиталей (МО). Гомеополлярные и гетерополлярные связи. Приближение ЛКАО МО. Молекулы с делокализованными  $\pi$ -электронами (полиены, ароматические соединения и т.д.). Металлическая модель молекулы и ее применения к молекулам с сопряженными связями. Общая схема энергетических уровней молекулы и типы молекулярных спектров. Вероятности переходов в спектрах поглощения, испускания и в спектрах комбинационного рассеяния.
2. Теория групп и ее применения к задачам спектроскопии молекул. Симметрия равновесных конфигураций молекул. Преобразование симметрии. Группы преобразований. Точечные группы. Представления групп. Неприводимые представления точечных групп. Характеры неприводимых представлений. Классификация термов.
3. Взаимодействие молекул с излучением. Спонтанные и вынужденные радиационные процессы. Вероятности излучения (дипольного, мультипольного). Правила отбора. Интегральные (по частоте) характеристики и их спектральные плотности. Радиационное, ударное и доплеровское уширение спектральных линий в газах. Двухфотонные процессы (релеевское и комбинационное рассеяние, двухквантовое поглощение и люминесценция). Классическая и квантовая теории. Теория Плачека. Правила отбора. Понятие о ВКР и ВРМБ.
4. Вращательные спектры молекул. Типы волчков. Систематика вращательных уровней. Определение молекулярных констант по вращательным спектрам молекул. Экспериментальные методы исследования вращательных спектров: поглощение в микроволновой и инфракрасной области, комбинационное рассеяние света. Определение скорости света по вращательным и колебательно-вращательным спектрам двухатомных молекул.
5. Колебательные спектры молекул. Нормальные колебания молекул. Использование симметрии при решении задачи о нормальных колебаниях. Характеристические колебания. Характеристичность колебаний по частоте и форме. Методы расчета нормальных колебаний; применение ЭВМ. Правила отбора для переходов в спектрах инфракрасного поглощения и комбинационного рассеяния света. Ангармонизм колебаний; обертона и составные тона. Резонанс Ферми. Интенсивности и поляризация колебательных переходов. Связь колебательных спектров со строением молекул. Вращательная структура колебательных полос. Форма полос ИК-поглощения в случае неразрешенной вращательной структуры.

Взаимодействие колебаний с вращением. Центробежные и кариолисовы постоянные. Колебательно-вращательные спектры атмосферных газов и легких органических молекул. ИК-спектроскопия высокого разрешения. Ширина и форма линии как функция давления и температуры. Вращение молекул в конденсированной фазе. Внутреннее вращение. Поворотная изомерия.

6. Электронные состояния и электронные спектры молекул.

6.1. Двухатомные молекулы. Симметрия двухатомной молекулы. Классификация электронных состояний. Молекулярные электронные оболочки. Колебательная структура электронных переходов. Схема Деландра. Продольные и поперечные серии. Принцип Франка-Кондона и распределение энергии в электронно-колебательном спектре. Энергия диссоциации и ее спектроскопическое определение. Вращательная структура электронно-колебательных переходов. Диаграмма Фортра. Взаимодействие электронного движения с вращательным. Случаи сильного и слабого спин-орбитального взаимодействия.  $\square$ - удвоение. Сплошные спектры двухатомных молекул. Преддиссоциация.

6.2. Многоатомные молекулы. Классификация электронных состояний по типам симметрии. Вибронные состояния. Взаимодействие электронного движения с колебательным. Эффект Яна-Теллера. Правила отбора в электронно-колебательном спектре. Принцип Франка-Кондона для многоатомных молекул. Проявление в спектре полносимметричных и неполносимметричных колебаний.

7. Методы исследования спектров молекул. Методы исследования параметров колебательных спектров (определение частот, интенсивностей, поляризаций, формы и ширины линий ИК-поглощения и комбинационного рассеяния; электронно-колебательные полосы). Методы исследования электронных спектров испускания и поглощения (частотные измерения, измерение квантового выхода люминесценции).

8. Микроволновая и радиоспектроскопия. Эффекты Зеемана и Штарка во вращательных спектрах молекул. Определение структурных характеристик молекул по вращательным спектрам. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный и квадрупольный резонансы. Применение радиоспектроскопии в химии, биологии, кинетике.

