



## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФГБОУ ВО «ИГУ»

Кафедра Общей и экспериментальной физики



**УТВЕРЖДАЮ**

Декан физического факультета

/ Н.М. Буднев

2023 г.

### Рабочая программа дисциплины (модуля)

Наименование дисциплины (модуля) Б1.В.ДВ.02.01 Лазерная спектроскопия

Направление подготовки 03.03.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки Физика конденсированного состояния

Квалификация выпускника - бакалавр

Форма обучения очная

Согласовано с УМК:  
физического факультета  
Протокол № 38 от «18» апреля 2023 г.

Председатель: д.ф.-м.н., профессор  
Н.М. Буднев

Рекомендовано кафедрой:  
общей и экспериментальной физики  
Протокол № 7 от «31» января 2023 г.

Зав.кафедрой д.ф.-м.н.  
/ А.А. Гаврилюк

Иркутск 2023 г.

## Содержание

<b>I. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ):</b> .....	<b>3</b>
<b>II. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО</b> .....	<b>3</b>
<b>III. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ</b> .....	<b>4</b>
<b>IV. СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ</b> .....	<b>6</b>
4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов .....	6
4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине .....	8
4.3. Содержание учебного материала .....	12
4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ .....	13
4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС) .....	13
4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов .....	15
4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) .....	15
<b>V. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)</b> .....	<b>15</b>
<b>VI. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)</b> 17	
6.1. Учебно-лабораторное оборудование: .....	17
6.2. Программное обеспечение: .....	17
6.3. Технические и электронные средства: .....	17
<b>VII. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ</b> .....	<b>17</b>
<b>VIII. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ</b> .....	<b>18</b>

## I. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ):

Курс «Лазерная спектроскопия» предназначен для того, чтобы познакомить студентов с теоретическими основами взаимодействия света и вещества, актуальными для лазерной спектроскопии, включая метод матрицы плотности, с экспериментальными методами современной лазерной спектроскопии, включая линейную и нелинейную спектроскопию поглощения, бездоплеровскую спектроскопию, люминесцентную спектроскопию с временным разрешением, спектроскопию комбинационного рассеяния, спектроскопию одиночных квантовых систем, с направлениями развития и приложениями лазерной спектроскопии. Студенты должны получить знания, позволяющие им использовать методы и средства лазерной спектроскопии в своих исследованиях в области конденсированного состояния и в других разделах физики.

## II. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Лазерная спектроскопия» входит в модуль **Б1.В.ДВ.7.1**, относящийся к вариативной части цикла Б1 основной образовательной программы по направлению: **03.03.02 Физика, профиль “Физика конденсированного состояния”**. Данный спецкурс связан со спецкурсом по атомной и молекулярной спектроскопии, который является вводным курсом к этой дисциплине, а с другой стороны имеет самостоятельное значение для углубленного изучения современных методов и принципов лазерной спектроскопии.

Для изучения данной учебной дисциплины (модуля) необходимы знания, умения и навыки, формируемые предшествующими дисциплинами:

- *Механика;*
- *Молекулярная физика;*
- *Электричество и магнетизм;*
- *Колебания и волны. Оптика;*
- *Атомная физика;*
- *Математический анализ;*
- *Аналитическая геометрия;*
- *Линейная алгебра;*
- *Векторный и тензорный анализ;*
- *Дифференциальные уравнения;*
- *Интегральные уравнения и вариационное исчисление;*
- *Теория функции комплексного переменного;*
- *Теоретическая механика;*
- *Квантовая механика.*

Перечень последующих учебных дисциплин, для которых необходимы знания, умения и навыки, формируемые данной учебной дисциплиной:

- *Атомная и молекулярная спектроскопия.*

### III. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс освоения дисциплины направлен на формирование компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ОП ВО по данному направлению подготовки (специальности) 03.03.02 Физика:

#### Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
ОПК-3: способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач	ОПК-3.1 Обладает базовыми теоретическими знаниями фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач	Знать: Базовые основы введения в физику твёрдого тела. Уметь: Определять пределы применимости основных положений введения в физику твёрдого тела. Владеть: Навыками решения элементарных задач в области физики твёрдого тела.
	ОПК-3.2 Применяет системный подход в области фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач	Знать: Математический аппарат, позволяющий решать фундаментальные задачи прикладного и исследовательского характера в области физики твёрдого тела. Уметь: Определять методы и подходы для решения фундаментальных задач прикладного и исследовательского характера в области физики твёрдого тела. Владеть: Навыками решения фундаментальных задач в области физики твёрдого тела в рамках исследовательской деятельности.
ПК-1: способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	ПК-1.1 Обладает способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	Знать: Математический аппарат, позволяющий решать задачи прикладного и исследовательского характера в области физики твёрдого тела. Уметь: Определять методы и подходы для решения задач прикладного и исследовательского характера в области физики твёрдого тела. Владеть: Навыками решения задач в области физики твёрдого тела в рамках исследовательской деятельности.
	ОПК-1.2 Применяет	Знать:

	специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	<p>Математический аппарат, позволяющий решать профильные задачи прикладного и исследовательского характера в области физики твёрдого тела.</p> <p>Уметь: Определять методы и подходы для решения профильных задач прикладного и исследовательского характера в области физики твёрдого тела.</p> <p>Владеть: Навыками решения профильных задач в области физики твёрдого тела в рамках исследовательской деятельности.</p>
ПК-2: способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы ( в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта	ПК-2.1 Обладает способностью использовать информационные технологии с учетом отечественного и зарубежного опыта	<p>Знать: основные принципы использования информационных технологий для освоения отечественного и зарубежного опыта.</p> <p>Уметь: планировать исследования с учетом отечественного и зарубежного опыта.</p> <p>Владеть: способностью использовать информационные технологии с учетом отечественного и зарубежного опыта.</p>
	ПК-2.2 Обладает способностью проводить научные исследования в области лазерной спектроскопии с помощью современной приборной базы	<p>Знать: принципы работы оборудования.</p> <p>Уметь: планировать исследования в области лазерной спектроскопии.</p> <p>Владеть: способностью проводить научные исследования в области лазерной спектроскопии с помощью современной приборной базы.</p>

#### IV. СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Объем дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 часа, в том числе 79 часов контактной работы, 10 часов на экзамен.

Из них реализуется с использованием электронного обучения и дистанционных образовательных технологий - 32 часа.

Из них 46 часов – практическая подготовка.

**Форма промежуточной аттестации: экзамен.**

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

№ п/п	Раздел дисциплины/тема	Семестр	Всего часов	Из них практическая подготовка обучающихся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся, практическую подготовку и трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа	Форма текущего контроля успеваемости/ Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
					Лекция	Семинар/ Практическое, лабораторное занятие	Консультация		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Состояния квантовой системы. Оператор плотности. Его свойства.	8	4	2	1	1		1	Экспресс-опрос
2	Квантовомеханическое среднее значение операторов динамических величин.	8	4	2	1	1		1	Экспресс-опрос. Собеседование
3	Квантовое уравнение Лиувилля (уравнение	8	7	2	2	2		2	Экспресс-опрос.

	Неймана).								Собеседование
4	Дифференциальные уравнения для диагональных и недиагональных элементов матрицы плотности.	8	6	2	1	2		2	Экспресс-опрос. Собеседование
5	Производные по времени от средних значений операторов динамических величин.	8	6	2	2	1		2	Экспресс-опрос. Собеседование
6	Гамильтониан атома в электромагнитном поле. Мультипольное разложение.	8	7	2	2	2		2	Экспресс-опрос. Собеседование
7	Правила отбора по четности для переходов разной мультипольности.	8	6	2	1	1		3	Экспресс-опрос. Собеседование
8	Уравнения движения для электрического дипольного перехода.	8	6	2	1	2		2	Экспресс-опрос. Собеседование
9	Учет ориентаций квантовых систем. Усреднение по ориентациям.	8	5	2	1	1		2	Экспресс-опрос. Собеседование
10	Уравнение для разности населенностей.	8	6	2	1	2		2	Экспресс-опрос. Собеседование
11	Волновое уравнение с учетом потерь, не связанных с рассматриваемым переходом. Система уравнений, описывающих взаимодействие света и вещества.	8	7	2	2	1		3	Экспресс-опрос. Собеседование
12	Резонансные процессы взаимодействия света и вещества. Электрическая восприимчивость. Поглощение и дисперсия. Лоренцева форма спектральной линии.	8	8	2	2	2		3	Экспресс-опрос. Собеседование
13	Закон Бугера-Ламберта-Бера. Коэффициент поглощения, ширина спектральной линии. Значение функции формы в максимуме. Сечение поглощения. Сила осциллятора и правило сумм Томаса-Кюна.	8	5	2	1	1		2	Экспресс-опрос. Собеседование
14	Однородное и неоднородное уширение. Эффект Доплера. Ширина доплеровски уширенной линии. Функция Гаусса формы спектральной линии.	8	8	2	2	2		3	Экспресс-опрос. Собеседование

