

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям

«30» ноября 2020 г. О.Н. Здрок

Регистрационный № УД- 9208 уч.

Оптические спектры атомов

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:**

1-31 04 07 Физика наноматериалов и нанотехнологий

2020 г.

Учебная программа составлена на основе Образовательного стандарта ОСВО 1-31 04 07-2013, учебных планов G31-218/уч., №G31и-219/уч. от 20.02.2018 г

СОСТАВИТЕЛИ:

К.Ф. Ермалицкая – доцент кафедры лазерной физики и спектроскопии физического факультета Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

РЕЦЕНЗЕНТ:

Дик В.П. – заместитель заведующего Центром «Оптическое дистанционное зондирование» институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, кандидат физико-математических наук.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой лазерной физики и спектроскопии физического факультета Белорусского государственного университета
(протокол № 20 от 20 июня 2020 г.);

Советом физического факультета
(протокол № 12 от 25 июня 2020 г.)

Зав.кафедрой _____



Толстик А.Л.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины – создание фундаментальной базы знаний о природе атомных спектров; освоение студентами основных разделов спектроскопии, на основе которых в последующем будут строиться спецкурсы по лазерной физике и спектроскопии и нанофотонике.

Задачи учебной дисциплины:

1. Дать представление о разделах оптики, которые относятся к теории атомных спектров.
2. Рассмотреть общие вопросы спектроскопии, являющиеся теоретической базой электронного строения атомов и молекул, а также изучаются закономерности в спектрах атомов с различной электронной конфигурацией и влияние внешних электрических и магнитных полей на оптические спектры атомов.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием: дисциплина «Оптические спектры атомов» дает возможность получить студентам знания, которые должны позволить им грамотно не только выбрать из имеющегося арсенала приборов и средств измерений, необходимые для получения экспериментальных данных при выполнении курсовых и дипломных работ, но и оптимизировать режимы их работы. Кроме того, студенты, после усвоения материала дисциплины, должны уметь критически оценивать результаты экспериментальных спектроскопических исследований, приведенных в различных научных изданиях.

Учебная дисциплина относится **к циклу** дисциплин специализаций компонента учреждения высшего образования.

Связи с другими учебными дисциплинами, включая учебные дисциплины компонента учреждения высшего образования, дисциплины специализации и др: Программа дисциплины основывается на знаниях и представлениях, полученных при изучении дисциплин «Электричество и магнетизм», «Оптика», «Радиоэлектроника». Сведения, приобретенные в ходе изучения дисциплины, важны для более глубокого и качественного усвоения дисциплин «Физика лазеров» и «Молекулярная спектроскопия» и «Люминесценция».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Оптические спектры атомов» должно обеспечить формирование следующих академических, социально-личностных и профессиональных компетенций:

Академические компетенции:

- АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.
- АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.
- АК-3. Владеть исследовательскими навыками.

- АК-4. Уметь работать самостоятельно.
- АК-5. Быть способным порождать новые идеи (обладать креативностью).
- АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.
- АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.
- АК-8. Обладать навыками устной и письменной коммуникации.
- АК-9. Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

Социально-личностные компетенции:

- СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.
- СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.
- СЛК-5. Быть способным к критике и самокритике.
- СЛК-6. Уметь работать в команде.

Профессиональные компетенции:

- ПК-1. Применять знания теоретических и экспериментальных основ физики, современных технологий и материалов, методы исследования физических объектов, методы измерения физических величин, методы автоматизации эксперимента.
- ПК-5. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиям, проектам и решениям.
- ПК-8. Пользоваться государственными языками Республики Беларусь и иными иностранными языками как средством делового общения.
- ПК-9. Пользоваться глобальными информационными ресурсами.
- ПК-10. Реализовывать методы защиты производственного персонала и населения в условиях возникновения аварий, катастроф, стихийных бедствий и обеспечения радиационной безопасности при осуществлении научной, производственной и педагогической деятельности.
- ПК-11. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиям, проектам и решениям.
- ПК-12. Определять цели инноваций и способы их достижения.
- ПК-13. Применять методы анализа и организации внедрения инноваций в научно-производственной, научно-педагогической и научно-технической деятельности.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- основные положения теории электромагнитных волн;
- основные свойства и характеристики электромагнитных волн оптического диапазона;
- спектральные приборы;

