



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
ФГБОУ ВО «ИГУ»  
**Кафедра общей и экспериментальной физики**



**СВЕРЖДАЮ**  
Декан физического факультета  
**П.М. Буднев**  
2021 г.

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

Наименование дисциплины (модуля): Б1.В.02.01 Специальный практикум по спектроскопии

Направление подготовки: 03.03.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки: Физика конденсированного состояния.

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очная.

**Согласовано с УМК:**

физического факультета

**Протокол № 30**

от «31» августа 2021 г.

**Зам. председателя, к.ф.-м.н., доцент**

В.В. Чумак

**Рекомендовано кафедрой:**

общей и экспериментальной физики

**Протокол № 1**

от «30» августа 2021 г.

**Зав.кафедрой, д.ф.-м.н., профессор**

А.А. Гаврилюк

**Иркутск 2021 г.**

## Содержание

<b>I. Цели и задачи дисциплины (модуля) .....</b>	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
<b>II. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП .....</b>	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
<b>III. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля) .....</b>	<b>4</b>
<b>IV. Содержание и структура дисциплины .....</b>	<b>4</b>
4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов .....	<a href="#">5</a>
4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине .....	5
4.3. Содержание учебного материала .....	6
4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ .....	7
4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС) .....	7
4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов .....	8
4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии) .....	8
<b>V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля) .....</b>	<b>9</b>
а) основная литература .....	9
дополнительная литература .....	9
в) список авторских методических разработок .....	9
г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы .....	9
<b>VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля) .....</b>	<b>9</b>
6.1. Учебно-лабораторное оборудование: .....	9
6.2. Программное обеспечение: .....	10
6.3. Технические и электронные средства: .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
<b>VII. Образовательные технологии .....</b>	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
<b>VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации .....</b>	<b>10</b>

## I. Цели и задачи дисциплины (модуля)

**1. Цели и задачи дисциплины :** Целью курса является создание фундаментальной базы знаний о природе атомных спектров. Предусматривается осуществить последовательное изложение систематики атомных спектров, осветить общие вопросы спектроскопии. Наряду с результатами исследований спектров в оптической области рассматриваются результаты радиоспектроскопических исследований и ТГц спектроскопия.

**Задачи курса.** Первая из них заключается в мировоззренческой и методологической направленности курса. Необходимо сформировать у студентов единую, стройную, логически непротиворечивую физическую картину природы атомных спектров. Создание такой картины происходит поэтапно, путем обобщения экспериментальных данных и на их основе производится построение моделей наблюдаемых явлений.

Во-вторых, в рамках единого подхода необходимо рассмотреть основные явления, вывести основные законы и получить их выражение в виде математических уравнений. Необходимо научить студентов количественно решать конкретные задачи.

В-третьих, необходимо научить студентов основам постановки и проведения физического эксперимента с последующим анализом и оценкой полученных результатов.

Неотъемлемой частью курса « Атомная спектроскопия » является специальный физический практикум по эмиссионному спектральному анализу. Его главные задачи: 1). Научить применять теоретический материал к анализу конкретных физических ситуаций, экспериментально изучить основные закономерности, оценить порядки изучаемых величин, определить точность экспериментальных результатов.

2). Ознакомиться с измерительной аппаратурой и принципом ее действия, с основными элементами техники безопасности при проведении экспериментальных исследований. Общее число задач спецпрактикума определяется кафедрой в соответствии с учебным планом и содержанием настоящей программы.

## II. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Потребность курса, посвященного атомным спектрам, существует и в наши дни. По-прежнему знание спектров необходимо и физикам, занимающемуся строением атомов или свойствами газоразрядной плазмы; специалисту-практику, работающему в области применения спектрального анализа или создания газосветных ламп. Астрофизику, определяющему по спектру звезды или туманности, происходящие в них процессы. Химику знание спектров дает возможность проследить расположение внешних электронов в атомах и тем самым подвести физический фундамент под периодическую систему Менделеева. Со спектрами встречается и геофизик, наблюдающий свечение верхних слоев атмосферы и специалист в области квантовой электроники. Дисциплина «Специальный практикум» относится к дисциплине базовой части Б1.В.ОД 7.1образовательной программы по направлению 03.03.02 физика конденсированного состояния.

