

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

 О.И. Чуприс
(подпись)

дата утверждения

Регистрационный № УД 5865/уч.

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ НАНОФОТОНИКИ.
МЕТОДЫ ОПТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ
НАНОСТРУКТУР**

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

Минск 2018 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:

И.М. Гулис – профессор кафедры лазерной физики и спектроскопии Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор;

Д.В. Горбач – старший преподаватель кафедры лазерной физики и спектроскопии Белорусского государственного университета,

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 «Современные приложения нанофотоники. Методы оптической спектроскопии наноструктур» разработана для специальности 1-31 04 07 Физика наноматериалов и нанотехнологий. Дисциплина «Современные приложения нанофотоники. Методы оптической спектроскопии наноструктур» относится к циклу дисциплин специализации.

Целью учебной дисциплины является изучение студентами основных направлений приложения нанофотоники, обучение принципам методов оптической спектроскопии с акцентом на применение к наноструктурам.

Основная задача учебной дисциплины – дать представление о современных и перспективных областях применения нанофотоники, на конкретных примерах изучить методы решения задач основанных на явлениях преобразования световых полей наноразмерными структурами; дать представление о методах и аппаратуре, проанализировать примеры использования спектроскопических методов в различных вариантах экспериментальной реализации для решения фундаментальных и прикладных задач, в первую очередь, в приложении к исследованию наноструктурированных систем.

Нанофотоника – область фотоники, связанная с разработкой архитектур и технологий производства наноструктурированных устройств генерации, усиления, модуляции, передачи и детектирования электромагнитного излучения и приборов на основе таких устройств, а также с изучением физических явлений, определяющих функционирование наноструктурированных устройств и протекающих при взаимодействии фотонов с наноразмерными объектами. К этому направлению относятся физические основы генерации и поглощения излучения в различных диапазонах, полупроводниковые источники и детекторы электромагнитного излучения, наноструктурированные оптические волокна и устройства на их основе, светодиоды, твердотельные и органические лазеры, элементы фотоники и коротковолновой нелинейной оптики.

Широкий спектр явлений и эффектов, возникающих при взаимодействии света с наноразмерными либо наноструктурированными объектами, позволяет применять их во всевозможных областях науки и техники. Так в дисциплине рассматриваются методы создания сенсоров, в том числе биологических, способы построения устройств интегральной оптики, освещаются вопросы оптической манипуляции наночастицами и оптическая микроскопия высокого разрешения, изучаются принципы создания новых устройств для скоростной обработки и передачи информации.

Методы оптической спектроскопии позволяют получать уникальную информацию о строении вещества, взаимодействии вещества с электромагнитным излучением, о механизмах и динамике процессов, протекающих в веществе, в том числе и под действием излучения. Традиционно информация такого рода получается с использованием абсорбционных, лю-

минесцентных методов, спектроскопии комбинационного рассеяния. В последние десятилетия арсенал оптических методов существенно расширился благодаря активному применению лазеров в спектроскопических исследованиях. Уникальные свойства лазерного излучения позволяют не только качественно расширить возможности разработанных ранее классических спектроскопических методов, но и открывают возможности решения задач, в принципе не решаемых методами классической спектроскопии. Принципиально новые возможности для исследования наноструктур открывают методы, достичь высокого пространственного разрешения, проводить локальный спектральный анализ. Особо важно, что современные подходы в этой области позволяют в оптико-спектроскопическом эксперименте получить пространственное разрешение существенно более высокое, чем ограниченное дифракционным пределом – на уровне десятков и даже единиц нанометров.

Основной акцент в дисциплине делается на принципах и экспериментальных подходах, имеющих возможно более широкую область применений, на методах, уже вошедших в экспериментальную практику, либо появившихся недавно, но с полной определенностью являющихся по своему потенциалу перспективными. Применение методов иллюстрируется на примерах, относящихся к различным областям спектроскопии молекул и наноструктур. В ряде случаев обсуждение вопросов применения ограничивается кратким изложением основных идей (это касается тех областей, в которых студенты имеют достаточные сведения по объекту исследования, полученные из изученных ранее дисциплин); в других случаях, в первую очередь касающихся новых направлений в молекулярной спектроскопии, более подробно анализируются физические процессы, протекающие в системе, являющейся объектом исследования. Приводятся также примеры аппаратной реализации методов.

