

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	4
<b>1. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ (СРС)</b>	5
1.1. Самостоятельная работа студентов без участия преподавателей	5
1.2. Самостоятельная работа студентов с участием преподавателей	5
1.3. Общие сведения об организации самостоятельной работы студентов	5
1.4. Усвоение лекционного материала	7
1.5. Подготовка к проведению лабораторной работы и оформление отчета	7
<b>2. РЕФЕРАТ</b>	8
2.1. Выбор темы	8
2.2. Общие требования к выполнению реферата	8
2.3. Содержание и объем	9
2.4. Оформление текста	10
2.5. Публичная защита реферата	11
2.6. Общие замечания и недочеты	11
<b>ЛИТЕРАТУРА</b>	13
<b>Приложение 1.</b> Выдержки из рабочей программы образовательного модуля «Физика и технология гетероструктур, оптика квантовых наноструктур»	14
<b>Приложение 2.</b> Темы рефератов	34
<b>Приложение 3.</b> Вопросы и задания для самостоятельной работы студента	36
<b>Приложение 4.</b> Вопросы для самопроверки:	38
<b>Приложение 5.</b> Примеры тестовых заданий	42
<b>Приложение 6.</b> Правила оформления графического материала и математических формул	50
<b>Приложение 7.</b> Образцы библиографических записей	52

## ВВЕДЕНИЕ

Методические рекомендации составлены на основе государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования [1] с учётом специфики подготовки магистрантов по направлению «Фотоника и оптоинформатика», для образовательного модуля «Оптика наноструктур» модуль «Физика и технология гетероструктур, оптика квантовых наноструктур». По этой дисциплине предусматриваются следующие аудиторные занятия:

- лекции с применением компьютерных презентаций;
- лабораторные работы.

Учебная программа предусматривает два основных вида самостоятельной работы студентов (СРС) – аудиторную (под руководством преподавателя) и внеаудиторную (без участия преподавателей). В самостоятельную работу студентов (СРС) входит: усвоение лекционного материала на базе рекомендованной лектором учебной литературы, включая информационные образовательные ресурсы (электронные учебники, электронные библиотеки и др.), подготовка к лабораторным работам и их оформление; подготовка и написание рефератов на заданные темы; выполнение научных исследований, подготовка к участию в научно-технических конференциях.

## **1. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ (СРС)**

### **1.1. Самостоятельная работа студентов без участия преподавателей**

Основными видами самостоятельной работы студентов (СРС) без участия преподавателей являются:

- усвоение лекционного материала на базе рекомендованной лектором учебной литературы, включая информационные образовательные ресурсы (электронные учебники, электронные библиотеки и др.);
- подготовка к лабораторным работам, их оформление;
- подготовка и написание рефератов на заданные темы (студенту предоставляется право выбора темы);
- составление аннотированного списка статей из соответствующих журналов по отраслям знаний; перевод научных статей; подбор и изучение литературных источников;
- выполнение научных исследований;
- подготовка к участию в научно-технических конференциях.

### **1.2. Самостоятельная работа студентов с участием преподавателей**

Основными видами самостоятельной работы студентов с участием преподавателей являются:

- текущие консультации;
- получение допуска и защита лабораторных работ (во время проведения лабораторных работ);
- выбор темы реферата (в часы консультаций);
- выполнение учебно-исследовательской работы (руководство и консультирование);
- подготовка к участию в научно-технических конференциях (руководство и консультирование).

### **1.3. Общие сведения об организации самостоятельной работы студентов**

Самостоятельная работа студентов проводится в объемах, предусмотренных учебным планом, и регламентируется выдачей тем рефератов или научных докладов на лекционных и лабораторных занятиях с проверкой исполнения на последующих занятиях или консультациях. При выполнении рефератов руководство СРС осуществляется в форме консультаций.

Основное назначение методических рекомендаций – дать возможность каждому студенту перейти от деятельности, выполняемой под руководством преподавателя, к деятельности, организуемой самостоятельно, а также к полной замене контроля со стороны

преподавателя самоконтролем. Цель СРС – научить студента осмысленно и самостоятельно работать сначала с учебным материалом, затем с научной информацией, заложить основы самоорганизации и самовоспитания с тем, чтобы привить умение в дальнейшем непрерывно повышать свою квалификацию.