### III. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)

Процесс изучения данной дисциплины направлен на формирование следующих профессиональных компетенций (ПК):

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
ПК-1	способен использовать теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач	Знать <ul style="list-style-type: none"> <li>• Теоретические основы, понятия, законы и модели.</li> <li>• методы спектрального анализа</li> <li>• способы и технологии получения исследуемой пробы</li> </ul> Уметь: <ul style="list-style-type: none"> <li>• самостоятельно анализировать и оценивать факты, явления и события;</li> <li>• осуществлять поиск и обработку актуальной информации в ЭБС и периодических изданиях и выявлять современные тенденции в развитии элементной базы электроники;</li> <li>• применять методы и средства измерения физических величин;</li> </ul> Иметь представление: <ul style="list-style-type: none"> <li>• о научно-технической лексике (терминологии), взаимосвязи между составом, структурой и комплексом свойств материалов, определяющих их применение.</li> </ul> Владеть: <ul style="list-style-type: none"> <li>• навыками выбора методов и условий приготовления исследуемой пробы;</li> <li>• навыками анализа взаимосвязи технологических режимов и качества проведения экспериментальных исследований.</li> </ul> <i>самостоятельно проводить</i> экспериментальные исследования по изучению свойств материалов <ul style="list-style-type: none"> <li>•</li> </ul>
ПК-2	Способен осуществлять выполнение экспериментов и оформление результатов исследований	

### IV. Содержание и структура дисциплины

Объем дисциплины составляет 2 зачетных единицы.

Занятия проводятся только в очной форме обучения. с применением дистанционного контроля самостоятельной работы студентов через ЭЛИОС факультета. Электронной и дистанционной форм обучения не предусматривается.

Из них 72 часов – практическая подготовка

Форма промежуточной аттестации: зачёт

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

№ п/п	Раздел дисциплины/темы	Семестр	Всего часов	Из них практическая подготовка обучающихся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся, практическую подготовку и трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости; Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
					Контактная работа преподавателя с обучающимися		Самостоятельная работа		
					Лекции	Семинарские /практические /лабораторные занятия			
1	Раздел 1. Качественный спектральный анализ веществ.	6	24	10		10		4	отчёт, защита отчёта
2	Раздел 1. Спектроскопические методы измерения температуры дугового разряда	6	26	10		10		6	отчёт, защита отчёта
3	Раздел 2. Полуколичественный спектральный анализ	6	26	10		10		6	отчёт, защита отчёта
4	Раздел 2. Количественный спектральный анализ	6	24	10		10		4	отчёт, защита отчёта
	Контроль		8						
<b>Итого часов</b>			<b>68</b>	<b>40</b>		<b>40</b>		<b>20</b>	зачёт

#### 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.)		
6	Оформление отчётов по лабораторным работам	Обработка полученных экспериментальных данных, анализ результатов	В течение семестра	6	Отчёт	[1-3]
6	Подготовка к защите отчётов	Формулирование выводов по результатам работы. Работа с методическим материалом к каждой работе	В течение семестра	14	Собеседование	[1-3]
Общий объем самостоятельной работы по дисциплине (час)				<b>20</b>		

### 4.3. Содержание учебного материала

#### Раздел 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ СПЕКТРОСКОПИИ

**Тема 1. Основные положения спектроскопии** Основные квантовые законы. Уровни энергии, переходы между ними. Деление спектроскопии по свойствам излучения, по свойствам АС (атомных систем)

**2. Основные характеристики уровней энергии** Невырожденные и вырожденные уровни энергии. Квантование моментов количества движения и их проекций. Магнитные моменты и их связь с механическими моментами. Прецессия и взаимодействие магнитных моментов.

**3. Симметрия АС и их уровней энергии** Общая характеристика симметрии АС. Основные понятия теории групп и важнейшие группы. Невырожденные и вырожденные типы симметрии.

