

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
электроники, фотоники и  
молекулярной физики**

**В.В. Иванов**

<b>по дисциплине:</b>	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b> Фотоника молекулярных и наноразмерных систем
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра химической физики
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Дифференцированный зачет

2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 60 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 135 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 225, всего зач. ед.: 5

Программу составил: В.А. Надточенко, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры химической физики 12.02.2022

## Аннотация

Курс "Фотоника молекулярных и наноразмерных систем" предусматривает:

- изучение основ современной фотохимии, фотофизики, электронной спектроскопии;
- овладение знаниями о реакционной способности возбужденных состояний молекул, наночастиц, фотоферментов, твердых тел;
- введение в основные классы природных и промышленных фотохимических процессов.

Задачами курса являются:

- приобретение базовых знаний о природе возбужденных состояний в атомах, молекулах, наночастицах, твердом теле: поглощение и излучение света атомами и молекулами; поверхность потенциальной энергии; поглощение и излучение света полупроводниками, полупроводниковыми наночастицами; взаимодействие света с металлами и металлическими наночастицами, представление о плазмоне-поляритоне.
- освоение студентами базовых знаний о фотофизических процессах в молекулярных системах: фотофизические процессы дезактивации возбужденных состояний; внутримолекулярные и межмолекулярные каналы дезактивации; безизлучательный перенос энергии; эксимер и эксиплекс; процессы фотосенсибилизации.
- освоение студентами базовых знаний о фотохимических процессах: однофотонные и многофотонные процессы; фотоиндуцированный перенос электрона; фотоиндуцированный перенос протона; фотодиссоциация; фотоионизация; фотоизомеризация; перициклические концертные реакции; фотополимеризация; стабилизация и фотодеградация полимеров и пигментов; фотохимические реакции органического синтеза;
- приобретение основных представлений о фотоэлектрохимии полупроводников и полупроводниковых наночастиц, фотокатализе и преобразовании солнечной энергии: фотохимические процессы на границе раздела твердое тело/твердое тело, твердое тело/электролит; фотоиндуцированное разделение заряда; термодинамика преобразования солнечного света; фотолиз воды; фотовольтаические и фотогальванические ячейки.
- приобретение базовых знаний о природных фотохимических процессах: фотохимия атмосферы; природный фотосинтез.

По результатам освоения дисциплины студент должен:

Знать:

- ☐ физические свойства возбужденных состояний в молекулах, наночастицах, твердом теле;
- ☐ основы теорий элементарных фотохимических и фотофизических процессов;
- ☐ о физических принципах фотоэлектрохимии, фотокатализа и преобразования солнечной энергии;
- ☐ основные представления о природных фотохимических процессах - фотохимии атмосферы, природного фотосинтеза и зрения;
- ☐ порядки физических величин, характерных для элементарных процессов фотохимии и фотофизики.

Уметь:

- ☐ абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных молекулярных процессов;
- ☐ делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- ☐ производить численные оценки по порядку величины;
- ☐ делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- ☐ эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

Владеть:

- ☐ навыками освоения большого объема информации;
- ☐ навыками самостоятельной работы в научной библиотеке, лаборатории и интернете;
- ☐ культурой постановки и моделирования физических задач;
- ☐ навыками теоретического анализа реальных задач, связанных со свойствами молекул, электромагнитного излучения и взаимодействия между ними.

Основное содержание курса изложено в следующих разделах:

1. Взаимодействие света с металлами и металлическими наночастицами, представление о плазмоне-поляритоне
2. Взаимодействие света с металлами и металлическими наночастицами, представление о плазмоне-поляритоне II