- схемы возможной обработки спектральной информации;
- связь между основными оптическими характеристиками спектрального прибора;
- основные задачи в технике спектрального анализа;

уметь:

- прогнозировать эффекты и явления, возникающие при распространении электромагнитных волн в различных средах;
- обосновать выбор необходимого прибора и метода для решения поставленной исследовательской задачи спектрального анализа;

владеть:

- базовыми принципами и методами расчета эффектов и явлений, возникающих при распространении электромагнитных волн в различных средах и структурных элементах;
- базовыми принципами и методами расчета истинного контура спектральной линии по наблюдаемому.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 6 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Оптические спектры атомов» отведено:

- для очной формы получения высшего образования – 44 часа, в том числе 20 аудиторных часов, из них: лекции – 18 часов, управляемая самостоятельная работа – 2 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 1 зачетная единица.

Форма текущей аттестации – зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Введение в атомную спектроскопию. Основные характеристики уровней энергии. Вероятности переходов и правила отбора

Краткий исторический обзор развития спектроскопии. Деление спектроскопии по свойствам излучения, по свойствам атомных систем. Основные квантовые законы. Природа спектральных термов. Момент количества движения - основная характеристика атома. Сложение моментов. Векторная модель. Принцип соответствия.

Вырожденные и невырожденные уровни энергии. Значения физических величин в стационарных состояниях. Квантование моментов количества движения и их проекций. Сложение моментов количества движения. Магнитные моменты и их связь с механическими моментами. Прецессия и взаимодействие магнитных моментов. Вероятности спонтанных и вынужденных переходов. Время жизни возбужденных состояний. Электрическое и магнитное дипольное излучение. Квадрупольное излучение. Сила осциллятора. Правила отбора.

Тема 2 Спектральная линия.

Естественная ширина уровней энергии и спектральных линий. Контурные спектральных линий и полос. Однородное и неоднородное уширение спектральных линий. Интенсивность спектральных линий.

Тема 3. Уровни энергии и спектры атомов водорода и водородоподобных атомов. Спектры атомов щелочных металлов.

Квантовые числа одноэлектронного атома и степень вырождения его уровней. Зависимость спектров одноэлектронных атомов от заряда и массы ядра. Характеристика стационарных состояний одноэлектронного атома. Правила отбора и вероятность для одноэлектронных атомов.

Основной уровень атомов щелочных металлов. Возбужденные уровни и спектральные серии атомов щелочных металлов. Дублетная структура уровней щелочных металлов. Интенсивности в спектрах. Спектры ионов, изоэлектронных с атомами щелочных металлов.

Тема 4. Систематика сложных спектров. Типы связи.

Сложение орбитальных и спиновых моментов и типы связи. Нормальная связь. Термы конфигураций, состоящих из эквивалентных электронов. Термы смешанных конфигураций, содержащие эквивалентные электроны. Мультиплетное расщепление.

Тема 5. Спектр атома гелия.

Общая характеристика спектров с двумя s-электронами. Спектр атома гелия. Правила отбора. Пара- и ортогелий. Спектр изоэлектронного ряда атома гелия.

Тема 6 Спектры атомов с двумя внешними s-электронами.

Спектры атомов щелочноземельных элементов. Спектр атома цинка. Спектр атома кадмия. Спектр атома ртути. Смещенные термы.

Тема 7. Спектры атомов с заполняющимися и заполненными p-оболочками.

Общая характеристика спектров атомов с заполняющимися p-оболочками. Спектры атомов с одним внешним p-электроном. Спектры атомов с оболочками p^2, p^3, p^4 .

Тема 8. Спектры атомов с достраивающимися d- и f-оболочками.

Общая характеристика спектров атомов с d-оболочками, заполненными менее, чем наполовину, наполовину и более, чем наполовину, спектры атомов с внешним s-электронами, помимо заполненной d-оболочки.

Общая характеристика спектров атомов с достраивающимися f-оболочками, заполненными менее, чем наполовину, наполовину и более, чем наполовину.