15	Насыщение поглощения. Параметр насыщения. Форма лоренцевой линии при насыщении. Пассивные насыщающиеся оптические затворы.	8	6	2	1	2		2	Экспресс-опрос. Собеседование	
16	Импульсная инверсия населенностей в двухуровневой среде.	8	6	2	2	1		2	Экспресс-опрос. Собеседование	
17	Спектроскопия атомных и молекулярных пучков.	8	7	2	2	1		3	Экспресс-опрос. Собеседование	
18	Резонансы насыщенного поглощения.	8	7	2	2	2		2	Экспресс-опрос. Собеседование	
19	Метод разнесенных оптически полей.	8	6	2	1	2		2	Экспресс-опрос. Собеседование	
20	Двухфотонная лазерная спектроскопия.	8	5	2	2	1		1	Экспресс-опрос. Собеседование	
21	Резонансы поглощения и испускания холодных частиц, захваченных в ловушках.	8	7	2	2	2		2	Экспресс-опрос. Собеседование	
22	Лазерная спектроскопия спонтанного и вынужденного комбинационного рассеяния.	8	6	2	1	1		2	Экспресс-опрос. Собеседование	
23	Спектроскопическая идентификация частиц по характеристикам квантовых траекторий интенсивности одночастичной фотолюминесценции.	8	6	2	1	1		2	Экспресс-опрос. Собеседование	
экзамен		8	1					1		
<b>Итого часов</b>			<b>144</b>	<b>46</b>	<b>34</b>	<b>34</b>		<b>1</b>	<b>48</b>	<b>27</b>

#### 4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
1	Элементы, соединения, вещества, материалы. Диаграмма состояния. Твердое тело	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	1	Экспресс-опрос	[1-18]



Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
8	Состояния квантовой системы. Оператор плотности. Его свойства.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	1	Экспресс-опрос	[1-18]
8	Квантовомеханическое среднее значение операторов динамических величин.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2	Экспресс-опрос	[1-18]
8	Квантовое уравнение Лиувилля (уравнение Неймана).	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2	Экспресс-опрос	[1-18]
8	Дифференциальные уравнения для диагональных и недиагональных элементов матрицы плотности.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2	Экспресс-опрос	[1-18]
8	Производные по времени от средних значений операторов динамических величин.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2	Экспресс-опрос	[1-18]
8	Гамильтониан атома в электромагнитном поле. Мультипольное разложение.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	3	Экспресс-опрос	[1-18]
8	Правила отбора по четности для переходов разной мультипольности.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2	Экспресс-опрос	[1-18]
8	Уравнения движения для электрического дипольного перехода.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2	Экспресс-опрос	[1-18]
8	Учет ориентаций квантовых систем. Усреднение по ориентациям.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2	Экспресс-опрос	[1-18]
8	Уравнение для разности населенностей.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	3	Экспресс-опрос	[1-18]