3. Внутримолекулярная дезактивация молекул
4. Механизм межмолекулярного переноса энергии
5. Поглощение и излучение света атомами и молекулами.
6. Поглощение и излучение света полупроводниками, полупроводниковыми наночастицами I.
7. Поглощение и излучение света полупроводниками, полупроводниковыми наночастицами II
8. Преобразование солнечной энергии I.
9. Преобразование солнечной энергии II
10. Природный фотосинтез II. Зрение.
11. Фотохимические гетеролитические реакции I.
12. Фотохимические гетеролитические реакции II.
13. Фотохимические гетеролитические реакции III.
14. Фотохимические гомолитические реакции I.
15. Фотохимические гомолитические реакции II.
16. Фотохимия атмосферы. Природный фотосинтез I.
17. Фотоэлектрохимия полупроводников и полупроводниковых наночастиц, фотокатализ.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

- изучение основ современной фотохимии, фотофизики, электронной спектроскопии;
- овладение знаниями о реакционной способности возбужденных состояний молекул, наночастиц, фотоферментов, твердых тел;
- введение в основные классы природных и промышленных фотохимических процессов.

### Задачи дисциплины

- приобретение базовых знаний о природе возбужденных состояний в атомах, молекулах, наночастицах, твердом теле: поглощение и излучение света атомами и молекулами; поверхность потенциальной энергии; поглощение и излучение света полупроводниками, полупроводниковыми наночастицами; взаимодействие света с металлами и металлическими наночастицами, представление о плазмоне-поляритоне.
- освоение студентами базовых знаний о фотофизических процессах в молекулярных системах: фотофизические процессы дезактивации возбужденных состояний; внутримолекулярные и межмолекулярные каналы дезактивации; безизлучательный перенос энергии; эксимер и эксиплекс; процессы фотосенсибилизации.
- освоение студентами базовых знаний о фотохимических процессах: однофотонные и многофотонные процессы; фотоиндуцированный перенос электрона; фотоиндуцированный перенос протона; фотодиссоциация; фотоионизация; фотоизомеризация; периферические реакции; фотополимеризация; стабилизация и фотодеградация полимеров и пигментов; фотохимические реакции органического синтеза;
- приобретение основных представлений о фотоэлектрохимии полупроводников и полупроводниковых наночастиц, фотокатализе и преобразовании солнечной энергии: фотохимические процессы на границе раздела твердое тело/ твердое тело, твердое тело/электролит; фотоиндуцированное разделение заряда; термодинамика преобразования солнечного света; фотолиз воды; фотовольтаические и фотогальванические ячейки.
- приобретение базовых знаний о природных фотохимических процессах: фотохимия атмосферы; природный фотосинтез.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности

<p>решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты</p>	<p>ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели</p>
	<p>ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты</p>

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- ☐ физические свойства возбужденных состояний в молекулах, наночастицах, твердом теле;
- ☐ основы теорий элементарных фотохимических и фотофизических процессов;
- ☐ о физических принципах фотоэлектрохимии, фотокатализа и преобразования солнечной энергии;
- ☐ основные представления о природных фотохимических процессах - фотохимии атмосферы, природного фотосинтеза и зрения;
- ☐ порядки физических величин, характерных для элементарных процессов фотохимии и фотофизики.

уметь:

- ☐ абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных молекулярных процессов;
- ☐ делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- ☐ производить численные оценки по порядку величины;
- ☐ делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- ☐ эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

владеть:

- ☐ навыками освоения большого объема информации;
- ☐ навыками самостоятельной работы в научной библиотеке, лаборатории и интернете;
- ☐ культурой постановки и моделирования физических задач;
- ☐ навыками теоретического анализа реальных задач, связанных со свойствами молекул, электромагнитного излучения и взаимодействия между ними.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Основы теории строения вещества. Уравнение Шредингера. Поверхность потенциальной энергии	8			15
2	Взаимодействие квантованного электромагнитного поля с молекулой. Элементы теории временной эволюции квантовой системы	8			15
3	Фотофизические и фотохимические процессы	8			15

4	Химические реакции в конденсированной фазе. Взаимодействие с окружающей средой. Химическая физика сольватации	6			15
5	Химическая физика наночастиц. Элементы современной Нанопотоники	10			25
6	Преобразование солнечной энергии в электрическую, химическую	10			25
7	Химическая физика в медицине и науках о жизни. Элементы современной биофотоники	10			25
Итого часов		60			135
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		225 час., 5 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

##### Семестр: 1 (Осенний)

##### 1. Основы теории строения вещества. Уравнение Шредингера. Поверхность потенциальной энергии

Атом, молекула, кристалл - квантово-механическое описание, гамильтониан и уровни энергии. Уравнение Шредингера для атома, молекулы, кристалла.