**4. Вероятности переходов и правила отбора** Вероятности спонтанных и вынужденных переходов. Время жизни возбужденных состояний. Дипольное излучение. Силы осцилляторов. Естественная ширина уровней энергии и спектральных линий

**5. Интенсивности в спектрах** Мощности испускания и поглощения. Заселенность уровней. Основные законы равновесного излучения. Коэффициенты поглощения. Неравновесные спектры испускания. Контуры спектральных линий и полос. Уширение спектральных линий обусловленное тепловым движением и взаимодействием частиц.

#### Раздел 2. АТОМНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

**6. Уровни энергии и спектры атома водорода** Квантовые числа одноэлектронного атома и степень вырождения его уровней. Зависимость спектров одноэлектронных атомов от заряда и массы ядра. Характеристика стационарных состояний. Правила отбора и вероятности переходов. Тонкая структура уровней энергии и спектральных линий. Сдвиг уровней.

**7. Электронные оболочки атомов и периодическая система элементов.** Квантовые числа электронов в сложном атоме и принцип Паули. Электронные слои и оболочки и их заполнение. Зависимость энергии электронов от азимутального квантового числа. Ход заполнения электронных слоев и оболочек. Свойства элементов с заполненными и незаполненными оболочками. Типы спектров различных элементов.

**8. Одноэлектронные спектры атомов с одним внешним S электроном.** Основной уровень атомов щелочных металлов. Возбужденные уровни и спектральные серии атомов щелочных металлов. Интенсивности в спектрах. Спектры ионов изоэлектронных с атомами щелочных металлов.

**9. Основы общей систематики сложных спектров.** Сложение орбитальных и спиновых моментов и типы связи. Общая характеристика нормальной связи. Термы конфигураций, состоящих из эквивалентных электронов. Термы смешанных конфигураций, содержащих эквивалентные электроны. Мультиплетное расщепление. Мультиплеты в спектрах. (j,j)-связь.

**10. Спектры атомов с двумя внешними S электронами.** Общая характеристика спектров атомов с двумя внешними электронами. Спектр атома гелия. Спектры атомов щелочноземельных металлов. Спектры атомов цинка, кадмия, ртути. Смешанные термы.

**11. Спектры атомов с заполняющимися и заполненными p оболочками.** Общая характеристика спектров с заполняющимися p оболочками. Спектры атомов с одним внешним электроном. Спектры атомов с p оболочками  $p^2$ ,  $p^3$ ,  $p^4$ . Спектры атомов галоидов. Спектры атомов инертных газов.

**12. Спектры атомов с достраиваемыми d и f оболочками.** Особенности спектров атомов с достраиваемыми оболочками. Общая характеристика спектров атомов с достраиваемыми d оболочками. Спектры атомов с d оболочками заполненными менее чем наполовину. Спектры атомов с d оболочками заполненными наполовину. Спектры атомов с d оболочками заполненными более чем наполовину. Спектры атомов с внешними S электронами и заполненной d оболочкой. Общая характеристика спектров атомов с достраиваемыми f оболочками. Спектры атомов с f оболочками заполненными менее чем наполовину. Спектры атомов с f оболочками заполненными наполовину. Спектры атомов с f оболочками заполненными более чем наполовину.

**13. Рентгеновские спектры и Терагерцевая спектроскопия.** Общая характеристика рентгеновских спектров поглощения и испускания. Терагерцевая спектроскопия. Физические принципы ТГц источников и приемников. Квантовокаскадный ТГц лазер. Применение ТГц излучения. Временная ТГц спектроскопия.

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

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1.	<b>Тема 9</b>	Качественный спектральный анализ	12	Вопросы к зачету	ПК-1 ПК-2
2.	<b>Тема 10</b>	Количественный спектральный анализ	12	отчеты	ПК-1 ПК-2
3.	<b>Тема 11</b>	Полуколичественный спектральный анализ	12	Вопросы к зачету	ПК-2 ПК-1
4	<b>Тема 12</b>	Измерение температуры плазмы дуги спектроскопическим методом	12	отчеты	ПК1 ПК-2

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

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
1.	Разделы 1-2	Аудиторная	Изучить теоретическую часть лабораторной работы	Методическое описание, авторское пособие [1-3]	4

