

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям



О.И. Чуприс

(подпись)

28.06.2018

(дата утверждения)

Регистрационный № УД- 5568 /уч.

**СПЕКТРОСКОПИЯ МОЛЕКУЛЯРНЫХ
И КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР.
ОПТОЭЛЕКТРОНИКА.
СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ**

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальностей
1-31 04 07 Физика наноматериалов и нанотехнологий**

Минск 2018 г.

ОСВО 1-31 04 07-2013, учебных планов G31-218/уч., №G31и-219/уч. от 20.02.2018 г.

СОСТАВИТЕЛЬ:

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

Л.С. Ляшенко — доцент кафедры лазерной физики и спектроскопии Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой лазерной физики и спектроскопии физического факультета
Белорусского государственного университета
(протокол № 18 от 22 июня 2018 г.);

Советом физического факультета
(протокол № 12 от 28 июня 2018 г.).

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа учебной дисциплины «Спектроскопия молекулярных и кристаллических структур. Оптоэлектроника. Современные системы регистрации» разработана для 1-31 04 07 Физика наноматериалов и нанотехнологий.

Цель учебной дисциплины — освоение студентами основных разделов спектроскопии, на основе которых в последующем будут строиться спецкурсы по лазерной физике и спектроскопии и нанофотонике, формирование у студентов комплексных знаний, умений и навыков, необходимых при решении теоретических и практических задач, возникающих в научно-практическом направлении, сформировавшихся на стыке трех наук – физики твердого тела, оптики и микроэлектроники. **Основные задачи** учебной дисциплины — сформировать представление о различных спектрах молекулы (вращательные, колебательные и электронно-колебательные) и особенно об их изменениях при агрегации молекул в нанокластеры и кристаллы, сформировать основные принципы физических явлений и закономерностей, положенных в основу работы различных приборов и устройств оптоэлектроники и интегральной оптики, ознакомление с их конструкцией, технологией изготовления и областями применения.

Подготовка специалистов по новым технологиям и нанофотонике невозможна без знания основ спектроскопии молекул и их нанокластеров. Именно объединение молекул в димеры, тримеры и полимеры существенно изменяет спектр свободной молекулы. Появляются новые квазичастицы, именуемые экситонами и фононами, которые усложняют спектры и позволяют сказать, в каком состоянии находится группа молекул и что с ней происходит при воздействии на нее квантов света.

С другой стороны, специалисту лазерной физики необходимы знания об уровнях энергии молекулы, оптических переходах между этими уровнями, особенно в том случае, если речь идет о квантовых генераторах оптического диапазона. Объяснить работу квантового генератора оптического диапазона невозможно без знания спектра и строения молекулы и вещества, которые используются в качестве активной среды.

Выпускнику кафедры лазерной физики и спектроскопии необходимо владеть основами и методами оптической спектроскопии, где рассматривается широкий круг вопросов образования спектров любого оптического диапазона, начиная от самого короткого, ультрафиолетового, и заканчивая длинноволновым, примыкающим к радиодиапазону. Необходимо научиться читать спектры и применять их в своей практической деятельности.

Оптоэлектроника или оптическая электроника – одно из самых актуальных направлений современной функциональной электроники. Оптоэлектронные приборы, устройства и системы характеризуются уникальной функциональной широтой и эффективно используются в информационных системах нового типа для генерации, преобразования, передачи, хранения и отображения информации. Значение оптоэлектроники в современном научно-техническом

прогнесе трудно переоценить, особенно в сфере компьютерных технологий. Не случайно Нобелевская премия 2000 года присуждена группе ученых, среди которых выдающийся исследователь, академик Ж.И. Алферов, именно за достижения в этой области.

Современная оптоэлектроника опирается на достижения ряда областей науки и техники, среди которых, прежде всего, должны быть выделены физика твердого тела, оптика и микроэлектроника. В своем развитии оптоэлектроника, с одной стороны, дополняет современную электронику, с другой – приобретает все большее самостоятельное значение, вытесняя из элементной базы современной электроники традиционные электронные приборы и устройства.