В комплект учебно-методических материалов, используемых при самостоятельной работе студентов, входят:

- рабочая программа модуля (выдержки из программы приведены в Приложении 1);
- учебно-методическое пособие [2], методические рекомендации по лабораторному практикуму [3], методические рекомендации по выполнению СРС, комплект контрольных заданий и тестов, презентационный материал (электронные презентации), виртуальная лаборатория, электронный глоссарий, анимированные демонстрации, учебная литература;
- темы рефератов (Приложение 2);
- вопросы и задания для самостоятельной работы студентов (см. Приложение 1,3);
- вопросы для самопроверки (Приложение 4);
- примеры контрольных заданий и тестов (Приложение 5);
- методические рекомендации по организации самостоятельной работы при выполнении заданий по разным видам занятий.

Уровень знаний студента по данному модулю оценивается определенным количеством баллов (таблица 1).

Таблица 1. Оценка уровня знаний по образовательному модулю №2 «Физика и технология гетероструктур, оптика квантовых наноструктур».

<b>Форма контроля</b>	<b>Максимальное количество баллов</b>
Защита лабораторных работ	50
Реферат	50
Тестирование	50
<b>ИТОГО:</b>	<b>150</b>

Для дополнительной оценки уровня усвоения знаний служит набор тестовых заданий (примеры контрольных заданий и тестов приведены в Приложении 5), ответы на которые требуют от студента не только воспроизведения знаний, но и понимания материала.

#### **1.4. Усвоение лекционного материала**

Рекомендуется после каждой лекции оформлять конспект лекций. Перед каждой лекцией прочитывать конспект предыдущей лекции, что способствует лучшему восприятию нового материала.

Рекомендованная преподавателями литература и учебные пособия (смотри список литературы в Приложении 1) служат информационной основой и позволяют регулярно занимающимся студентам усваивать лекционный материал. Для обеспечения терминологической однозначности учебное пособие содержит словарь основных терминов, используемых в нем. Кроме того, программа курса лекций содержит вопросы для самоконтроля.

#### **1.5. Подготовка к проведению лабораторной работы и оформление отчета**

Лабораторная работа включает самостоятельную проработку теоретического материала, изучение методик проведения и планирование эксперимента, изучение измерительных средств и приборов, обработку и интерпретацию экспериментальных данных. При проведении лабораторного практикума необходимо:

- подготовиться к экспресс-опросу по теоретическому материалу, необходимому для выполнения работы (для получения допуска к лабораторной работе), с использованием руководства по выполнению лабораторных работ и рекомендованной литературы;
- подготовить и оформить план выполнения лабораторной работы;
- после выполнения лабораторной работы провести необходимые расчеты, выполнить анализ полученных данных и оформить отчет в соответствии с руководством по выполнению лабораторных работ;
- сдать отчет по выполненной лабораторной работе и ответить на вопросы преподавателя (получить зачет за выполненную работу).

Краткие теоретические сведения и порядок проведения лабораторных работ представлены в [3]. Правила оформления графического материала и математических формул приведены в Приложении 6.

## **2. РЕФЕРАТ**

### **2.1. Выбор темы**

В течение семестра студент должен оформить и защитить реферат. Целью выполнения реферата является формирование у студентов навыков самостоятельной научно-исследовательской деятельности. Задачи реферата состоят в систематизации, закреплении и расширении теоретических знаний, полученных на лекциях и лабораторных работах.

Реферат подготавливает студента к выполнению более сложной задачи – магистерской диссертации. Он приобщает студентов к самостоятельной творческой работе с литературой, приучает выделять в ней основные положения, относящиеся к избранной проблеме, подбирать, обрабатывать и анализировать конкретный материал и делать соответствующие выводы. Кроме того, студент привыкает четко, последовательно и грамотно излагать свои мысли при анализе теоретических проблем и учиться творчески применять теорию. Реферат закрепляет навыки работы на компьютере в процессе поиска необходимой информации и оформлении работы.