В результате изучения дисциплины студент должен

знать:

- основные схемы энергетических уровней веществ и возможные переходы между ними;
- механизмы создания инверсной населенности;
- закономерности формирования модовой структуры излучения в резонаторе;
- методы генерации гигантских импульсов и синхронизации мод;
- методы моделирования генерации лазеров;
- методы расчета энергетических характеристик излучения лазеров.

уметь:

- анализировать схемы энергетических уровней активных сред;
- составлять системы дифференциальных уравнений для моделирования процессов генерации;

- рассчитывать энергетические и временные характеристики лазерного излучения;
- использовать знание уникальных свойств лазерных пучков для планирования экспериментов;
- проводить анализ аппаратно-методического обеспечения исследований с использованием лазеров;

владеть:

- совокупностью знаний по оценке возможностей применения лазеров в научных исследованиях и технологии.

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.

Материал дисциплины основан на знаниях и представлениях, заложенных в следующих дисциплинах: «Оптика», «Атомная физика», «Оптические свойства квантово-размерных структур», «Спектроскопия молекулярных и кристаллических структур», «Люминесценция», «Лазеры и лазерные системы», «Физика лазеров». Он является базовым для дисциплин: «Нанопотоника. Волоконная оптика», «Квантовая механика молекулярных систем».

Программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта. Общее количество часов – 132; аудиторное количество часов – 58, из них: лекции – 46, аудиторный контроль УСП – 12. Форма получения высшего образования – очная, дневная. Занятия проводятся на 4-ом курсе в 8-ом семестре. Форма текущей аттестации по учебной дисциплине – экзамен (3,5 зачетные единицы).

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

1. **Предмет нанофотоники.** Наноструктуры. Классификация наноструктур. Нанокластеры. Нульмерные, одномерные, тубулярные, двумерные и трехмерные наноструктуры. Физические свойства нанокластеров.
2. **Методы синтеза наночастиц и наноструктур.** Классификация методов синтеза наноматериалов. Физические и химические методы синтеза. Методы разделения наночастиц по размерам. Процессы самосборки в наносистемах. Синтез наночастиц в аморфных и упорядоченных матрицах. Нанолитография. Наноимпринт Молекулярно-лучевая эпитаксия. Газофазная эпитаксия. Электронно-лучевая литография.
3. **Оптические свойства наночастиц и структур.** Квантоворазмерный эффект. Спектры поглощения полупроводниковых наночастиц. Квантовые ямы и сверхрешетки. Квантовые нити. Квантовые точки. Использование оптических и люминесцентных свойств квантовых точек. Лазеры на квантовых структурах. Материалы для бионанотехнологий. Свойства и области применения оптических композитов.
4. **Фотонные кристаллы.** Основы теории фотонных кристаллов. Фотонные запрещенные зоны. Одномерные, двумерные и трехмерные периодические структуры. Фотонно-кристаллические среды и волноводы. Дисперсия света в фотонно-кристаллических структурах. Использование фотонных кристаллов как брэгговских зеркал. Микрорезонаторы.
5. **Применение плазмонных наноструктур.** Оптические свойства реальных металлов. Плазмоны. Оптические свойства сферических наночастиц. Спектроскопия отдельных плазмонных наночастиц. Плазмонный волновод. Плазмонный фотонный кристалл. Биосенсоры на поверхностных и локализованных плазмонах.
6. **Силы в удерживающих полях.** Давление излучения. Оптические пинцеты. Оптическая манипуляция наночастицами.
7. **Спиновый и орбитальный угловой момент светового пучка.** Методы контроля и преобразования спинового углового момента светового пучка. Методы контроля и преобразования орбитального углового момента светового пучка. Применение оптических вихрей. Спин-орбитальное взаимодействие и оптическая ориентация спинов. Применение поляризованных световых пучков с орбитальным угловым моментом для скоростной обработки и передачи информации.
8. **Оптическая микроскопия высокого разрешения.** Сканирующая апертурная и безапертурная микроскопия. Зонды для микроскопии ближнего поля. Методы распознавания отдельной молекулы. Поляризационная спектроскопия.
9. **Общая характеристика спектроскопических методов исследования наноструктурных объектов.** Абсорбционные, люминесцентные методы. Лазерно-спектроскопические методы. Спектроскопия комбинационного рассеяния. Спектроскопия с пространственным разрешением (локальная спектроскопия).