2.	Разделы 1-2	Аудиторная	Изучить оптическую схему спектрофотометра ИСП-28. Познакомиться с электрической схемой дугового генератора ИВС-28 . Подготовиться к началу эксперимента	Методическое описание, авторское пособие [1-3]	6
3.	Разделы 1-2	Аудиторная	Провести эксперимент. Обработать экспериментальные данные.	Методическое описание, авторское пособие [1-3]	6
4.	Разделы 1-2	Внеаудиторная	оформление отчета; подготовка к защите	Вся рекомендуемая литература	4

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

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие студентов в практических занятиях, выполнение контрольных заданий, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Самостоятельная работа реализуется:

- 1) Непосредственно в процессе аудиторных занятий, при выполнении лабораторных 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 оформлении отчетов лабораторных работ и подготовке к их защите.

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.

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

Курсовые работы не планируются.

## V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

### а) основная литература

1. М.А. Ельяшевич Атомная и молекулярная спектроскопия, изд.2.М.: Эдиториал, УРСС, 2001 (ISBN 5-8360-0177-4)
2. Спектроскопия атомов и молекул в конденсированных средах: учеб. Пособие/ Е.А. Раджабов.-Иркутск:Изд-во ИГУ, 2013.- 107 с.
3. Атомный эмиссионный спектральный анализ: метод. указ. лаб.раб./Л.И.Щепина, В.В. Лызганов.- Иркутск: Изд-во ИГУ. 2018.-44 с.

### Дополнительная

3. <http://www.nsu.ru/materials/ssl/text/encyclopedia/spectroscopy.html>
4. Труды по атомной спектроскопии на сайте <http://www.samaranews.ru/bes.phtml>
5. Библиотека Института спектроскопии РАН
6. Зайдель А.Н. Прокофьев В.К. Райский С.М.Таблицы спектральных линий.1982.
7. Калинин С.К., Замятин Г.М., Перевертун В.М. и др. Атлас спектральных линий (для кварцевого спектрографа). Изд.Наука. Алма-Ата. 1988.
8. И.Куба, Л.Кучера, Ф. Плзак, М.Дворжак, Я Мраз. Таблицы совпадений по атомной спектроскопии, 2000г.
9. <http://www.spectroscopymag.com/spectroscopy/>

г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы \_\_ Читальный электронный зал “Библиотех\_” \_\_\_\_\_

д) В системе образовательного портала ИГУ (<http://educa.isu.ru/>) размещены методические материалы и задания по данному курсу

## VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

### 6.1. Учебно-лабораторное оборудование:

Спектральные приборы ИСП-22, ИСП-28. Генераторы дугового разряда ДГ-2 и искрового разряда ИГ-3. Микроденситометр MD-100. Стилоскоп СЛ-11.

**Материалы:** Образцы сталей и сплавов. Набор эталонов на основе дюралюминия. Соли, содержащие элементы периодической системы Д.М.Менделеева. Высококонтрастная универсальная пленка AGFA производство Бельгии. Спектральные фотопластинки. Графитовые электроды.

**6.2. Программное обеспечение:**

- стандартные сервисы MS Windows для работы в глобальной сети Интернет;
- Microsoft Word и Microsoft Excel в составе пакета MS Office. Лицензия на новые версии периодически обновляется Центром новых информационных технологий ИГУ по всему университету

**VII. Образовательные технологии:**

Образовательные технологии, используемые при реализации различных видов учебной работы:

Проведение занятий в интерактивной форме, в форме ролевых игр, например, лабораторная работа “ Качественный спектральный анализ.” Разбор конкретных ситуационных задач, например, лабораторная работа “ Количественный спектральный анализ” и др. Мастер классы проходят в виде участия студентов в Международной школе по люминесценции и лазерной физике.

**VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации****Оценочные средства (ОС):**

1. Оценочные средства для входного контроля ( в виде тестов с закрытыми или открытыми вопросами).
2. Оценочные средства текущего контроля формируются в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе университета (в виде тестов, ситуационных задач) и др. Назначение оценочных средств ТК - выявить сформированность компетенций –ПК-1, ПК-2 .