В оптоэлектронике много различных направлений, что не позволяет в рамках данной дисциплины дать их полное описание. Поэтому основное внимание уделяется физическим принципам работы и технологическим аспектам разработки и создания основных оптоэлектронных устройств. Это источники излучения – полупроводниковые светодиоды и лазеры, приемники излучения, использующие в своей работе внутренний фотоэффект – фотодиоды и фоторезисторы, преобразователи оптического излучения в электрическую энергию и системам связи (ВОЛС). При разработке дисциплины ставилась цель рассмотреть оптоэлектронику как единую область техники, в которой большое число различных направлений, несмотря на кажущуюся несхожесть, объединены физическими и конструктивными основами, материалами, элементной базой. Так, несмотря на функциональное различие, тесно переплелись оптические транспаранты, индикаторы, оптические запоминающие среды; физика диэлектрических волноводов служит базой развития волоконно-оптических линий связи, устройств интегральной оптики, оптоэлектронных датчиков. Новые направления оптоэлектроники чаще всего возникают как слияние – интеграция – ряда уже известных направлений оптоэлектроники и традиционной микроэлектроники: таковы интегральная оптика и волоконно-оптические линии связи; оптические запоминающие устройства, опирающиеся на голографию, лазерную технику; оптические транспаранты, использующие достижения фотоэлектроники и нелинейной оптики.

Материал дисциплины основан на знаниях и представлениях, заложенных в дисциплинах «Электричество и магнетизм», «Оптика». Он является базовым для дисциплин: «Физика лазеров», «Современные лазерные системы», «Лазерная спектроскопия».

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

- основные положения об уровнях энергии молекулы и переходов между ними, ведущих к получению спектра молекул;
- изменение спектров, при объединении молекул в нанокластеры или кристаллы
- основные физические эффекты в оптоэлектронике;
- типы оптоэлектронных излучателей, принцип их работы и основные характеристики;

- типы оптоэлектронных фотоприемников, принцип их работы и основные характеристики;

уметь:

- различать спектры отдельных молекул и их агрегатов в случае образования комплексов;
- выбирать излучатели, фотоприемники, оптопары и другие оптоэлектронные приборы, исходя из поставленной физической (оптической) задачи;

владеть:

- навыками и способами анализа спектров как свободных молекул, так и их агрегатов (нанокластеров).

- базовыми сведениями о основных типах излучателей (полупроводниковых лазеров и светодиодов) и фотоприемников (фотодиодов, ПЗС-матриц, КМОП, ФЭУ и др), используемых в учебном процессе и научно-исследовательской работе в соответствии с профилем обучения.

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Академические компетенции:

- Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.
- Владеть системным и сравнительным анализом.
- Владеть исследовательскими навыками.
- Уметь работать самостоятельно.
- Быть способным порождать новые идеи (обладать креативностью).
- Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.
- Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.
- Обладать навыками устной и письменной коммуникации.
- Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

Социально-личностные компетенции:

- Быть способным к социальному взаимодействию.
- Обладать способностью к межличностным коммуникациям.
- Быть способным к критике и самокритике (критическое мышление).
- Уметь работать в команде.

Профессиональные компетенции:

- Применять знания теоретических и экспериментальных основ физики и математики, методы исследования физических объектов, методы измерения физических величин, методы автоматизации эксперимента.

- Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационные образовательные технологии, физические основы современных технологических процессов, научное оборудование и аппаратуру.

- Проводить планирование и реализацию физического эксперимента используя квантово-механические методы.

- Пользоваться глобальными информационными ресурсами, компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, научно-технической и патентной литературой.

- Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования.

- Применять знания физических основ современных технологий, методы внедрения инноваций в научно-производственной, научно-педагогической и научно-технической деятельности.

Дисциплина «Спектроскопия молекулярных и кристаллических структур. Оптоэлектроника. Современные системы регистрации» относится к циклу дисциплин специализации.

Программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта. Общее количество часов – 106; аудиторное количество часов – 48, из них: лекции – 38, аудиторный контроль УСП – 10. Форма получения высшего образования – очная, дневная. Занятия проводятся на 3-ом курсе в 6-ом семестре. Форма текущей аттестации по учебной дисциплине – экзамен (3 зачетные единицы).