10. **Перестраиваемые лазеры для спектроскопии.** Способы получения перестраиваемого излучения. Требования к ширине линии генерации. Особенности некоторых типов лазеров для спектроскопии. Лазеры на красителях. Лазеры на примесных ионах с сильной электрон-фононной связью. Лазеры на центрах окраски. Полупроводниковые лазеры. Молекулярные газовые лазеры высокого давления. Перестраиваемые ВКР-лазеры. Оптическая параметрическая генерация и нелинейное преобразование частоты. Стабилизация и калибровка частоты лазеров.

11. **Абсорбционная спектроскопия.** Чувствительность. Спектральное разрешение. Амплитудная и частотная модуляция. Методы повышения селективности. Оптико-акустическая спектроскопия. Метод CRDS.

12. **Люминесцентная спектроскопия.** Чувствительность флуоресцентных методов. Селективность. Аппаратура для люминесцентных исследований. Матрицы возбуждения–испускания. Синхронное сканирование. Волноводные системы.

13. **Электронно-колебательная спектроскопия примесных центров в конденсированной среде.** Электрон-фононное взаимодействие. Неоднородное уширение. Сайты. Флуоресцентная электронно-колебательная спектроскопия при селективном возбуждении в конденсированной фазе. Выжигание спектральных провалов в неоднородно уширенных вибронных полосах.

14. **Спектроскопия одиночных квантовых объектов.** Чисто электронные линии одиночных молекул при гелиевых температурах. Требования к молекулам и матрицам. Методы пространственной и спектральной селекции. Спектральные прыжки. Группировка фотонов. Выявление гетерогенности ансамблей частиц. Детектирование одиночных квантовых объектов при комнатных температурах.

15. **Спектроскопия временного разрешения.** Общие принципы. Аппаратная функция кинетического спектрометра. Исследование замедленных свечений. Лазерный флеш-фотолиз. Фазовая флуорометрия. Статистический одноквантовый метод.

16. **Пико- и фемтосекундная спектроскопия.** Генерация сверхкоротких импульсов. Методы регистрации свечений с пикосекундным разрешением. Методы возбуждения и зондирования.

17. **Спектроскопия с пространственным разрешением.** Общие принципы. Гиперспектроскопия, мультиспектральная съемка, конфокальная микроспектрометр. Оптическая спектроскопия с субдифракционным пространственным разрешением. Оптоволоконные нанозонды. Нелинейные методы: двухфотонное возбуждение, ограничение области возбуждения люминесценции путем светового тушения, спектроскопия со сверхвысоким пространственным разрешением, основанная на люминесценции одиночных молекул.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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	Предмет нанофотоники	2						Устный опрос
2	Методы синтеза наночастиц и наноструктур.	4						Устный опрос
3	Оптические свойства наночастиц и структур.	4					2	Устный опрос, Контрольная работа
4	Фотонные кристаллы.	4					2	Устный опрос, Контрольная работа
5	Применение плазмонных наноструктур.	2						Устный опрос
6	Силы в удерживающих полях	2						Устный опрос
7	Спиновый и орбитальный угловой момент светового пучка.	4					2	Устный опрос, Контрольная работа
8	Оптическая микроскопия высокого разрешения.	2						Устный опрос
9	Наноструктуры, изучаемые методами оптической спектроскопии	2						Устный опрос
10	Перестраиваемые лазеры для спектроскопии	2					2	Устный опрос, Контрольная работа
11	Абсорбционная спектроскопия.	2						Устный опрос
12	Люминесцентная спектроскопия.	4						Устный опрос
13	Электронно-колебательная спектроскопия примесных центров в конденсированной среде.	4						Устный опрос
14	Спектроскопия одиночных квантовых объектов.	2						Устный опрос