9. Кинетические процессы в молекулярных газах. Равновесные и неравновесные системы. Распределение Больцмана-Максвелла. Сечения упругих и неупругих процессов. Принцип детального равновесия. Уравнение Больцмана. Матрица плотности и уравнения для нее. Релаксация поступательных степеней свободы. Резонансные взаимодействия. Методы создания неравновесного (инверсного) распределения молекул.

10. Основные типы переходов и электронных спектров многоатомных молекул. Переходы с излучением и безизлучательные переходы. Их характерные времена. Спектры поглощения, флуоресценции и фосфоресценции. Замедленная флуоресценция. Триплет-триплетное поглощение. Горячая люминесценция.

11. Основные закономерности люминесценции многоатомных молекул. Правило Стокса. Зеркальная симметрия поглощения и флуоресценции. Кинетика затухания люминесценции. Квантовый выход люминесценции. Дихроизм поглощения и поляризация люминесценции. Степень поляризации люминесценции и ее связь с природой излучателя. Концентрационное тушение и тушение примесями.

12. Изменения спектров при переходе из газообразного состояния в жидкое и кристаллическое. Влияние растворителя и температуры на спектры поглощения и люминесценции. Тонкоструктурные спектры многоатомных молекул в матрицах.

### Б.Ш. СПЕКТРОСКОПИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА.

1. Спектры колебаний атомов кристалла в гармоническом приближении. Адиабатическое

приближение. Геометрия кристаллических решеток. Различные типы связи атомов в кристаллах. Теория колебаний атомов кристалла в рамках классической механики. Динамическая матрица. Свойства нормальных колебаний. Циклические условия и теорема Ледермана. Линейная цепочка с одним и двумя атомами элементарной ячейке кристалла. Акустические и оптические ветви колебаний. Переход к нормальным колебаниям в трехмерной решетке. Квантовое описание колебаний кристалла. Фононы. Плотность собственных колебаний кристалла. Дебаевская модель. Особенности функции распределения частот, обусловленные различными критическими точками. Локальные колебания кристаллической решетки. Локальные и квазилокальные колебания в окрестности изотопической примеси. Теплоемкость, теплопроводимость и тепловое расширение решетки. Поверхностные колебания атомов в кристалле.

2. Электронный спектр идеального кристалла. Блоховская модель кристалла. Общий вид волновой функции электрона в периодическом поле. Квазиимпульс. Бриллюэновская зона. Приближение сильно и слабосвязанных электронов. Общий характер энергетического спектра тел. Запрещенные и разрешенные зоны. Зависимость энергии электрона от квазиимпульса. Средняя скорость. Отсутствие сопротивления в идеальном кристалле. Закон движения электрона во внешнем поле. Понятие эффективной массы. Металлы и диэлектрики в блоховской схеме. Проводимость в почти заполненной зоне и понятие дырки. Типичные примеры зонных структур. Вырождение зон. Легкие и тяжелые дырки. Непараболическая зависимость энергии от квазиимпульса. Анизотропия эффективных масс. Электрон-фононные взаимодействия. Поляроны. Статистическое равновесие свободных электронов в полупроводниках и металлах.

3. Экситоны в молекулярных кристаллах. Экситоны малого радиуса в кристалле с неподвижными молекулами. Расщепление молекулярных термов в кристалле. Применение теории групп для определения поляризации и правил отбора при экситонном поглощении света. Вырождение экситонных термов. Спектры антрацена и нафталина. Смешивание молекулярных конфигураций. Электронно-колебательные спектры. триплетные экситоны в молекулярных кристаллах. Мелкие и глубокие ловушки. Взаимодействие примесей друг с другом. Примесные экситонные зоны. Формула Ферстера-Галанина-Дакстера. Перенос энергии виртуальными экситонами. Вибронные спектры. Примесные экситонные зоны. Экситоны в смешанных кристаллах.

4. Экситоны в полупроводниках. Экситоны большого радиуса. Сериальные закономерности. Влияние внешних электрических и магнитных полей на спектр экситонов большого радиуса.

5. Элементы кристаллооптики с учетом пространственной дисперсии. Уравнения электромагнитного поля и общие свойства тензора  $\epsilon_{ij}(\omega, k)$ . Приближение классической кристаллооптики. Нормальные электромагнитные волны в среде. Поперечные и продольные волны, "фиктивные" продольные волны и волны поляризации. Кулоновские и механические экситоны. Поляритоны. Выделение поперечного поля  $E_{\perp}$  и тензор. Дисперсионные соотношения Крамерса-Кронига для комплексного показателя преломления. Новые волны в гиротропных и негиротропных кристаллах в области резонанса. Дисперсия оптической активности. Оптическая анизотропия кубических кристаллов. Методы расчета  $\epsilon_{ij}$  и  $\epsilon_{\perp ij}$ .