Уравнение Шредингера для системы электронов и ядер - теоретическая основа для описания химической реакции.

Адиабатическое приближение, потенциальные поверхности молекулярных систем, неадиабатические переходы.

Адиабатическое приближение - физическое обоснование. Адиабатическое приближение - математическая формулировка. ППЭ

##### 2. Взаимодействие квантованного электромагнитного поля с молекулой. Элементы теории временной эволюции квантовой системы

Электромагнитное излучение в химии: характерные величины.

Взаимодействие квантованного электромагнитного поля с молекулой.

Поглощение, излучение, безизлучательные переходы в атоме, молекуле, твердом теле. Квантовый выход.

Дипольный момент и оптический дипольный момент.

Точные правила отбора для индуцируемых светом внутримолекулярных переходов в двухатомной молекуле. Приближенные правила отбора для индуцируемых светом внутримолекулярных переходов в двухатомной молекуле.

Принцип Франка-Кондона.

Основные представления о нелинейной оптической спектроскопии.

Фемтосекундные лазерные импульсы, их особенности и применение.

3-х уровневая модель фемтосекундного эксперимента возбуждение-зондирование.

Понятие о колебательном волновом пакете. Формирование колебательного волнового пакета. Управление временной эволюцией волновых пакетов путем вариации амплитудно-фазовыми характеристиками фемтосекундных импульсов.

Когерентная химическая динамика – эволюция нестационарных квантовых состояний молекул.

##### 3. Фотофизические и фотохимические процессы

Общие представления о фотохимических и фотофизических процессах.

Квантовый выход, излучательные и безизлучательные внутримолекулярные переходы.

Фотохимические реакции - переноса электрона, фотодиссоциации, фотополимеризации, фотоизомеризации, фотохромизм, фотохимия металлокомплексов, образование и распад эксимеров и эксиплексов.

Общие представления о модельных поверхностях потенциальной энергии фотохимического акта.

Фотоионизация - многофотонная ионизация и туннельная ионизация в сильном поле лазера (элементы теории Келдыша).

Элементарные представления о фотокатализе.

Процессы переноса энергии электронного возбуждения - механизмы переноса:

диполь-дипольный Фёрстера,

обменный Декстера, экситонный механизм переноса. Экситонные состояния в молекулярных агрегатах, молекулярных кристаллах и фотосистемах природного фотосинтеза. Описание в рамках теории временной эволюции квантовой системы.

Важнейшие фотобиологические процессы - фотосинтез, зрение, фототаксис.

#### 4. Химические реакции в конденсированной фазе. Взаимодействие с окружающей средой. Химическая физика сольватации

Полярное и неполярное молекулярное окружение. Гидрофильность и гидрофобность.

Диполь в электрическом поле. Эффект Штарка.

Представления о теории Лорентца, Дебая, Онзагера, Липперт-Матаги. Современные континуальные модели сольватации.

Динамика сольватации возбужденных состояний. Динамический стоксов сдвиг.

Элементарные представления о специфической сольватации.

Спектроскопия межмолекулярных взаимодействий. Микроскопическая теория дефазирования - стохастическая теория Кубо, модель Броуновского осциллятора.

Лазерная спектроскопия в исследовании взаимодействия молекулы-зонда с окружающей молекулярной средой.

### Семестр: 2 (Весенний)

#### 5. Химическая физика наночастиц. Элементы современной Нанопотоники

Общие представления о коллоидах - поверхностный заряд, двойной слой, электрокинетические свойства наночастиц. Стабильность коллоидов. Теория Дерягина-Ландау-Вервея-Овербека (Derjaguin-Landau-Verwey-Overbeek DLVO). Стерическое отталкивание в коллоиде.