Тема 9. Сверхтонкая структура спектральных линий. Рентгеновские спектры.

Моменты атомных ядер и сверхтонкая структура спектральных линий. Связь сверхтонкой структуры спектральных линий с изотопным составом элементов. Изотопический сдвиг.

Общая характеристика рентгеновских спектров поглощения и испускания. Регулярные и иррегулярные дублеты. Внутренняя конверсия рентгеновского излучения и недиаграммные линии. Интенсивности в рентгеновских спектрах.

Тема 10. Явление Зеемана и магнитный резонанс. Явление Штарка

Расщепление уровней энергии в магнитном поле. Общая картина зеемановского расщепления спектральных линий в слабом поле. Типы зеемановских расщеплений спектральных линий. Явление зеемана в сильных и промежуточных полях. Общая характеристика магнитного резонанса.

Общая характеристика явления Штарка. Явление Штарка для атома водорода. Штарковское уширение спектральных линий.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования с применением дистанционных образовательных технологий

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Введение в атомную спектроскопию. Основные характеристики уровней энергии. Вероятности переходов и правила отбора	2						Устный опрос
2	Спектральная линия	2						Устный опрос,
3	Уровни энергии и спектры атомов водорода и водородоподобных атомов. Спектры атомов щелочных металлов	2						Устный опрос, Учебная дискуссия
4	Систематика сложных спектров. Типы связи	2						Устный опрос
5	Спектр атома гелия	2						Устный опрос
6	Спектры атомов с двумя внешними s-электронами	2						Устный опрос, Учебная дискуссия
7	Спектры атомов с заполняющимися и заполненными p-оболочками	2						Устный опрос, Учебная дискуссия
8	Спектры атомов с	2						Устный опрос,

	достраиваемыми d- и f-оболочками							Учебная дискуссия
9	Сверхтонкая структура спектральных линий. Рентгеновские спектры	2						Устный опрос, Учебная дискуссия
10	Явление Зеемана и магнитный резонанс. Явление Штарка						2	Устный опрос, Контрольная работа
Итого		18					2	зачет

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Атомная и молекулярная спектроскопия. Молекулярная спектроскопия / М. А. Ельяшевич ; предисл. чл.-корр. РАН Л. А. Грибова .Изд. 7-е . Москва : URSS : Ленанд, 2015. 527 с.
2. Атомная и молекулярная спектроскопия. Атомная спектроскопия / М. А. Ельяшевич ; предисл. чл.-корр. РАН Л. А. Грибова . Изд. 6-е . Москва: URSS : ЛИБРОКОМ, 2017. 415 с.
3. Атомная и молекулярная спектроскопия. Общие вопросы спектроскопии / М. А. Ельяшевич ; предисл. чл.-корр. РАН Л. А. Грибова . Изд. стер. Москва : URSS : ЛИБРОКОМ, 2014 . 236 с.
4. Молекулярная спектроскопия: основы теории и практика: Учебное пособие / Под ред. проф. Ф.Ф. Литвина. - М.: НИЦ Инфра-М, 2013. - 263 с.
5. Фриш С.Э. Оптические спектры атомов: Учебное пособие. - СПб.: Издательство "Лань", 2017. - 656 с.

Перечень дополнительной литературы

1. Шпольский Э.В. Атомная физика, т.1. Введение в атомную физику. - СПб.: Издательство "Лань", 2010
2. Камалова Д.И. Лекции по прикладной инфракрасной спектроскопии: учебное пособие / Д.И. Камалова, М.Х. Салахов. - Казань: Казанский государственный университет, 2009. 167 с.
3. Летохов В.С. Нелинейные селективные фотопроцессы в атомах и молекулах М.: Наука, 1984.
4. Сизых А.Г. Спектроскопия. Ч.1.Атомная спектроскопия. Учебное пособие. Краснояр.гос.ун-т. – Красноярск, 2004.
5. Вайнштейн Л.А. Атомная спектроскопия (спектры атомов и ионов). – М.: Изд-во МФТИ, 2011. – 235 с.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

1. Устные опросы.
2. Контрольная работа.
3. Учебная дискуссия

Формой текущей аттестации по дисциплине «Оптические спектры атомов» учебным планом предусмотрен зачет

Итоговая оценка формируется на основе:

1. Правил проведения аттестации студентов, курсантов, слушателей при освоении содержания образовательных программ высшего образования (постановление Министерства Образования Республики Беларусь № 53 от 29 мая 2012 г);

2. Положения о рейтинговой системе оценки знаний студентов по дисциплине в Белорусском государственном университете приказ № 189-ОД от 31.03.2020.