Тему реферата студенты выбирают из списка, предложенного преподавателями. Примеры тем рефератов представлены в программе курса лекций (см. Приложение 2), однако выбранная тема может изменяться и дополняться в процессе работы. Студент также может предложить собственную тему, обосновав при этом целесообразность ее разработки, или уточнить редакцию предлагаемой темы с преподавателем. Кроме того, по согласованию с преподавателем вместо реферата студент может представить подготовленную к печати научную статью (например, обзор литературы по актуальной теме), тезисы доклада на научной конференции, перевод научных статей с краткой аннотацией, составленной самим студентом. Печатные работы не являются обязательными для всех студентов, но приветствуются и учитываются при защите реферата.

Рационально подбирать тему реферата таким образом, чтобы она вместе с магистерской диссертацией составляла единую систему последовательно усложняемых и взаимосвязанных работ. Например, реферат в последствии может быть использован при написании одной из глав магистерской диссертации. Реферат должен отвечать определенным требованиям (стандартам) по содержанию и оформлению.

### **2.2. Общие требования к выполнению реферата**

Материал реферата должен излагаться логически последовательно и четко. Выполнение реферата целесообразно расчленить на 5 этапов:

- 1) выбор темы;
- 2) подбор и изучение литературы;
- 3) обработка материала;

- 4) написание реферата;
- 5) защита реферата.

После утверждения темы реферата, студент с помощью руководителя составляет первоначальный список литературы по выбранной теме, затем ведет самостоятельный поиск литературы в справочно-библиографическом отделе библиотеки, а также в сети Интернет. На основе проведенного поиска составляется уточненный список литературы, который в процессе работы над темой может изменяться и дополняться.

Для раскрытия содержания избранной темы студенту необходимо:

- изучить научные работы по данной проблеме (монографии, статьи);
- опираться на учебную литературу по данной дисциплине.

Начинать изучение темы лучше всего с чтения соответствующих разделов учебников. Затем следует переходить к чтению более сложного материала – общей и специальной литературы. Читая материал, надо стараться извлечь из него только такую информацию, которая необходима для работы. Во время чтения уясняются все незнакомые слова и термины. Для этого используются словари и справочники.

После проведения предварительной работы можно переходить к написанию реферата.

### **2.3. Содержание и объем**

Объем реферата зависит от сложности темы и доступности литературных источников. Как правило, объем реферата составляет 15–20 страниц (вместе с титульным листом и списком литературы).

#### ***Содержание***

По содержанию реферат, в основном, представляет собой обзор, систематизацию и анализ публикаций по определенной тематике, связанной с изучаемой специальностью. Реферативный обзор включает следующие разделы:

- обоснование актуальности выбранной тематики и описание целей выполнения работы;
- систематизация и анализ материалов, найденных в научной печати, в сети Интернет и других источниках;
- выводы, предложения по использованию результатов работ в конкретных областях и возможные направления дальнейших исследований.

Реферат должен быть написан хорошим литературным языком. Язык, стиль изложения, умение строить краткие предложения, выражать свое мнение в понятной форме, не допускающей разночтений, имеют большое значение. Следует соблюдать единообразие в применении терминов, условных обозначений и сокращений слов. Чтобы избежать

стилистических ошибок, рекомендуется использовать современные издания словарей, справочников и энциклопедий.

### ***Структура реферата:***

- титульный лист;
- введение;
- основное содержание;
- заключение;
- список литературы.

Начинать «Введение» целесообразно с постановки проблемы и обоснования выбора темы. Например, проблема привлекает внимание многих исследователей, требует прояснения и дополнения; обоснование выбора темы связано с ее актуальностью и новизной и т.д. Объем введения – не более 0,5–1 страницы.

В *основной части* непосредственно раскрывается проблема. При этом важно не только продемонстрировать существо вопроса, но и отразить особенности трактовок различных авторов.

*Заключение* содержит выводы, в которых поощряется самостоятельность суждений и оценок. Объем заключения не более 0,5–1 страницы.

Перечень использованной *литературы* следует оформлять в виде библиографического списка.

*Приложения.* Вспомогательные или дополнительные материалы, которые загромождают текст реферата, помещают в *приложении*. Это могут быть иллюстрации, таблицы, графики и т.п. Приложения нумеруются. Каждое приложение должно начинаться с новой страницы, в правом верхнем углу иметь надпись «Приложение» с указанием порядкового номера, затем в центре пишется заголовок. В тексте обязательно должна присутствовать ссылка на соответствующее приложение.