Общие представления об электронной структуре наночастиц. Термодинамика наночастиц.

0D, 1D, 2D и 3D размерность - электрические и оптические свойства наночастиц и наноструктур.

Полупроводниковые наночастицы - квантовые точки, спектральные свойства и размерные эффекты. Экситоны в кристалле твердого тела. Боровский радиус экситона. Эффект квантового ограничения (Quantum confinement).

Металлические наночастицы, плазмонный резонанс и элементы наноплазмоники. Понятие полярона. Понятие объемного плазмона, поверхностного плазмона и локализованного плазмона-поляритона. Плазмонный резонанс (условие Фрелиха Fröhlich).

Релаксация плазмона. Фемтосекундная спектроскопия.

Модовый состав электромагнитного поля в ближнем поле наночастицы. Понятие ближнего и дальнего поля.

Усиление электромагнитного поля в модах ближнего поля.

Возбужденная молекула, оптический диполь в ближнем поле. Эффект Парселла (Purcell).

Усиление и ослабление люминесценции оптического диполя в ближнем поле плазмона.

Гигантское комбинационное рассеяние (Surface Enhanced Raman Scattering).

Наноразмерные системы на основе углерода.

Общие представления об электрических свойства наночастиц. Представления об электропроводимости нанотрубок и нанопалочек. Проводимость нанокомпозитов.

Магнитные свойства наночастиц. Размерные эффекты. Суперпарамагнетики.

Аналитические и биоаналитические применения наночастиц. Химические, биологические сенсоры с использованием наночастиц.

## 6. Преобразование солнечной энергии в электрическую, химическую

Термодинамика преобразования солнечной энергии.

Термоэлектрическое преобразование.

Фотоэлектрическое преобразование. Фотоэффект в полупроводниках.

Многоэкситонные возбуждения и Оже процессы в наночастицах полупроводника: можно ли повысить к.п.д. преобразования энергии света в электричество (химическое топливо) за счет квантовых эффектов в наноразмерных системах?

Преобразование энергии света в химическое топливо, фотоэлектролиз воды. Фоторазделение зарядов в молекулярных системах и в полупроводниках. Фотокаталитическое разложение воды на кислород и водород.

Фотогенерация тока. Фотовольтаические солнечные ячейки из мезопористых пленок полупроводниковых наночастиц сенсibilизированные красителями, солнечные ячейки с использованием квантовых точек, солнечные ячейки на основе полимеров.

Фотобиокаталитические системы для разложения воды на водород и кислород. Современные подходы к использованию природных фотосистем для восстановления воды до водорода и фотоэлектролиза воды до кислорода и водорода. Сопряжение с топливными элементами.

## 7. Химическая физика в медицине и науках о жизни. Элементы современной биофотоники

Оптические методы визуализации биоткани (клетка, ткань, организм), лазерная диагностика, лазерная хирургия тканей и клеток.

Современные маркеры для оптической микроскопии на основе пигментов, квантовых точек, люминесцентных наночастиц, плазмонных наночастиц, цветных люминесцентных белков.

Современные методы нелинейной и когерентной оптической микроскопии.

Микроскопия субдифракционного разрешения – микроскопия ближнего поля и нелинейная оптическая микроскопия.

Оптическая микроскопия одиночных молекул. Микроскопия с использованием оптических зондов и принципов диполь-дипольного переноса энергии FRET.

Исследования динамических процессов в биообъектах различной природы.

Химико-физические методы биофотоники в определении состава и пространственного распределения биоорганических компонент и локализации патологий в биообъектах различной природы (клетка, ткань, организм и т.п.),

Направленная доставка лекарств, химико-физические методы манипулирования доставкой лекарственных препаратов к месту локализации патологий, лазерная и оптическая терапия, методы дезинфекции антибиотик резистентных бактерий и микроорганизмов.

Современные химико-физические методы активации иммунной системы, оптические методы управления апоптозом, методы фотохимической, фототермальной и фотодинамической терапии в онкологии.