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
8	Волновое уравнение с учетом потерь, не связанных с рассматриваемым переходом. Система уравнений, описывающих взаимодействие света и вещества.			3		[1-18]
8	Резонансные процессы взаимодействия света и вещества. Электрическая восприимчивость. Поглощение и дисперсия. Лоренцева форма спектральной линии.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2	Экспресс-опрос	[1-18]
8	Закон Бугера-Ламберта-Бера. Коэффициент поглощения, ширина спектральной линии. Значение функции формы в максимуме. Сечение поглощения. Сила осциллятора и правило сумм Томаса-Кюна.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	3		[1-18]
8	Однородное и неоднородное уширение. Эффект Доплера. Ширина доплеровски уширенной линии. Функция Гаусса формы спектральной линии.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2		[1-18]
8	Насыщение поглощения. Параметр насыщения. Форма лоренцевой линии при насыщении. Пассивные насыщающиеся оптические затворы.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2		[1-18]
8	Импульсная инверсия населенностей в двухуровневой среде.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	3		[1-18]

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
8	Спектроскопия атомных и молекулярных пучков.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2		[1-18]
8	Резонансы насыщенного поглощения.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2		[1-18]
8	Метод разнесенных оптических полей.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	1		[1-18]
8	Двухфотонная лазерная спектроскопия.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2		[1-18]
8	Резонансы поглощения и испускания холодных частиц, захваченных в ловушках.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2		[1-18]
8	Лазерная спектроскопия спонтанного и вынужденного комбинационного рассеяния.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	2		[1-18]
8	Спектроскопическая идентификация частиц по характеристикам квантовых траекторий интенсивности одночастичной фотолуминесценции.	Подготовка к аудиторным занятиям по указанной теме. Изучение научной и специальной учебной литературы.	В течение семестра	1		[1-18]
Общий объем самостоятельной работы по дисциплине (час)				48		
Из них объем самостоятельной работы с использованием электронного обучения и дистанционных образовательных технологий (час)				-		

### 4.3. Содержание учебного материала

#### Раздел 1. Квантовомеханические основы взаимодействия света и вещества

1. Состояния квантовой системы. Оператор плотности. Его свойства.
2. Квантовомеханическое среднее значение операторов динамических величин.
3. Квантовое уравнение Лиувилля (уравнение Неймана).
4. Дифференциальные уравнения для диагональных и недиагональных элементов матрицы плотности.
5. Производные по времени от средних значений операторов динамических величин.

#### Раздел 2. Квантовая система в электромагнитном поле

6. Гамильтониан атома в электромагнитном поле. Мультипольное разложение.
7. Правила отбора по четности для переходов разной мультипольности.
8. Уравнения движения для электрического дипольного перехода.
9. Учет ориентаций квантовых систем. Усреднение по ориентациям. Уравнение второго порядка для электрической поляризации среды в поле электромагнитного излучения.
10. Уравнение для разности населенностей.
11. Волновое уравнение с учетом потерь, не связанных с рассматриваемым переходом. Система дифференциальных уравнений, описывающих взаимодействие света и вещества.

#### Раздел 3. Резонансные процессы

12. Резонансные процессы взаимодействия света и вещества. Электрическая восприимчивость. Поглощение и дисперсия. Лоренцева форма спектральной линии.
13. Закон Бугера-Ламберта-Бера. Коэффициент поглощения, ширина спектральной линии. Значение функции формы в максимуме. Сечение поглощения. Сила осциллятора и правило сумм Томаса-Кюна.
14. Однородное и неоднородное уширение. Эффект Доплера. Ширина доплеровски уширенной линии. Функция Гаусса формы спектральной линии.

#### Раздел 4. Некоторые методы лазерной спектроскопии

15. Насыщение поглощения. Параметр насыщения. Форма лоренцевой линии при насыщении. Пассивные насыщающиеся оптические затворы.
16. Импульсная инверсия населенностей в двухуровневой среде.
17. Спектроскопия атомных и молекулярных пучков.
18. Резонансы насыщенного поглощения.
19. Метод разнесенных оптически полей.
20. Двухфотонная лазерная спектроскопия.
21. Резонансы поглощения и испускания холодных частиц, захваченных в ловушках.
22. Лазерная спектроскопия спонтанного и вынужденного комбинационного рассеяния.
23. Спектроскопическая идентификация частиц по характеристикам квантовых траекторий интенсивности одночастичной фотолуминесценции.