**Перечень контрольных вопросов для самостоятельной работы студентов**

1. Найти основной терм для нормальной конфигурации урана U ( $5f^3 6d 7s^2$ ).
2. Определить возможные термы для конфигурации эквивалентных электронов  $p^2$ .
3. Рассмотреть конфигурацию марганца Mn ( $3d^5 4p^2$ ) и определить ее терм.
4. Расшифровать запись для атома кислорода (исходная  $1s^2 2s^2 2p^4$  конфигурация) :  $2p^3(^4S)3s^5S$

1. Найти основной терм для нормальной конфигурации нептуний Np ( $f^4 ds^2$ ).
2. Определить возможные термы для конфигурации эквивалентных электронов  $p^5$ .
3. Рассмотреть конфигурацию марганца Mn ( $3d^5 4p^2$ ) и определить ее терм.

4. Расшифровать запись для атома кислорода (исходная  $1s^2 2s^2 2p^4$  конфигурация) :  $2p^3(^4S)3s^3S$ .

1. Найти основной терм для нормальной конфигурации урана U ( $5f^3 6d 7s^2$ ).

2. Определить возможные термы для конфигурации эквивалентных электронов  $p^2$ .

3. Рассмотреть конфигурацию марганца Mn ( $3d^5 4p^2$ ) и определить ее терм.

4. Расшифровать запись для атома кислорода (исходная  $1s^2 2s^2 2p^4$  конфигурация) :  $2p^3(^4S)3s^5S$

1. Найти основной терм для нормальной конфигурации берклиев (f<sup>8</sup>d s<sup>2</sup>).

2. Определить возможные термы для конфигурации эквивалентных электронов  $p^1$ .

3. Рассмотреть конфигурацию марганца Mn ( $3d^5 4p^2$ ) и определить ее терм.

4. Расшифровать запись для атома кислорода (исходная  $1s^2 2s^2 2p^4$  конфигурация) :  $2p^3(^2P)3s^3P$

1. Найти основной терм для нормальной конфигурации кюрий Cm ( $5f^7 6d 7s^2$ ).

2. Определить возможные термы для конфигурации эквивалентных электронов  $p^5$ .

3. Рассмотреть конфигурацию марганца Mn ( $3d^5 4p^2$ ) и определить ее терм.

4. Расшифровать запись для атома кислорода (исходная  $1s^2 2s^2 2p^4$  конфигурация) :  $2p^3(^2P)3s^1P$

1. Найти основной терм для нормальной конфигурации урана U ( $5f^3 6d 7s^2$ ).

2. Определить возможные термы для конфигурации эквивалентных электронов  $p^2$ .

3. Рассмотреть конфигурацию кобальта ( $d^7 p^2$ ) и определить ее терм.

4. Расшифровать запись для иона марганца (исходная  $3d^5 4s^2$  конфигурация) :  $3d^5(^6S)4s^5S$

**Примечание:** Студент готов к зачету, если он знает и понимает основные формулы и законы атомной спектроскопии, умеет их применять для решения задач, знает методы решения задач.

### 8.1.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации (в форме зачета).

*Перечень основных понятий и определений:*

Спектральный анализ (СА). Принципиальная оптическая схема спектрального прибора. Характеристики спектральных приборов. Зависимость освещенности спектра от ширины входной щели. Нормальная

ширина щели. Выбор рациональных условий освещения щели и регистрация спектра. Явление “виньетирования”. Однолинзовый конденсор. Качественный СА. Схема генератора для питания дуги переменного тока. Количественный СА. Схема высоковольтной конденсированной искры. Изучение зависимости фактора контрастности от времени проявления и  $\lambda$ . Характеристическая кривая. Уравнение Шеппарда-Миза. Формула Ламакина-Шейбе. Метод трех эталонов.

**Разработчик:**

  
 \_\_\_\_\_ (подпись)      \_\_\_\_\_ доцент \_\_\_\_\_ (занимаемая должность)      \_\_\_\_\_ Л.И. Щепина \_\_\_\_\_ (инициалы, фамилия)

Программа рассмотрена на заседании кафедры \_\_\_\_\_ общей и экспериментальной физики

\_\_\_\_\_ (наименование)  
 «\_30> \_августа \_\_\_\_\_ 2021 \_\_г.

Протокол № 1\_\_

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_ Гаврилюк А.А.