## **2.4. Оформление текста**

Текст реферата оформляется в принятом для научных работ виде в соответствии с ГОСТ 2.105-95. Текст печатается на одной стороне бумаги формата А4 в редакторе Microsoft Word, шрифт Times New Roman, размером 14 через одинарный межстрочный интервал, с полями 2,5×2,5×2,5×2,5.

*Нумерация страниц.* Страницы работы следует нумеровать арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему документу. Титульный лист включается в общую нумерацию, но номер страницы на нем не проставляется. Иллюстрации, таблицы, графики, расположенные на отдельных листах, включаются в общую нумерацию страниц.

*Титульный лист.* На титульном листе указываются полное название университета, факультета, кафедры, темы реферата, а также фамилия автора, место и год написания. Тема должна быть указана без кавычек и без слова «тема». Формулировка темы должна быть по возможности краткой и соответствовать содержанию работы.

*Список литературы* оформляется согласно правилам оформления печатных работ. Список литературы является обязательной составной частью реферата и показывает умение применять на практике знания, полученные при изучении соответствующих учебных дисциплин. В него включаются библиографические сведения об *использованных* при подготовке работы источниках.

Составление списка – длительный процесс, начинающийся с момента определения темы работы.

В списке указываются использованные автором научные публикации, а также другие источники, в том числе электронные. На все перечисленные в списке источники в соответствующих местах работы должны быть сделаны ссылки (номер источника заключается в квадратные скобки). Рекомендуется использование литературы, изданной за последние 3–4 года. При чтении литературы необходимо сначала ориентироваться на фундаментальные работы (монографии и научные труды), затем дополнять свои знания за счет периодических изданий. Материал, необходимый для реферата желательно конспектировать.

Рекомендуется представлять единый список литературы к работе в целом. В этом случае каждый источник упоминается в списке один раз, вне зависимости от того, как часто на него делается ссылка в тексте работы. Подробней правила оформления списка литературы приведены в Приложении 7.

## **2.5. Публичная защита реферата**

Защита и оценка реферата – это подведение итогов самостоятельной работы студента по дисциплине. Защита проводится как на лабораторных занятиях и консультациях, так и во внеурочное время. При защите реферата студент учится не только правильно излагать свои мысли, но и аргументировано отстаивать и защищать выбранную тему и выдвигаемые положения. Продолжительность выступления 5–10 минут. На защите присутствуют студенты из группы и преподаватель. Во время защиты необходимо ответить на заданные вопросы.

## **2.6. Общие замечания и недочеты**

Типичные ошибки, встречающиеся в студенческих рефератах:

1) *по содержанию*

- вместо самостоятельной работы над изучением рекомендованной литературы дословно списывают текст из учебной литературы или научных статей;
- в работе используют устаревшую литературу;
- не формулируют выводы;

2) *по оформлению*

- отсутствует список литературы;
- список литературы не отвечает указанным в работе ссылкам или ссылки вообще отсутствуют;
- объем реферата мал (меньше 10 листов) или велик (больше 40 листов);
- в работе много орфографических ошибок, опечаток, описок.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки НОИ4 «Фотоника и оптоинформатика». Москва, 2000.
2. А.В. Федоров, Физика и технология гетероструктур, оптика квантовых наноструктур. Учебное пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. 196 С.
3. А.В. Баранов, Ю.М. Воронин, Физика и технология гетероструктур, оптика квантовых наноструктур. Лабораторный практикум. – СПб: ГУИТМО, 2009. – 54 С.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
образовательного модуля №2 «Физика и технология гетероструктур,  
оптика квантовых наноструктур»**

по направлению подготовки	<u>НОИ4 «Фотоника и оптоинформатика»</u>
по магистерской программе	<u>«Оптика наноструктур» 2 этап «Технологии»</u>
факультет	<u>фотоники и оптоинформатики</u>

## **1. Организационно-методический раздел**

### **1.1. Цель образовательного модуля**

Подготовка специалистов, владеющих современными теоретическими и экспериментальными методами проведения научно-исследовательской работы в области физики и оптики систем с пониженной размерностью, в том числе единичных наноструктур и обладающих умением использовать эти знания при решении актуальных прикладных задач в области нанотехнологий, оптоэлектроники, биологии, медицины, и т.д.