#### 4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (час.)		Оценочные средства	Формируемые компетенции (индикаторы)*
			всего часов	из них практ. подг.		
1	2	3	4	5	6	7
1	Раздел 1	Квантовомеханические основы взаимодействия света и вещества	10	10	Экспресс-опрос. Оценки за решение задач	ОПК-3; ПК-1; ПК-2
2	Раздел 2	Квантовая система в электромагнитном поле	13	13	Экспресс-опрос. Оценки за решение задач	ОПК-3; ПК-1; ПК-2
3	Раздел 3	Резонансные процессы	6	6	Экспресс-опрос. Оценки за решение задач	ОПК-3; ПК-1; ПК-2
4	Раздел 4	Некоторые методы лазерной спектроскопии	15	15	Экспресс-опрос. Оценки за решение задач	ОПК-3; ПК-1; ПК-2

#### 4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)

№ п/п	Тема	Задание	Формируемая компетенция	ИДК
1	2	3	4	5
1	Состояния квантовой системы. Оператор плотности. Его свойства.	Подготовка к аудиторным занятиям по темам, вынесенным на самостоятельное изучение. Изучение научной и специальной учебной литературы.	ОПК-3; ПК-1; ПК-2	ОПК-3; ПК-1; ПК-2
2	Квантовомеханическое среднее значение операторов динамических величин.	Подготовка к аудиторным занятиям по темам, вынесенным на самостоятельное изучение. Изучение научной и специальной учебной литературы.	ОПК-3; ПК-1; ПК-2	ОПК-3; ПК-1; ПК-2
3	Квантовое уравнение Лиувилля (уравнение Неймана).	Подготовка к аудиторным занятиям по темам, вынесенным на самостоятельное изучение. Изучение научной и специальной учебной литературы.	ОПК-3; ПК-1; ПК-2	ОПК-3; ПК-1; ПК-2
4	Дифференциальные уравнения для диагональных и недиагональных элементов матрицы плотности. Производные по времени от средних значений операторов динамических величин.	Подготовка к аудиторным занятиям по темам, вынесенным на самостоятельное изучение. Изучение научной и специальной учебной литературы.	ОПК-3; ПК-1; ПК-2	ОПК-3; ПК-1; ПК-2

5	Гамильтониан атома в электромагнитном поле. Мультипольное разложение. Правила отбора по четности для переходов разной мультипольности.	Подготовка к аудиторным занятиям по темам, вынесенным на самостоятельное изучение. Изучение научной и специальной учебной литературы.	ОПК-3; ПК-1; ПК-2	ОПК-3; ПК-1; ПК-2
6	Уравнения движения для электрического дипольного перехода. Учет ориентаций квантовых систем. Усреднение по ориентациям.	Подготовка к аудиторным занятиям по темам, вынесенным на самостоятельное изучение. Изучение научной и специальной учебной литературы.	ОПК-3; ПК-1; ПК-2	ОПК-3; ПК-1; ПК-2
7	Уравнение для разности населенностей. Волновое уравнение с учетом потерь, не связанных с рассматриваемым переходом. Система уравнений, описывающих взаимодействие света и вещества.	Подготовка к аудиторным занятиям по темам, вынесенным на самостоятельное изучение. Изучение научной и специальной учебной литературы.	ОПК-3; ПК-1; ПК-2	ОПК-3; ПК-1; ПК-2
8	Резонансные процессы взаимодействия света и вещества. Электрическая восприимчивость. Поглощение и дисперсия. Лоренцева форма спектральной линии.	Подготовка к аудиторным занятиям по темам, вынесенным на самостоятельное изучение. Изучение научной и специальной учебной литературы.	ОПК-3; ПК-1; ПК-2	ОПК-3; ПК-1; ПК-2
9	Закон Бугера-Ламберта-Бера. Коэффициент поглощения, ширина спектральной линии. Значение функции формы в максимуме. Сечение поглощения. Сила осциллятора и правило сумм Томаса-Кюна.	Подготовка к аудиторным занятиям по темам, вынесенным на самостоятельное изучение. Изучение научной и специальной учебной литературы.	ОПК-3; ПК-1; ПК-2	ОПК-3; ПК-1; ПК-2
10	Однородное и неоднородное уширение. Эффект Доплера. Ширина доплеровски уширенной линии. Функция Гаусса формы спектральной линии. Насыщение поглощения. Параметр насыщения. Форма лоренцевой линии при насыщении. Пассивные насыщающиеся оптические затворы. Импульсная инверсия населенностей в двухуровневой среде.	Подготовка к аудиторным занятиям по темам, вынесенным на самостоятельное изучение. Изучение научной и специальной учебной литературы.	ОПК-3; ПК-1; ПК-2	ОПК-3; ПК-1; ПК-2
11	Спектроскопия атомных	Подготовка к аудиторным	ОПК-3;	ОПК-3;