3. Критериев оценки знаний и компетенций студентов по 10-бальной шкале (Письмо Министерства образования Республики Беларусь 21-04-01/105 от 22.12.2003).

При формировании итоговой оценки используется рейтинговая оценка знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая оценка предусматривает использование весовых коэффициентов для текущего контроля знаний и текущей аттестации студентов по дисциплине.

Весовые коэффициенты, определяющие вклад текущего контроля знаний и текущей аттестации в рейтинговую оценку:

- Контрольная работа – 40 %;
- Устный опрос – 20 %;
- Учебная дискуссия – 20 %.

К зачету допускаются студенты, чья оценка текущей успеваемости не менее 4 баллов.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

Тема 10. Явление Зеемана и магнитный резонанс. Явление Штарка.

Расщепление уровней энергии в магнитном поле. Общая картина зеемановского расщепления спектральных линий в слабом поле. Типы зеемановских расщеплений спектральных линий. Явление Зеемана в сильных и промежуточных полях. Общая характеристика магнитного резонанса.

Общая характеристика явления Штарка. Явление Штарка для атома водорода. Штарковское уширение спектральных линий.

Форма контроля – контрольная работа.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса по дисциплине «Оптические спектры атомов» используется *метод учебной дискуссии*, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме. При представлении тематических презентаций по темам управляемой самостоятельной работы студенты

принимают участие в групповой учебной дискуссии, анализируют представленную информацию, высказывают свое мнения о недостатках и достоинствах рассмотренных спектральных приборов и оптоэлектронных систем, высказывают свои предположения о перспективных направлениях развития данных отраслей.

Использование метода обеспечивает появление нового уровня понимания изучаемых тем, применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

Для организации самостоятельной работы студентов по учебной дисциплине «Оптические спектры атомов» следует использовать комплекс учебных и учебно-методических материалов, включающий методические указания к подготовке рефератов и тематических презентаций, материалы текущего контроля и текущей аттестации, вопросы для подготовки к зачету, перечень кейсов и вводные инструкции к ним, вопросы для самоконтроля, список рекомендуемой литературы, дополнительных информационных ресурсов, размещенных на портале eduphys.bsu.by.

Задания управляемой самостоятельной работы по учебной дисциплине «Оптические спектры атомов» включают в себя три модуля различной сложности в зависимости от уровня подготовки студента:

1. Устные опросы по теме лекции.
2. Участие в учебной дискуссии.
3. Контрольные работы.

Примерный перечень вопросов контрольной работы

1. Уровни энергии и спектры атомов водорода и водородоподобных атомов.
2. Квантовые числа одноэлектронного атома и степень вырождения его уровней.
3. Зависимость спектров одноэлектронных атомов от заряда и массы ядра.
4. Характеристика стационарных состояний одноэлектронного атома.
5. Правила отбора и вероятность для одноэлектронных атомов.
6. Явление Зеемана и магнитный резонанс.
7. Расщепление уровней энергии в магнитном поле.
8. Общая картина зеемановского расщепления спектральных линий в слабом поле.
9. Типы зеемановских расщеплений спектральных линий.

10. Явление Зеемана в сильных и промежуточных полях.
11. Общая характеристика магнитного резонанса.
12. Явление Штарка.
13. Общая характеристика явления Штарка.
14. Явление Штарка для атома водорода.
15. Штарковское уширение спектральных линий.