## **5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

## **6.Перечень рекомендуемой литературы**

### Основная литература

1. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 3 : Квантовая механика. Нерелятивистская теория : учеб. пособие для вузов: рек. М-вом образования РФ / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского .— 6-е изд., испр. — М. : Физматлит, 2008 .— 800 с.
2. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 1 : Механика / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. Питаевского - М.Физматлит,2017
3. Квантовая механика и квантовая химия [Текст] : учебник для вузов / Н. Ф. Степанов .— М. : Мир ; Изд-во МГУ, 2001 .— 519 с.
4. Теория строения молекул [Текст] / В. И. Минкин, Б. Я. Симкин, Р. М. Миняев - Ростов/Д.Феникс,1997

### Дополнительная литература

1. Строение молекул и квантовая химия [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. И. Дементьев, С. О. Адамсон ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т .— М. : Изд-во МФТИ, 2008 .— 252 с.
2. Квантовая химия. Молекулы, молекулярные системы и твердые тела [Текст] / В. Г. Цирельсон - М.БИНОМ. Лаб. знаний,2010

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

Не используются

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

не предусмотрены.

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.



Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра химической физики
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр
Семестры, формы промежуточной аттестации:	
1 (осенний) - Дифференцированный зачет	
2 (весенний) - Экзамен	
<b>Разработчик:</b>	В.А. Надточенко, д-р физ.-мат. наук, профессор

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Фотоника молекулярных и наноразмерных систем» обучающийся должен:

### знать:

- ☐ физические свойства возбужденных состояний в молекулах, наночастицах, твердом теле;
- ☐ основы теорий элементарных фотохимических и фотофизических процессов;
- ☐ о физических принципах фотоэлектрохимии, фотокатализа и преобразования солнечной энергии;
- ☐ основные представления о природных фотохимических процессах - фотохимии атмосферы, природного фотосинтеза и зрения;
- ☐ порядки физических величин, характерных для элементарных процессов фотохимии и фотофизики.

### уметь:

- ☐ абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных молекулярных процессов;
- ☐ делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- ☐ производить численные оценки по порядку величины;
- ☐ делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- ☐ эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

### владеть:

- ☐ навыками освоения большого объема информации;
- ☐ навыками самостоятельной работы в научной библиотеке, лаборатории и интернете;
- ☐ культурой постановки и моделирования физических задач;
- ☐ навыками теоретического анализа реальных задач, связанных со свойствами молекул, электромагнитного излучения и взаимодействия между ними.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия.

## 4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к дифференцированному зачету:

- 1) Уравнение Шредингера для молекулы. Поверхность потенциальной энергии. Диаграмма Яблонского.

- 2) Оператор плотности чистого состояния.
- 3) Эволюция оператора плотности.
- 4) Оператор плотности статистического ансамбля.
- 5) Оператор плотности в представлении Лиувилля.
- 6) Уравнение Шредингера для полупроводника. Функция Блоха, квазиимпульс, зонная структура.
- 7) Экситоны и электрон-дырочные пары.
- 8) Правила отбора для твердого тела. Прямые и непрямые переходы.
- 9) Полупроводниковые наночастицы. Размерные квантовые эффекты.
- 10) Квантовые точки.
- 11) Нанотрубки и наностержни, нанопроволоки и наноленты
- 12) Плазменные колебания электронов в металле. Диэлектрическая функция металла.
- 13) Поверхностный плазмон-поляритон.
- 14) Поляризуемость металлической наночастицы в диэлектрике. Резонанс Ми.
- 15) Моды электромагнитного поля в ближнем поле наночастицы.
- 16) Усиление светового поля в ближнем поле металлической наночастицы.
- 17) Взаимодействие оптического диполя с плазмоном. Усиление люминесценции. Эффект гигантского рамановского рассеяния.
- 18) Внутренняя конверсия, интерконверсия. Квантовый выход люминесценции, фосфоресценции, фотохимической реакции.
- 19) Диполь-дипольный перенос энергии.
- 20) Обменный механизм переноса энергии.
- 21) Экситонный механизм переноса энергии.
- 22) Эксимер и эксиплекс.
- 23) Процессы фотосенсибилизации
- 24) Свободная энергия реакции переноса электрона.