6. Оптические спектры, обусловленные примесными центрами в кристаллах. Коэффициент поглощения света в адиабатическом приближении. Форма линии поглощения. Роль линейных и квадратичных по смещениям атомов, слагаемых в адиабатическом потенциале. Оптический аналог эффекта Мессбауэра. Спектры Шпольского. Правило Урбаха.

#### Б.IV. ТЕОРИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ

1. Излучение электромагнитных волн системой зарядов. Поле излучения в волновой зоне. Излучение электрического диполя. Гамильтонова формулировка теории излучения. Процессы первого порядка. Процессы второго и высших порядков.
2. Квантование поля излучения. Квантование уравнений теории поля. Операторы рождения и уничтожения фотонов. Гамильтониан квантованного поля. Коммутационные соотношения для операторов поля. Вероятности радиационных переходов и принцип соответствия для спонтанного излучения. Поляризация излучения в квантовой теории. Вынужденное излучение и поглощение. Коэффициенты Эйнштейна.
3. Излучение электрических и магнитных мультиполей. Интенсивность излучения, энергия и угловой момент поля. Квантование и правила отбора.
4. Вынужденное излучение. Эффективное сечение поглощения. Коэффициенты поглощения. Усиление электромагнитных волн. Принцип работы лазера. Закон Кирхгофа.
5. Квантовая теория уширения линий. Радиационная ширина линий, отвечающих процессам первого порядка. Резонансная флуоресценция. Излучение движущихся частиц; эффект отдачи. Контур линий для двухфотонных резонансных процессов (двухквантовое поглощение, двухфотонная люминесценция, комбинационное рассеяние).
6. Излучение черного тела. Распределение Бозе-Эйнштейна. Формула Планка. Статистическое описание теплового излучения и излучения одномодового лазера.
7. Термодинамика излучения. Энтропия и энергия светового пучка. Преобразование световых пучков оптическими системами. Обратимость и необратимость преобразований. Температура светового пучка. Аналог цикла Карно для лазерных систем. Теплоемкость черного излучения. Закон Кирхгофа, условия его применимости.
8. Кооперативное спонтанное испускание (эффект Дикке). Испускание малыми и большими (в сравнении с длиной волны) системами.
9. Квантовая теория лазеров. Статистика лазерного излучения. Ширина спектра лазерного излучения.

#### Б.V. ЛАЗЕРНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ.

1. Типы лазеров. Твердотельные лазеры. Газовые лазеры: лазеры на нейтральных атомах, ионные лазеры, молекулярные лазеры, лазеры на самоограниченных переходах. Химические лазеры. Полупроводниковые лазеры. Лазеры на центрах окраски. Режимы работы лазеров. Непрерывный и импульсный режимы. Пиковый режим. Модуляция добротности.
2. Лазеры с перестраиваемой частотой излучения. Спектр излучения лазеров с широкой полосой усиления. Методы сужения и перестройки спектра генерации. Дисперсионные резонаторы и селекторы аксиальных типов колебаний. Стабилизация и "привязка частоты". Активные среды с широкими полосами усиления (растворы красителей, примесные кристаллы и стекла, плотные газы, полупроводники). Методы преобразования частоты (генерация гармоник, вынужденное комбинационное рассеяние, параметрические процессы, лазер с переворотом спина).
3. Абсорбционная лазерная спектроскопия. Предельная чувствительность и разрешающая способность метода. Детектирование линий по производной, связь глубины модуляции частоты с измеряемой шириной линии.
4. Оптико-акустический метод. Принцип метода, предельная чувствительность и область применений.
5. Лазерные методы эмиссионной спектроскопии. Гетеродирование; спектр фототока.

Преобразование частоты в коротковолновую область спектра.

6. Резонансное взаимодействие квантовой системы с сильным электромагнитным полем. Двухуровневая система и монохроматическое поле. Кинетика вынужденных переходов. Эффект насыщения, ширина насыщения. Расщепление уровней. Влияние движения молекул, вырождения, столкновений.

7. Многоквантовые нерезонансные процессы. Многоквантовое поглощение, люминесценция и комбинационное рассеяние.