Примерный перечень тем учебных дискуссий

1. Спектр атома гелия.
2. Спектр атома лития.
3. Спектр атома натрия.
4. Спектра атома калия.
5. Спектр атома меди.
6. Спектр атома цинка.
7. Спектр атома железа.
8. Спектр атома золота.
9. Спектр атома серебра.
10. Спектр атома ртути.
11. Спектр атома урана.
12. Спектр атома неона.
13. Спектр атома аргона.
14. Спектр атома кислорода.
15. Спектр атома углерода.
16. Спектра атома свинца.
17. Спектр атома олова.

Примерный перечень вопросов к зачету

1. Основные характеристики уровней энергии.
2. Вырожденные и невырожденные уровни энергии.
3. Значения физических величин в стационарных состояниях.
4. Квантование моментов количества движения и их проекций.
5. Сложение моментов количества движения. Магнитные моменты и их связь с механическими моментами. Прецессия и взаимодействие магнитных моментов.
6. Вероятности переходов и правила отбора. Вероятности спонтанных и вынужденных переходов. Время жизни возбужденных состояний.
7. Электрическое и магнитное дипольное излучение. Квадрупольное излучение. Сила осциллятора. Правила отбора.
8. Спектральная линия. Естественная ширина уровней энергии и спектральных линий. Контуры спектральных линий и полос.
9. Однородное и неоднородное уширение спектральных линий. Интенсивность спектральных линий.

10. Уровни энергии и спектры атомов водорода и водородоподобных атомов. Квантовые числа одноэлектронного атома и степень вырождения его уровней.
11. Зависимость спектров одноэлектронных атомов от заряда и массы ядра. Характеристика стационарных состояний одноэлектронного атома. Правила отбора и вероятность для одноэлектронных атомов.
12. Спектры атомов щелочных металлов. Основной уровень атомов щелочных металлов. Возбужденные уровни и спектральные серии атомов щелочных металлов.
13. Дублетная структура уровней щелочных металлов. Интенсивности в спектрах. Спектры ионов, изоэлектронных с атомами щелочных металлов..
14. Систематика сложных спектров. Типы связи. Сложение орбитальных и спиновых моментов и типы связи. Нормальная связь.
15. Термы конфигураций, состоящих из эквивалентных электронов. Термы смешанных конфигураций, содержащие эквивалентные электроны. Мультиплетное расщепление.
16. Спектр атома гелия. Общая характеристика спектров с двумя s-электронами. Спектр атома гелия. Правила отбора. Пара- и ортогелий. Спектр изоэлектронного ряда атома гелия.
17. Спектры атомов с заполняющимися и заполненными p-оболочками. Общая характеристика спектров атомов с заполняющимися p-оболочками. Спектры атомов с одним внешним p-электроном.
18. Спектры атомов с оболочками p^2, p^3, p^4 .
19. Спектры атомов галоидов и инертных газов.
20. Спектры атомов с достраивающимися d-оболочками. .
21. Спектры атомов с достраивающимися f-оболочками.
22. Сверхтонкая структура спектральных линий.
23. Моменты атомных ядер и сверхтонкая структура спектральных линий. Связь сверхтонкой структуры спектральных линий с изотопным составом элементов.
24. Изотопический сдвиг.
25. Рентгеновские спектры. Общая характеристика рентгеновских спектров поглощения и испускания. Регулярные и иррегулярные дублеты. Внутренняя конверсия рентгеновского излучения и недиаграммные линии. Интенсивности в рентгеновских спектрах..
26. Явление Зеемана. Расщепление уровней энергии в магнитном поле. Общая картина зеемановского расщепления спектральных линий в слабом поле. Типы зеемановских расщеплений спектральных линий.
27. Явление зеемана в сильных и промежуточных полях. Общая характеристика магнитного резонанса.
28. Явление Штарка. Общая характеристика явления Штарка. Явление Штарка для атома водорода. Штарковское уширение спектральных линий.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Физика лазеров	Кафедра лазерной физики и спектроскопии	Нет	Оставить без изменений (протокол № 20 от 20 июня 2020 г.)
Молекулярная спектроскопия	Кафедра лазерной физики и спектроскопии	Нет	Оставить без изменений (протокол № 20 от 20 июня 2020 г.)

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО
ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на ____ / ____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
_____ (протокол № ____ от _____ 202_ г.)

Заведующий кафедрой

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета