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

1. **Введение в спектроскопию молекулярных и кристаллических структур.** Вопросы, решаемые молекулярной спектроскопией. Виды спектральных молекул. Обоснование видов спектров. Спектры вращательные, колебательные и электронные их области применения. Вероятности оптических переходов. Ширина линий. Соотношение неопределенности. Вероятностный метод расчета интенсивности линий
2. **Вращательные спектры изолированных молекул.** Вращение двухатомной и многоатомной молекулы. Переходы между вращательными уровнями для молекулы как жесткого волчка ИК и КР спектра вращений молекулы. Применение спектров. Вращение многоатомной молекулы как симметричного волчка. Вращательные ИК и спектры КР
3. **Колебательные спектры изолированных молекул и их комплексов.** Колебания двухатомной молекулы. Спектр молекулы. Гармоническое и ангармоническое приближение. Энергия диссоциации молекул.
4. **Многоатомная молекула и ее элементы симметрии.** Теоретико-групповое рассмотрение. Характеристические колебания молекул и их использование для характеристики комплексов. Изменение колебаний при объединении молекул в комплекс (нанокластер). Использование характеристических частот для характеристики кластеров
5. **Электронно-колебательные спектры изолированных молекул и их нанокластеров.** Электронно-колебательные спектры двухатомной молекулы. Принцип Франка-Кондона для двухатомной молекулы. Обозначения электронных состояний.
6. **Химические связи в многоатомной молекуле.** Систематика электронных состояний многоатомной молекулы. Спектры сплошные, полосатые и дискретные. Типы и систематика электронных переходов в многоатомных молекулах. Электронные спектры красителей
7. **Получение нанокластеров при j - спектроскопии.** Электронно-колебательные спектры изолированных молекул и их нанокластеров. Влияние температуры на структуру спектров.
8. **Электронные спектры молекулярных кристаллов.** Объединение молекул в кристалл и появление кристаллических полос поглощения. Экситонные состояния в кристаллах. Экситоны Френкеля. Экситонные спектры поглощения. Влияние температуры на спектры поглощения. Поляризация полос поглощения. Эффект Давыдова. Анализ спектров электронного поглощения молекулярных кристаллов при различных температурах. Электронные спектры нанокластеров на основе полупроводниковых кристаллов. Электронные спектры поглощения полупроводников. Возникновение экситонных состояний. Экситон Ванье-Мотта. Спектры люминесценции полупроводниковых кристаллов. Квантовые состояния носителей заряда в полупроводниковых наночастицах на примере Cd/ZnS.
9. **Введение. Классификация оптоэлектронных приборов. Физические эффекты в оптоэлектронике.** Классификация оптоэлектронных

приборов. Основные достоинства и недостатки оптоэлектронных приборов. Физические эффекты, лежащие в основе оптоэлектронных устройств: электрооптический, акустопотический, пироэлектрический, магнитооптический, нелинейный оптические эффекты, спонтанное и вынужденное рамановское рассеяние, внутренний фотоэффект, фотоЭДС, фотодиффузионный эффект, хромизм, барьерный фотовольтаический эффект.

10. **Излучатели. Светодиоды и лазеры.** Требования к излучателям в оптоэлектронике. Основные характеристики излучателей. Переходы в различных гомо- и гетероструктурах. Светодиоды. Полупроводниковые инжекционные лазеры. Неинжекционные лазеры. Тенденции развития излучателей.

11. **Фотоприемники.** Общая характеристика фотоприемников. Кремниевые р-і-n-фотодиоды, лавинные фотодиоды. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью. КМОП. Сравнение ПЗС и КМОП. Разновидности фотоприемников. Фотодиод с р-n-переходом и барьером Шотки. Гетерофотодиоды. МДП-фотодиоды. Фототранзистор. Фототиристор. Фоторезистор.

12. **Многоэлементные фотоприемники.** Тепловидение. Микроболометры и ферроэлектрики. Фотоприемники ИК-диапазона. Сканистор. Мишень кремникона. Солнечные батареи.

13. **ФЭУ.** Назначение, основные параметры и характеристики ФЭУ. Конструкция ФЭУ: катодные камеры, оптические методы усиления чувствительности. Классификация умножительных систем. Пороговая чувствительность и шумы. Временные параметры и характеристики. Температурные характеристики. Амплитудное разрешение. Стабильность работы и долговечность.

14. **Оптоэлектронные приборы.** Оптопары. Интегральная оптика. Оптоэлектронные датчики. Оптические связи в мощных электронных приборах. Оптоэлектронные средства отображения информации.

15. **Оптоэлектронные системы.** Волоконно-оптические линии связи. Распространение оптического сигнала по волноводу. Техническая реализация и общая характеристика ВОЛС. Оптическая вычислительная техника. Управляемые оптические транспаранты. Оптическая память. Оптические процессоры.