	и молекулярных пучков.	занятиям по темам, вынесенным на самостоятельное изучение. Изучение научной и специальной учебной литературы.	ПК-1; ПК-2	ПК-1; ПК-2
12	Метод разнесенных оптических полей. Двухфотонная лазерная спектроскопия. Лазерная спектроскопия спонтанного и вынужденного комбинационного рассеяния.	Подготовка к аудиторным занятиям по темам, вынесенным на самостоятельное изучение. Изучение научной и специальной учебной литературы.	ОПК-3; ПК-1; ПК-2	ОПК-3; ПК-1; ПК-2

#### 4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа реализуется:

- 1) Непосредственно в процессе аудиторных занятий, при выполнении практических работ.
- 2) В контакте с преподавателем вне рамок расписания - на консультациях по учебным вопросам, в ходе творческих контактов, при ликвидации задолженностей, при выполнении индивидуальных заданий и т.д.
- 3) В библиотеке, дома, в общежитии, на кафедре при подготовке к аудиторным занятиям по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, и при изучении научной и специальной учебной литературы.

Самостоятельная работа студентов может быть как в аудитории, так и вне ее. Внеаудиторная самостоятельная работа студентов также включает в себя подготовку к устным опросам по каждому из изучаемых разделов. Также самостоятельная работа подразумевает систематический подход к обучению, в соответствии с предложенным в разделе 4.1 графиком, что, в свою очередь, способствует получению зачета по данной дисциплине.

#### 4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Курсовые работы учебным планом не предусмотрены

### V. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

#### а) основная литература

- 1) **Демтрёдер, Вольфганг.** Современная лазерная спектроскопия [Текст] : учеб. пособие / В. Демтрёдер ; пер. с англ.: М. В. Рябинина, Л. А. Мельников, В. Л. Дербов ; ред. Л. А. Мельников. - Долгопрудный : Изд. дом "Интеллект", 2014. - 1071 с. ; 22 см. - ISBN 978-5-91559-114-0. - (2 экз.)
- 2) **Знаменский, Николай Владимирович.** Спектры и динамика оптических переходов редкоземельных ионов в кристаллах / Н. В. Знаменский, Ю. В. Малюкин. - М. : Физматлит, 2008. - 191 с. : граф. ; 22 см. - Библиогр.: с. 179-188. - ISBN 978-5-9221-0947-5. - (2 экз.)
- 3) **Кремерс, Дэвид А.** Лазерно-искровая эмиссионная спектроскопия [Текст] : пер. с англ. / Д. А. Кремерс, Л. Д. Радзиемски ; ред. Н. Б. Зоров. - М. : Техносфера, 2009. - 358 с. : ил., [5] вкл. л. цв. ил. ; 25 см. - (Мир физики и техники). - Библиогр. в конце глав. - Предм. указ.: с. 345-358. - ISBN 978-5-94836-235-9. - (2 экз.)

- 4) **Шалаев А.А.** Основы физического материаловедения [Электронный ресурс] : учеб. пособие : в 2 ч. / А. А. Шалаев. - ЭБК. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2013. - Режим доступа: ЭЧЗ "Библиотех". - Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-9624-0883-5
- 5) **Фриш С. Э.** Оптические спектры атомов [Электронный ресурс] / С. Э. Фриш. - Москва : Лань, 2010. - 644 с. : ил., табл. - (Учебники для вузов. Специальная литература) (Классическая учебная литература по физике / ред. совет : Ж.И.Алферов (пред.) [и др.] (Лучшие классические учебники). - Режим доступа: ЭБС "Издательство "Лань". - Неогранич. доступ. - Предм. указ.: с.637-640. - Библиогр. в конце гл. - ISBN 978-5-8114-1143-6

**б) дополнительная учебная литература:**

- 6) Летохов, В. С. Нелинейная лазерная спектроскопия сверхвысокого разрешения [Текст] : научное издание / В. С. Летохов, В. П. Чеботаев. - М. : Наука, 1990. - 511 с. : ил. ; 22 см. - Библиогр.: с. 481-507. - ISBN 5-020-14040-6. - (2 экз.)
- 7) Малышев, В. А. Основы квантовой электроники и лазерной техники [Текст] : учеб. пособие для студ. вузов / В. А. Малышев. - М. : Высш. шк., 2005. - 543 с. : ил. ; 22 см. - Библиогр.: с. 536-539. - ISBN 5-06-004853-5. - (1 экз.)
- 8) Р.Пантел, Г.Путхоф. Основы квантовой электроники. – М. «Мир», 1972.
- 9) Ахманов С.А. Методы нелинейной оптики в спектроскопии рассеяния света: активная спектроскопия рассеяния света [Текст] : научное издание / С. А. Ахманов, Н. И. Коротеев. - М. : Наука, 1981. - 543 с. : ил. ; 21 см. - (Современные проблемы физики). - Библиогр.: с. 513-539. - (3 экз.)
- 10) Манькин, Э.А. Оптическая эхо-спектроскопия [Текст] : научное издание / Э. А. Манькин, В. В. Самарцев ; отв. ред. С. А. Ахманов ; АН СССР, Казан. фил., Казан. физ.-техн. ин-т. - М. : Наука, 1984. - 270 с. : ил. ; 22 см. - Библиогр.: с. 244-268. - (2 экз.)
- 11) Л.Аллен, Дж.Эберли. Оптический резонанс и двухуровневые атомы. - М., 1978.
- 12) Ельяшевич, М. А. Атомная и молекулярная спектроскопия [Текст] / М. А. Ельяшевич. - М. : КомКнига, 2006 - . - 21 см. - [Ч.2] : Атомная спектроскопия. - 3-е изд. - 2006. - 415 с. : ил. - Предм. указ.: с.404-415 . - ISBN 5-484-00686-4. - (1 экз.)

**в) Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", полезных для освоения дисциплины**

- 13) НБ ИГУ <http://library.isu.ru/ru>
- 14) ЭЧЗ «Библиотех» <https://isu.bibliotech.ru/>
- 15) ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com/>
- 16) ЭБС «Рукопт» <http://rucont.ru>
- 17) ЭБС «Айбукс» <http://ibooks.ru>
- 18) В системе образовательного портала ИГУ (<http://educa.isu.ru/> ) размещены методические материалы и задания по дисциплине Б1.В.ДВ.7.1 «Лазерная спектроскопия».



## **VI. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

### **6.1. Учебно-лабораторное оборудование:**

Практические и лекционные занятия по данной дисциплине проводятся в учебной аудитории по расписанию.

Лабораторное оборудование:

*Лазерные элементы, пассивные насыщающиеся лазерные затворы, ионные кристаллы, активированные ионные кристаллы, монокристаллы с центрами окраски. Экскурсия в Иркутский филиал Института лазерной физики СО РАН для ознакомления с экспериментальной техникой лазерной спектроскопии, с пикосекундными, наносекундными и непрерывными лазерными источниками, конфокальным сканирующим флуоресцентным микроскопом с пикосекундным временным разрешением, системами время-коррелированного счета фотонов на базе лавинных фотодиодов, абсорбционными спектрофотометрами и УФ-ИК спектрофлуориметрами.*

На факультете имеется компьютеризированная аудитория с неограниченным доступом в Интернет и стандартным программным обеспечением с возможностью просмотра презентаций и других материалов по курсу (в рамках самостоятельной работы студентов) и обработки экспериментальных данных в стандартных программах для построения графиков, таблиц и проведения расчётов (в рамках лабораторного практикума).