15	Спектроскопия временного разрешения. Пико- и фемтосекундная спектроскопия.	4					2	Устный опрос, Контрольная работа
16	Спектроскопия с пространственным разрешением.	2					2	Устный опрос, Контрольная работа
		46					12	Экзамен

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Гапоненко С.В., Розанов Н.Н., Ивченко Е.Л., Федоров А.В., Бонч-Бруевич А.М., Вартанян Т.А., Пржибельский С.Г. Оптика наноструктур. СПб.: Недра. 2005.
2. С. В. Гапоненко, С. В. Жуковский, В. Н. Хильманович. Оптические аналогии квантовых явлений. Минск. 2009
3. S.V. Gaponenko. Introduction to Nanophotonics. Cambridge. 2009.
4. Елисеев А.А., Лукашин А.В. Функциональные наноматериалы. М.: Физматлит. 2010.
5. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. – М.: Физматлит., 2005.
6. Воробьев Л.Е., Ивченко Е.Л., Фирсов Д.А., Шалыгин В.А.. Оптические свойства наноструктур. С.-Пб.: Наука. 2001
7. Успехи наноинженерии: электроника, материалы, структуры. Под.ред. Дж. Дэвиса, М.Томпсона. М.: Техносфера. 2011. - 496с.
8. Климов В.В. Наноплазмоника. М.: Физматлит. 2010.
9. Игнатов А.Н. Оптоэлектроника и нанофотоника. С.-Пбб.: Лань. 20110 – 544с.
- 10.Новотный Л., Хехт Б. Основы нанооптики. М.: Физматлит. 2011.
11. В.Демтредер. Лазерная спектроскопия. М., Наука,1985.
- 12.И.М.Гулис. Лазерная спектроскопия. Курс лекций. Минск, БГУ, 2002.
- 13.Сверхкороткие световые импульсы. Под ред. С.Шапиро. М., Мир, 1981.
- 14.И.М.Гулис, А.И. Комяк Люминесценция . Мн., БГУ, 2009..
- 15.Л.В.Левшин, А.М.Салецкий. Люминесценция и ее измерение. М., МГУ, 1989.
- 16.Р.А. Андриевский. Наноструктурные материалы.М., Академия, 2005.
- 17.Лакович Дж. Основы флуоресцентной спектроскопии. М.:Мир, 1986.
- 18.В.М.Золотарев. Методы исследования материалов фотоники. Санкт-Петербург: ИТМО, 2008.
- 19.В.Демтредер. Современная лазерная спектроскопия. М., ИД "Интеллект",2014.

Перечень дополнительной литературы

1. Ч. Пул, Ф. Оуэнс Нанотехнологии Москва: Техносфера, 2005
2. Помогайло А.Д., Розенберг А.С., Уфлянд И.Е. Наночастицы металлов в полимерах. – М.: Химия, 2000.
3. Введение в нанотехнологию / Н. Кобаяси ; пер. с яп. - М. : Бином. Лаборатория знаний, 2005.
4. Дж.М. Мартинес-Дуарт, Р.Дж. Мартин-Палма, Ф.Агулло-Руеда. Нанотехнологии для микро и оптоэлектроники. М.: Техносфера, 2007.

5. В.П.Жарков, В.С.Летохов. Лазерная оптоакустическая спектроскопия. М., Наука, 1984.
6. С.А.Ахманов, В.А.Вислоух, А.С.Чиркин. Оптика фемтосекундных лазерных импульсов. М., Наука, 1988.
7. А. В. Феофанов. Спектральная лазерная сканирующая конфокальная микроскопия в биологических исследованиях. Успехи биологической химии, т.47, 2007, с. 371-410.
8. Е.С.Воропай, И.М.Гулис, А.И.Комяк, А.Л.Толстик, А.В.Чалей. Спектроскопия и лазерная физика в БГУ. Кафедре лазерной физики и спектроскопии 60 лет. Минск: БГУ. 2013. – 231 с.