16. **Оптоэлектронные средства отображения информации.** Экраны – ЖК со светодиодной подсветкой, плазма, электронные чернила. Знакосинтезирующие индикаторы.

17. **Системы дистанционного зондирования Земли видимого и ИК диапазонов.** Лидары. Принципы работы систем ДЗЗ, Структура систем. Фотоприемники для систем ДЗЗ. Лазеры для лидаров. Общая структура спутников ДЗЗ.

18. **Современные спектрометры для атомного и молекулярного анализа.** Структура спектрометров. Выбор фотоприемников. Источники возбуждения спектров. Применение мощных оптоэлектронных приборов в источниках возбуждения спектров. Спектрометры вакуумного УФ диапазона.

19. **Системы регистрации быстропротекающих процессов на вакуумных и полупроводниковых фотоприемниках.** Старт-стоповый метод регистрации. Стробоскопический метод регистрации. Прямая регистрация сигналов быстродействующих фотоприемников.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7		9
1	Введение в спектроскопию молекулярных и кристаллических структур.	2						Устный опрос
2	Вращательные спектры изолированных молекул	2						Устный опрос
3	Колебательные спектры изолированных молекул и их комплексов	2						Устный опрос
4	Многоатомная молекула и ее элементы симметрии. Характеристические колебания молекул и их использование для характеристики комплексов	2					2	Устный опрос, Контрольная работа
5	Электронно-колебательные спектры изолированных молекул и их нанокластеров	2						Устный опрос
6	Химические связи в многоатомной молекуле	2						Устный опрос
7	Получение нанокластеров при j - спектроскопии	2						Устный опрос
8	Электронные спектры молекулярных кристаллов. Электронные спектры нанокластеров на основе полупроводниковых кристаллов	2					2	Устный опрос, Контрольная работа
9	Введение. Классификация оптоэлектронных приборов	2						Устный опрос
10	Излучатели. Светодиоды и лазеры	2						Устный опрос
11	Фотоприемники. Разновидности фотоприемников	2					2	Устный опрос,
12	Многоэлементные фотоприемники	2						Устный опрос
13	ФЭУ	2						Устный опрос
14	Оптоэлектронные приборы	2						Устный опрос
15	Оптоэлектронные системы.	2					2	Устный

								опрос, Проверка рефератов
16	Оптоэлектронные средства отображения информации							Устный опрос
17	Системы дистанционного зондирования Земли	2						Устный опрос Проверка рефератов
18	Современные спектрометры для атомного и молекулярного анализа	2						Устный опрос
19	Системы регистрации быстропротекающих процессов	2					2	Устный опрос Проверка рефератов
	Всего	38					10	Зачет

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. К. Бенуэлл. Основы молекулярной спектроскопии. Изд. "Мир". М., 1985
2. М.А. Ельяшевич. Атомная и молекулярная спектроскопия. ИФМЛ, 1962
3. М.В. Волькенштейн, Л.А. Грибов, М.А. Ельяшевич, Б.И. Степанов. Колебания молекул. Изд. "Наука", М., 1972
4. Н.Б. Барковский, А.И. Комяк, Д.С. Умрейко. Симметричные представления в спектроскопии молекул. Минск, Изд. "Университетское", 1986
5. А.И. Комяк. Молекулярная спектроскопия. Мн., Изд. БГУ, 2005
6. Ю.Р. Носов. Оптоэлектроника. М.: Радио и связь, 1989. – 360 с.
7. О.Н. Ермаков. Прикладная оптоэлектроника. М.: Техносфера, 2004. – 416 с.
8. Э. Розенштер, Б. Винтер. Оптоэлектроника. М.: Техносфера, 2004. – 592 с.
9. Т. Тамир. Волноводная оптоэлектроника. М.: Мир, 1991, - 575 с.
10. С. Гондо, Д.Сэко. Оптоэлектроника в вопросах и ответах. Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 184 с.

