



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
ФГБОУ ВО «ИГУ»  
**Кафедра** общей и экспериментальной физики



**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

**Наименование дисциплины (модуля):** Б1.В.ОД.7.1 ЭМИССИОННЫЙ  
СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

**Направление подготовки:** 11.03.04 Электроника и наноэлектроника \_\_\_\_\_

**Тип образовательной программы:** прикладной бакалавриат

**Направленность (профиль):** «Электроника и наноэлектроника»

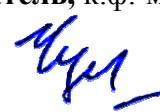
**Квалификация (степень) выпускника:** бакалавр

**Форма обучения:** очная

Согласовано с УМК физического факультета

Протокол № 25  
от «21» апреля \_\_\_\_\_ 2020 г.

Зам.председатель, к.ф.-м.н, доцент

В.В. Чумак 

Рекомендовано кафедрой:  
общей и экспериментальной физики

Протокол № 6  
от «13» апреля \_\_\_\_\_ 2020 г.

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

Гаврилюк 

Иркутск 2020 г.

## Содержание

	стр.
1. Цели и задачи дисциплины (модуля)	3
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП.	3
3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)	3
4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы	4
5. Содержание дисциплины (модуля)	4
5.1 Содержание разделов и тем дисциплины (модуля)	5
5.2 Разделы дисциплины (модуля) и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами (модулями)	6
5.3 Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий	6
6. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ.	7
7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)	8
8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля) :	
а) основная литература;	8
б) дополнительная литература;	8
в) программное обеспечение;	8
г) базы данных, поисково-справочные и информационные системы	8
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля).	8
10. Образовательные технологии	9
11. Оценочные средства. (ОС).	9
12. Приложение 1	

**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.

## **2. Место дисциплины в структуре ООП: . Место дисциплины в учебном плане и общая трудоемкость**

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. ОД7 образовательной программы по направлению 11.03.04 Электроника и наноэлектроника. При изучении этой дисциплины используются знания, приобретенные при изучении «Атомной физики» и «Оптики». Дисциплина «Атомная спектроскопия» является базовой для изучения таких дисциплин как «Квантовая физика» «Теория конденсированного состояния».

Общая трудоемкость дисциплины – 2 зачетных единицы.

## **3. Требования к результатам освоения дисциплины:**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций: способность осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом

формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий (ОПК-6); способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики (ОПК-1); способность выполнять работы по технологической подготовке материалов и изделий электронной техники (ПК-8).

В результате изучения дисциплины студент должен:

*знать:* теоретические основы, основные понятия, законы и модели атомной физики;

*уметь:* понимать, излагать и критически анализировать базовую общефизическую информацию; пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моделями физики;

*владеть:* методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической информацией.

#### 4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы (разделяется по формам обучения)

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц	Семестры			
		5			
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	72/2	72/2			
В том числе:	-	-	-	-	-
Лекции					
Практические занятия (ПЗ)					
Семинары (С)					
Лабораторные работы (ЛР)	36	36			
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	36	36			
В том числе:	-	-	-	-	-
Самостоятельное выполнение заданий в лабораторной работе, оформление отчета	36	36			
Расчетно-графические работы					
Тесты					
<i>Другие виды самостоятельной работы</i>					
Вид промежуточной аттестации (зачет)					
Контактная работа (всего)	40	40			
Общая трудоемкость	часы	72	72		
	зачетные единицы	2	2		

#### 5. Содержание дисциплины

## 5.1. Содержание разделов и тем дисциплины (модуля). Все разделы и темы нумеруются.

### 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. Контурные 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. Квантовое каскадный ТГц лазер. Применение ТГц излучения. Временная ТГц спектроскопия.

## 5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми

(предыдущими) дисциплинами

№ п/п	Наименование обеспечиваемых (последующих) дисциплин	№ № разделов и тем данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых (последующих) дисциплин (вписываются разработчиком)								
		1	2	6						
1.	Квантовая механика	1	2	6						
2.	Физика твердого тела	1	2	3	4	5				
3.	Основы электроники	7	8	9	10	11	12	13		

## 5.3. Разделы и темы дисциплин и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела	Наименование темы	Виды занятий в часах					
			Лекц.	Практ. зан.	Семина	Лаб. зан.	СРС	Всего
1.	<b>Общие вопросы спектроскопии</b>	Основные квантовые законы					3	3
2.		Основные характеристики уровней энергии					3	3
3.		Симметрия АС и их уровней энергии					3	3
4.		Вероятности переходов и правила отбора					3	3
5.		Интенсивности в спектрах					3	3
6.	<b>Атомная спектроскопия</b>	Уровни энергии и					3	3

		спектры атома водорода						
7.		Электронные оболочки атомов и периодическая система элементов.					4	4
8.		Одноэлектронные спектры атомов с одним внешним S электроном.					4	4
9.		Основы общей систематики сложных спектров.				9	2	11
10		Спектры атомов с двумя внешними S электронами				9	2	11
11		Спектры атомов с заполняющимися и заполненными оболочками.				9	2	11
12		Спектры атомов с достраиваемыми d и f оболочками.				9	2	11
13	<b>Терагерцевая спектроскопия</b>	Рентгеновские спектры и Терагерцевая спектроскопия.					2	2

#### 6. Перечень 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	9	Вопросы к зачету	ОПК-1 ПК-8
2.	<b>Тема 10</b>	Количественный спектральный анализ	9	Тесты	ОПК-6, ПК-8

3.	<b>Тема 11</b>	Полуколичественный спектральный анализ	9	Вопросы к зачету	ОПК-6 ОПК-1
4	<b>Тема 12</b>	Измерение температуры плазмы дуги спектроскопическим методом	9	тесты	ПК8

7. **Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_ не предусматривается \_\_\_\_\_

#### 8. 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.

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  
<http://www.gpntb.ru/win/elbib/putevod>
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/>

в) программное обеспечение \_\_\_\_ Origin, Grafula, Excel.

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

#### 9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля):

**Оборудование:** Спектральные приборы ИСП-22, ИСП-28. Генераторы дугового разряда ДГ-2 и искрового разряда ИГ-3. Микроденситометр МД-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. Графитовые электроды.

## 10. 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.

## 11. Оценочные средства (ОС):

11.1. Оценочные средства для входного контроля ( в виде тестов с закрытыми или открытыми вопросами).

11.2. 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 –ОПК-1, ОПК-2, ПК-5.

### 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 ( $f^8 d s^2$ ).
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) :  $3d^5(^6S)4s^5S$

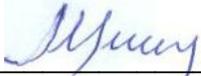
**Примечание:** Студент готов к зачету, если он знает и понимает основные формулы и законы атомной спектроскопии, умеет их применять для решения задач, знает методы решения задач.

### 11.3. 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)

«13» \_апреля\_\_\_\_\_ 2020 \_\_г.

Протокол № 6

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_



\_\_\_\_\_ Гаврилюк А.А.