Перечень используемых средств диагностики результатов учебной деятельности

1. Контрольная работа по разделам дисциплины.
2. Устные опросы.

Перечень мероприятий для контроля управляемой самостоятельной работой

Для контроля УСР используются контрольные работы и устные опросы.

Примерный перечень заданий УСР

1. Перестраиваемые лазеры для спектроскопии
2. Абсорбционная спектроскопия.
3. Люминесцентная спектроскопия.
4. Электронно-колебательная спектроскопия примесных центров в конденсированной среде.
5. Спектроскопия одиночных квантовых объектов.
6. Пико- и фемтосекундная спектроскопия.
7. Спектроскопия с пространственным разрешением.

Примерный перечень вопросов для контрольных работ

1. Как изменяется фактор Дебая-Валера с температурой?
2. Почему высокая плотность колебательных подуровней конечного для перехода электронного состояния не препятствует наблюдению структурных электронно-колебательных спектров в матрицах Шпольского?
3. Причины уширения вибронных полос при селективном возбуждении.
4. Чем обусловлен сплошной фон в спектрах, полученных методом матриц Шпольского?
5. Механизм нефотохимического выжигания провалов.

6. Как выявляется в СОМ гетерогенность молекулярного ансамбля по вероятностям излучательных переходов?
7. Что характеризует фактор Дебая-Валера?
8. Причины уширения вибронных полос в матрицах Шпольского.
9. Природа мультиплетов в спектрах флуоресценции при селективном возбуждении.
10. Почему в спектрах при селективном возбуждении, получаемых для стеклообразных матриц, структура исчезает при 30-40К, а в матрицах Шпольского наблюдается и при 77К?
11. Что такое спектральная диффузия?
12. Чем отличается ВКП от колебательной релаксации?
13. Каковы причины появления темных интервалов в потоке фотонов, испускаемых одиночной молекулой?
14. Причины уширения отдельных вибронных полос сложных молекул в конденсированной фазе.
15. Природа мультиплетов в матрицах Шпольского.
16. Чем обусловлен сплошной фон в спектрах при селективном возбуждении?
17. Как можно стереть выжженные спектральные провалы?
18. Природа спектральных прыжков.
19. Почему высокая плотность колебательных подуровней конечного для перехода электронного состояния не препятствует наблюдению структурных электронно-колебательных спектров при селективном возбуждении?
20. Почему при быстром замораживании раствора спектры в матрицах Шпольского обычно оказываются менее структурированными, чем при медленном замораживании?
21. Почему при возбуждении на высокие колебательные подуровни в спектрах при селективном возбуждении теряется структура?
22. Почему спектральные провалы уширяются при увеличении времени выжигания?
23. Способы достижения пространственной селекции в СОМ.
24. Почему спектральные провалы можно стереть облучением белым светом?
25. Причины бесструктурности электронных полос сложных молекул.
26. Почему при селективном возбуждении не удается наблюдать тонкоструктурные спектры фосфоресценции, если триплетное состояние заселяется путем интеркомбинационной конверсии?
27. В чем состоят экспериментальные ограничения (для аналитических применений) метода матриц Шпольского?
28. Чем определяется ширина провала в ЧЭЛ и в вибронных полосах?

30. Причины различия интенсивностей ЧЭЛ, регистрируемых в пределах полосы неоднородного уширения в спектроскопии одиночных молекул.

31. Чем обеспечивается пассивная стабилизация частоты лазеров.

32. Принцип работы лазеров с переворотом спина.

33. Принцип активной стабилизации частоты лазеров.

34. Перечислить способы калибровки перестраиваемых лазеров.

35. Какие перестраиваемые лазеры используются в ИК-диапазоне?

36. За счет каких факторов повышается чувствительность в методе лазерной абсорбционной спектроскопии?

37. Чем определяется аппаратная функция в методах спектроскопии временного разрешения?

38. Из наносекундных методов какой чувствительнее: стробоскопический, либо статический одноквантовый?