8. Спектр вынужденного и спонтанного испускания и поглощения для квантовой системы, находящейся во внешнем резонансном монохроматическом поле. Расщепление уровней, нелинейный интерференционный эффект, изменение заселенности сильным полем. Интерференция ступенчатых и многоквантовых процессов. Соотношение между спектральными плотностями коэффициентов Эйнштейна. Явления в двух- и трехуровневых системах. Роль движения и доплеровского уширения. Провалы Беннета и Лэмба.

9. Влияние доплеровского уширения на спектр испускания и поглощения пробного поля. Нелинейные резонансы в двух- и трехуровневых схемах. Анизотропия резонансов комбинационного рассеяния, двухфотонной люминесценции и двухфотонного поглощения. Резонансы в случае внешнего поля в виде стоячей волны. Расщепление линий в очень сильных полях. Резонансы при наличии постоянного магнитного поля.

10. Форма нелинейных резонансов. Аппарат квантового кинетического уравнения. Описание столкновений в ударном приближении. Контур и ширина резонансов при спонтанной релаксации; влияние столкновений упругих и неупругих.

11. Поляризационные явления нелинейной спектроскопии. Нелинейные резонансы в двух- и трехуровневых системах при наличии внешнего и пробного полей. Метод скрещенных поляризаций. Влияние деориентирующих столкновений.

12. Резонансная флуоресценция. Когерентная и некогерентная части резонансной флуоресценции. Влияние вырождения уровней, столкновений и поляризации возбуждающего излучения.

13. Спектроскопия с кольцевыми лазерами. Взаимодействие встречных волн в кольцевом лазере. Резонансы интенсивности встречных волн. Спектроскопия "внутри естественной ширины"

14. Нелинейная спектроскопия вращательно-уширенных переходов. Эффект насыщения, влияние вращательной релаксации. Измерение времен релаксации при импульсном воздействии.

15. Многофотонная ионизация атомов. Зависимость вероятности ионизации от интенсивности излучения. Резонансные явления при многофотонной ионизации. Ширина и полевое смещение резонансов многофотонной ионизации.

16. Активная спектроскопия комбинационного рассеяния. Принцип активной спектроскопии; измерение контуров линий комбинационного рассеяния.

17. Четырехфотонное резонансное параметрическое рассеяние (ЧРПР). Связь ЧРПР с амплитудно-фазовой модуляцией при самовоздействии плоских волн. Частотно-угловая диффузия. Условие пространственной синфазности.

18. Многофотонная диссоциация многоатомных молекул. Пороговые явления при многофотонной диссоциации молекул инфракрасным излучением. Изотопическая селективность, применение для разделения изотопов. Представление о квазиконтинууме возбужденных колебательных состояний. Вращательная компенсация ангармонизма колебаний. Влияние вырождения колебаний.

19. Воздействие внешнего поля на поступательное движение атомов и молекул. Эффект отдачи. Расщепление провала Лэмба. Локализация атомов в стоячей волне; спектры испускания и поглощения в двух- и трехуровневых системах. Ускорение атомов излучением.

20. Лазерные методы количественного спектрального анализа. Флуоресцентный метод. Метод комбинационного рассеяния. Метод внутрирезонансного поглощения. Сравнение чувствительности методов. Проблема детектирования отдельных атомов и молекул. Анализ загрязнений атмосферы.

21. Нелинейная спектроскопия долгоживущих систем в пространственно-неоднородных условиях. Амплитудные и фазовые “пролетные” явления, влияние медленных молекул. Взаимодействие молекул с двумя пространственно разнесенными световыми пучками. Поглощение из основного состояния при учете диффузии возбуждения.

22. Применения нелинейной спектроскопии. Измерение  $g$ -факторов, вероятностей радиационных переходов, сечений упругих и неупругих столкновений, уширения и сдвига линий. Стабилизация частоты излучения лазеров. Исследование сверхтонкой структуры уровней атомов и молекул.

## **В. ПРИКЛАДНАЯ ОПТИКА**

### **В.І. ОПТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ.**

1. Основы геометрической оптики. Предельный переход от волновой оптики к геометрической. Кривизна луча. Поляризация волны в геометрической оптике. Принцип Ферма. Оптико-механическая аналогия.

2. Геометрическая теория изображений. Эйконалы. Угловой эйконал центрированной системы. Эйконал для преломления на поверхности вращения. Сложение оптических систем. Эйконал Зейделя. Стигматическое изображение широкими пучками лучей. Условие Аббе, апланатические точки. Матричный расчет оптических систем.