Перечень дополнительной литературы

1. А.А.Мальцев. Молекулярная спектроскопия. М. Изд. МГУ, 1980
2. Г.Герцберг. Колебательные и вращательные спектры многоатомных молекул. М. Изд.-во "Иностранная литература", 1949
3. К.Накамото. Инфракрасные спектры неорганических и координационных соединений. Изд -во "Мир". М., 1966
4. А.Г. Берковский, В.А. Гаванин, И.Н. Зайдель. Вакуумные фотоэлектронные приборы. М.: Радио и связь, 1988. – 272 с.
5. Дж.М. Мартинес-Дуарт, Р.Дж. Мартин-Палма, Ф. Агулло-Руеда. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники. М.: Техносфера, 2009. – 368 с.
6. Ф. Капасо и др. Техника оптической связи: Фотоприемники. М.: Мир, 1989. – 526 с.
7. Р. Фриман. Волоконно-оптические системы связи. М.: Техносфера, 2003. – 315 с.
8. Л.С. Шарупич, Н.М. Тугов. Оптоэлектроника. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 256 с.

Перечень используемых средств диагностики результатов
Перечень используемых средств диагностики
результатов учебной деятельности

1. Реферативные работы.
2. Контрольные работы.
3. Устные опросы.

Примерный перечень заданий УСР

1. Характеристические колебания молекул и их использование для характеристики комплексов.
2. Электронные спектры нанокластеров на основе полупроводниковых кристаллов.
3. Оптоэлектронные средства отображения информации.
4. Оптоэлектронные системы.
5. Системы дистанционного зондирования Земли.
6. Системы регистрации быстропротекающих процессов.

Мероприятия для контроля управляемой самостоятельной работой

Для контроля УСР используются контрольные работы и проверки рефератов.

Примерный перечень тем контрольных работ

1. Виды движения в свободной молекуле. Формирование спектра молекулы.
2. Вращательные спектры свободной молекулы. Правила отбора в спектре.
3. Колебание свободной двухатомной молекулы.
4. Колебания многоатомной молекулы в классической механике. Симметрия колебаний.
5. Правила отбора по симметрии на примере молекулы бензола.
6. Точечные группы симметрии для многоатомных молекул.
7. Характеристические колебания в многоатомных молекулах.
8. Электронно-колебательные спектры двухатомных молекул. Принцип Франка-Кондона.
9. Электронно-колебательные спектры многоатомных молекул. Правила отбора в электронно-колебательных спектрах.
10. Ассоциация молекул. Образование кластеров. Электронные спектры кластеров.
11. Электронные спектры молекулярных кристаллов. Образование экситонов.

12. Экситон-фотонные взаимодействия в молекулярных кристаллах.

13. Электронные спектры полупроводниковых кристаллов. Экситон Ванье-Мотта.

14. Полупроводниковые наночастицы. Получение и их электронные спектры.

Перечень тем реферативных работ

1. Нобелевская премия Ж. Алферова.
2. Нобелевская премия за создание синих светодиодов.
3. Тепловизоры.
4. Солнечные батареи: материалы, принцип работы, основные параметры, перспективы развития.
5. Современные оптоэлектронные датчики.
6. Различные виды экранов.
7. Оптоэлектронные интегральные схемы.
8. Спутники дистанционного зондирования Земли.

Методика формирования итоговой оценки

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 (№ 382-ОД от 18.08.2015 г.);

3. Критериев оценки знаний и компетенций студентов по 10-бальной шкале.

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать устные опросы, проверку рефератов и контрольные работы. Устные опросы, контрольные работы и проверка рефератов проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. В случае неявки по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить задания в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно.

Оценка каждого из устных ответов проводится по десятибалльной шкале. Оценка текущей успеваемости рассчитывается как среднеарифметическая оценок за устные ответы, контрольные работы и рефераты. Аттестация по учебной дисциплине проводится в форме экзамена. Экзаменаци-

онная оценка и оценка текущей успеваемости служат для определения рейтинговой оценки по дисциплине, которая рассчитывается как средневзвешенная оценка текущей успеваемости и экзаменационной оценки. Весовой коэффициент для оценки текущей успеваемости – 0,4, для экзаменационной оценки – 0,6.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название Кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Физика лазеров	Кафедра лазерной физики и спектроскопии	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 18 от 22 июня 2018 г)
Современные лазерные системы	Кафедра лазерной физики и спектроскопии	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 18 от 22 июня 2018 г)
Лазерная спектроскопия	Кафедра лазерной физики и спектроскопии	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 18 от 22 июня 2018 г)

[illegible]

А.Л. Толстик

В.М. АНИЩИК