39. Почему в статистическом одноквантовом методе следует ограничивать интенсивность света, поступающего на фотоприемник (и до какой степени)?

40. Какие факторы определяют временное разрешение в методе возбуждения и зондирования?

41. Основное соотношение фазовой флуорометрии.

42. В чем состоит принципиальное ограничение фазовой флуорометрии?

43. В методах возбуждения и зондирования в пикосекундном диапазоне какие подходы (кроме нестационарной абсорбционной спектроскопии) используются?

44. Сверхбыстрые оптически затворы (пикосекундного диапазона).

45. Способы подавления паразитных (фоновых, шумовых) сигналов (засветок) в флуоресцентной спектроскопии.

46. Почему ширина спектра генерации перестраиваемого лазера может быть существенно меньше ширины полосы пропускания внутрирезонаторного спектрального селектора?

47. Оцените плотность мощности на объекте, которая может быть достигнута при использовании лазера видимого диапазона с мощностью 10 мВт и расходимостью 2 мрад.

48. Оцените спектральное разрешение, которое может быть достигнуто при использовании лазера с модуляцией добротности с длительностью импульса 30 нс.

49. Оцените спектральное разрешение, которое может быть достигнуто при использовании лазера с синхронизацией мод с длительностью импульса 5 пс.

50. Оцените спектральное разрешение, которое может быть достигнуто при использовании лазера с синхронизацией мод с длительностью импульса 50 фс.

51. За счет чего реализуется широкая полоса усиления в молекулярных газовых лазерах высокого давления?

52. Почему в полупроводниковых лазерах без внешнего селективного резонатора при перестройке наблюдаются скачки мод?

53. Почему измеряемые экспериментально ширины линий лазеров обычно существенно расходятся с оценками, даваемыми соотношением Шавлова-Таунса?

54. Чем определяется быстродействие системы стабилизации при использовании пьезоподвижки зеркал?

55. Оцените величину температурного дрейфа частоты одномодового лазера видимого диапазона, резонатор которого выполнен на стержнях из материала с температурным коэффициентом расширения 10^{-5} K^{-1} при изменении температуры на 5°C .

56. В чем состоит идея *непрерывной* перестройки частоты одномодового лазера с предселектором на основе дифракционной решетки путем изменения давления газа в резонаторе?

57. Почему гетерогенность ансамбля молекул по вероятностям излучательных переходов, выявляемая в экспериментах с одиночными молекулами, практически не обнаружима в традиционных экспериментах (где сигнал получается от большого числа молекул)?

58. Наноструктурные объекты, изучаемые методами оптической спектроскопии.

59. В чем состоят преимущества и ограничения абсорбционной спектроскопии в области электронных переходов молекул в сравнении с колебательной спектроскопией?

60. Проведите оценку чувствительности абсорбционного метода.

61. Причины нарушения закона Бугера-Ламберта-Бера в растворах.

62. Как влияет на результаты абсорбционных измерений рассеянный в приборе свет?

63. Перечислите методы повышения чувствительности в абсорбционной спектроскопии и кратко охарактеризуйте один из них (по выбору).

64. За счет чего повышается чувствительность в методе спектроскопии с внешним пассивным резонатором (CRDS)?

65. Какие требования предъявляются к материалу стенок волноводной кюветы?

66. Перечислите методы повышения селективности абсорбционной спектроскопии и кратко охарактеризуйте один из них (по выбору).

67. Принцип оптико-акустической спектроскопии.

68. Что такое молекулы-зонды?

69. Сделайте оценку чувствительности флуоресцентного метода.

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-балльной 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. Экзаменационная 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 – 0,3, для экзаменационной оценки – 0,7.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной 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)
Нанопотоника. Волоконная оптика	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)
Квантовая механика молекулярных систем	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)

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УВО

на ____ / ____ учебный год

№№ пп	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
(протокол № ____ от _____ 20__ г.)

Заведующий кафедрой
лазерной физики и спектроскопии
д.ф.-м.н., профессор

_____ А.Л. Толстик

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета
д.ф.-м.н., профессор

_____ В.М. Анищик