3. Аберрация оптических систем. Аберрации третьего порядка аксиально-симметричных систем. Аберрации второго порядка анаморфотов. Волновые и геометрические аберрации. Методы расчета аберраций.

4. Дифракционная теория оптических приборов. Распределение освещенности в безаберрационном изображении точки. Изображение точки при совместном учете аберраций и дифракций. Изображение частично-когерентных объектов.

5. Разрешающая сила оптических приборов. Аппаратная функция и частотно-контрастная характеристика, их связь. Наблюдаемое и истинное распределение освещенности в изображении. Методы редукции к идеальному прибору. Разрешающая способность приборов.

6. Статистически-информационное описание изображения. Стационарные случайные процессы. Корреляционная функция. Теорема Хинчина-Винера. Влияние случайных ошибок измерений (шумов) на изображение. Фильтрация изображения.

7. Характеристики приемников излучения: спектральная и интегральная чувствительность, шумы, инерционность. Приборы с зарядовой связью – линейки, матрицы.

8. Волоконная оптика. Типы волоконных световодов. Моды оптических волокон. Затухание и дисперсия мод. Направленные ответвители. Волоконные линии связи. Нелинейные эффекты в оптических волокнах.

### **В.ІІ. СПЕКТРАЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ.**

1. Основные характеристики спектральных приборов: дисперсия, разрешающая способность, светосила. Способы получения спектра: пространственное разложение; селективная

амплитудная модуляция; селективная частотная модуляция. Сравнительные характеристики в области применения спектральных приборов различного типа.

2. Приборы с пространственным разложением излучения в спектр. Свойства дисперирующих систем: призмы, дифракционной решетки, интерферометра Фабри-Перо. Аппаратная функция приборов, методы определения ее.

3. Приборы с селективной амплитудной модуляцией: интерферометр Фабри-Перо с фотоэлектрической регистрацией, грилл-спектрометр, СИСАМ. Области применения.

4. Фурье-спектрометр. Выигрыш Фелжета. Шумы приемника и фотонный шум. Аппаратная функция и разрешающая способность. Области применения.

5. Фотографическая фотометрия. Закон взаимозаменяемости и отступления от него. Светосила спектрального прибора при фотографической регистрации спектра. Гомохромная фотометрия. Гетерохромная фотометрия. Измерение интегральной интенсивности линий. Измерение контура линии. Случайные и систематические ошибки.

6. Фотоэлектрическая фотометрия. Приемники света: фотоэлемент и фотоумножитель; фотосопротивления; тепловые приемники; счетчики фотонов. Основные параметры приемников. Предельная чувствительность приемников различного типа. Светосила спектрального прибора при фотоэлектрической регистрации спектра.

7. Измерение длин волн. Стандарты частоты и стандарты длин волн.

8. Измерение абсолютных интенсивностей. Первичный стандарт – излучение абсолютно черного тела. Вольфрамовые эталонные лампы. Ультрафиолетовые стандарты. Синхротронное излучение. Измерения в области мягкого рентгеновского излучения.

9. Измерение контуров линий. Связь между истинным и наблюдаемым распределением энергии в спектре. Методы редукции к идеальному прибору. Роль случайных ошибок измерений, регуляризация редукции.

### В.Ш. ГОЛОГРАФИЯ.

1. Физические основы голографии. Принцип восстановления волнового фронта – основное уравнение голографии. Объемные голограммы (метод Денисюка).

2. Основные схемы голографических систем. Голограммы Френеля, Фурье, Фраунгофера. Голограммы плоских и трехмерных объектов. Схемы голографирования нестационарных объектов. Получение увеличенных изображений.

3. Разрешающая способность голографических систем. Дифракционная разрешающая способность. Роль фотослоя. Ограничение поля зрения. Аберрации голографических систем. Основные требования к источнику света.

4. Голографическая интерферометрия. Принцип “опорного предмета”. Двухэкспозиционная система. Схема “голограмма-предмет”. Расчет интерференционной картины. Применения.

5. Неоптическая голография. Акустическая голография. Синтез голограмм на ЭВМ.

Набор экзаменационных билетов формируется и утверждается в установленном порядке в начале учебного года при наличии контингента обучающихся, осваивающих модуль «Оптика» в текущем учебном году.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по модулю требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