Вопросы к экзамену:

- 1) Уравнение Шредингера для молекулы. Поверхность потенциальной энергии. Диаграмма Яблонского.
- 2) Оператор плотности чистого состояния.
- 3) Эволюция оператора плотности.
- 4) Оператор плотности статистического ансамбля.
- 5) Оператор плотности в представлении Лиувилля.
- 6) Уравнение Шредингера для полупроводника. Функция Блоха, квазиимпульс, зонная структура.
- 7) Экситоны и электрон-дырочные пары.
- 8) Правила отбора для твердого тела. Прямые и непрямые переходы.
- 9) Полупроводниковые наночастицы. Размерные квантовые эффекты.
- 10) Квантовые точки.
- 11) Нанотрубки и наностержни, нанопроволоки и наноленты
- 12) Плазменные колебания электронов в металле. Диэлектрическая функция металла.
- 13) Поверхностный плазмон-поляритон.
- 14) Поляризуемость металлической наночастицы в диэлектрике. Резонанс Ми.
- 15) Моды электромагнитного поля в ближнем поле наночастицы.
- 16) Усиление светового поля в ближнем поле металлической наночастицы.
- 17) Взаимодействие оптического диполя с плазмоном. Усиление люминесценции. Эффект гигантского рамановского рассеяния.
- 18) Внутренняя конверсия, интерконверсия. Квантовый выход люминесценции, фосфоресценции, фотохимической реакции.
- 19) Диполь-дипольный перенос энергии.
- 20) Обменный механизм переноса энергии.
- 21) Экситонный механизм переноса энергии.
- 22) Эксимер и эксиплекс.

- 23) Процессы фотосенсибилизации
- 24) Свободная энергия реакции переноса электрона.
- 25) Фотоиндуцированный перенос электрона. Свободная энергия фотохимической реакции переноса электрона. Роль среды.
- 26) Теория Маркуса. Энергия реорганизации среды. Электрон-электронное взаимодействие.
- 27) Параболическая зависимость константы скорости реакции переноса электрона от свободной энергии реакции. Прямой и инверсный режим переноса электрона.
- 28) Фотоиндуцированный перенос протона.
- 29) Фотоионизация.
- 30) Однофотонные и многофотонные процессы.
- 31) Фотодиссоциация. Фотоизомеризация
- 32) Перициклическиеconcertные реакции.
- 33) Фотохромизм в молекулярных реакциях. Коническое пересечение.
- 34) Фотополимеризация, стабилизация и фотодеградация полимеров и пигментов
- 35) Фотохимические реакции органического синтеза.
- 36) Фотохимические процессы на границе раздела твердое тело/ твердое тело, твердое тело/электролит. Фотоиндуцированное разделение заряда
- 37) Термодинамика преобразования солнечного света.
- 38) Фотолиз воды.
- 39) Фотовольтаические и фотогальванические ячейки.
- 40) Элементарные фотохимические реакции в атмосфере. Защита озонового слоя.
- 41) Бактериальный фотосинтез. Фотособирающий антенный комплекс.
- 42) Растительный фотосинтез.
- 43) Элементарные фотохимические процессы зрения.

Примеры экзаменационных билетов:

Пример 1:

1. Фотохромизм в молекулярных реакциях.
2. Плазменные колебания электронов в металле. Диэлектрическая функция металла.

Пример 2:

1. Бактериальный фотосинтез. Фотособирающий антенный комплекс
2. Уравнение Шредингера для молекулы. Поверхность потенциальной энергии. Диаграмма Яблонского

#### Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 бала - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 бала - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 бала - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 бал - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

При проведении дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету не должен превышать одного астрономического часа.

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 1 час на подготовку. Опрос обучающегося по билету не должен превышать одного астрономического часа.