### **6.2. Программное обеспечение:**

Стандартные сервисы сети Интернет, стандартные средства просмотра презентаций и других материалов по курсу, стандартные программы для построения графиков, таблиц и проведения расчётов.

### **6.3. Технические и электронные средства:**

Для проведения практических и лекционных занятий в качестве демонстрационного оборудования используются проектор, экран и меловая доска. Используются современные образовательные технологии: информационные (лекции и презентации в Power Point), проектные (мультимедиа, видео, документальные фильмы). Использование глобальной компьютерной сети позволяет обеспечить доступность Интернет-ресурсов и реализовать самостоятельную работу студентов, в ходе которой они могут вычитывать научные статьи по темам курса. На лекциях могут использоваться мультимедийные средства: проектор (CASIO XJ-A241), переносной экран (Classic Solution, T195x195/1MW-LU/B), ноутбук Lenovo B590. На факультете имеется компьютеризированная аудитория, предназначенная для самостоятельной работы, с неограниченным доступом в Интернет.

## **VII. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Классические лекционные и практические занятия, экспресс-опросы.

## VIII. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Фонд оценочных средств (ФОС) представлен в приложении.

### **Оценочные материалы для входного контроля:**

Проводится опрос на первом занятии.

### **Оценочные материалы текущего контроля:**

Содержание учебного материала разделено на дидактические единицы (ДЕ) – предметные темы, подлежащие обязательному изучению и усвоению в процессе обучения. Учитывается промежуточная аттестация по итогам самостоятельной работы, предусмотренной программой курса.

### **Оценочные материалы для промежуточной аттестации:**


*Примерный список вопросов к зачету:*

- 1) Состояния квантовой системы. Оператор плотности. Его свойства.
- 2) Квантовомеханическое среднее значение операторов динамических величин.
- 3) Квантовое уравнение Лиувилля (уравнение Неймана).
- 4) Дифференциальные уравнения для диагональных и недиагональных элементов матрицы плотности.
- 5) Производные по времени от средних значений операторов динамических величин.
- 6) Гамильтониан атома в электромагнитном поле. Мультипольное разложение.
- 7) Правила отбора по четности для переходов разной мультипольности.
- 8) Уравнения движения для электрического дипольного перехода.
- 9) Учет ориентаций квантовых систем. Усреднение по ориентациям. Уравнение второго порядка для электрической поляризации среды в поле электромагнитного излучения.
- 10) Уравнение для разности населенностей.
- 11) Волновое уравнение с учетом потерь, не связанных с рассматриваемым переходом. Система уравнений, описывающих взаимодействие света и вещества.
- 12) Резонансные процессы взаимодействия света и вещества. Электрическая восприимчивость. Поглощение и дисперсия. Лоренцева форма спектральной линии.
- 13) Закон Бугера-Ламберта-Бера. Коэффициент поглощения, ширина спектральной линии. Значение функции формы в максимуме. Сечение поглощения. Сила осциллятора и правило сумм Томаса-Кюна.
- 14) Однородное и неоднородное уширение. Эффект Доплера. Ширина доплеровски уширенной линии. Функция Гаусса формы спектральной линии.
- 15) Насыщение поглощения. Параметр насыщения. Форма лоренцевой линии при

- насыщении. Пассивные насыщающиеся оптические затворы.
- 16) Импульсная инверсия населенностей в двухуровневой среде.
  - 17) Спектроскопия атомных и молекулярных пучков.
  - 18) Резонансы насыщенного поглощения.
  - 19) Метод разнесенных оптически полей.
  - 20) Двухфотонная лазерная спектроскопия.
  - 21) Резонансы поглощения и испускания холодных частиц, захваченных в ловушках.
  - 22) Лазерная спектроскопия спонтанного и вынужденного комбинационного рассеяния.
  - 23) Спектроскопическая идентификации частиц по характеристикам квантовых траекторий интенсивности одночастичной фотолюминесценции.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 Физика.

**Разработчик:**

 д.ф.-м.н. профессор Е.Ф.Мартынович

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей и экспериментальной физики  
«31» января 2023 г.

Протокол № 7

Зав. кафедрой  д.ф.-м.н. Гаврилюк А.А.

*Настоящая программа, не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.*