### **1.2. Учебные задачи модуля**

Получение студентами (магистрантами) набора знаний о методах и технике исследования и диагностики низкоразмерных объектов, включая оптическую, атомно-силовую и электронную микроскопию, спектроскопию поглощения света, люминесцентную спектроскопию и спектроскопию комбинационного рассеяния света, спектроскопию выжигания долгоживущих провалов в неоднородно уширенном контуре поглощения, а также разные методы измерения времен жизни электронных возбуждений. Получение сведений о перспективах развития nanoиндустрии и использования nanoобъектов в различных отраслях промышленности, в электронике, опто-информационных системах, в биологии, в медицине, в строительстве.

### **1.3. Место модуля среди других модулей учебного плана**

Получение студентами (магистрантами) знаний по технологии создания наноструктур различного типа, включая основы методов молекулярно-лучевой эпитаксии, газофазной эпитаксии, литографии и высокотемпературного синтеза нанокристаллов в диэлектрических средах. Получение знаний о физике систем с пониженной размерностью, а также о линейных и нелинейных оптических свойствах наноструктур в стационарном и переходном режимах. Получение сведений о перспективах

развития наноиндустрии и использования нанообъектов в различных отраслях промышленности, в электронике, опто-информационных системах, в биологии, в медицине.

#### **1.4. Методы преподавания модуля**

- лекции с применением компьютерных презентаций;
- лабораторные работы;
- самостоятельная работа студентов, в которую входит усвоение лекционного материала на базе рекомендованной лектором учебной литературы, включая информационные образовательные ресурсы (электронные учебники, электронные библиотеки и др.), подготовка к лабораторным работам и их оформление; подготовка и написание рефератов на заданные темы; выполнение научных исследований, подготовка к участию в научно-технических конференциях.

#### **1.5. Место модуля среди других модулей учебного плана**

Предлагаемый модуль опирается на знания, полученные ранее в рамках общего курса физики и физики твердого тела, курсов теоретической механики, электродинамики, технической физики, квантовой механики, квантовой электроники, электронных приборов, специальных курсов по фемтосекундной оптике и фемтотехнологиям, наноструктурам в электронике, опто-информационных системах, биологии и медицине.

#### **1.6. Требования к уровню освоения модуля**

Предполагается умение самостоятельно работать с учебной и научной литературой по указанному кругу вопросов, выполнять физические эксперименты и качественные и количественные оценки параметров, характеризующих изученные в рамках данного комплекса свойства наноструктур, проводить анализ полученных данных и делать обоснованные заключения о результатах исследования.

Должны быть приобретены навыки экспериментального исследования и получения количественных оценок параметров наноструктур и оптоэлектронных элементов на их основе при внешнем электрическом, механическом и световом воздействии.

Совокупность полученных знаний, умений и навыков должна обеспечить способность:

- 1) дальнейшего изучения (в.т.ч., самостоятельного) более сложных современных вопросов физики и технологии наноструктур;

- 2) самостоятельно выполнять измерения оптических, электрических и других характеристик наноструктурированных материалов, анализировать результаты измерений и давать их физическую интерпретацию;
- 3) самостоятельно выполнять феноменологические или квантовомеханические расчеты величин, характеризующих отклик материалов с наноструктурами на внешние воздействия;
- 4) проводить сравнительную оценку самостоятельно полученных и имеющихся в литературе данных с использованием электронной базы международного научного сообщества (сайты физических журналов, издательств, фондов, др.);
- 5) анализировать тенденции развития наноиндустрии, основные перспективные технологии создания наноструктур, связь технических достижений в фотофизике наноструктурированных материалов с совершенствованием приборов, используемых в промышленности, науке, медицине и биологии.

## 2. Тематический план изучения модуля

Таблица 2.1. Аудиторная работа

№ темы	Наименование темы	Лекции	Семинары	Лабораторные работы	Всего часов	Формы контроля
1	Технология гетеро- и наноструктур	12	2	12	26	тестирование, защита лабораторных работ
2	Фотонные кристаллы	2	0	0	2	тестирование,
3	Квантовые ямы и нити	10	4	0	14	тестирование
4	Квантовые точки	10	4	12	26	тестирование, защита лабораторных работ
5	Применение квантово-размерных структур в приборах наноэлектроники и оптоэлектроники	4	2	0	6	тестирование
	<b>ИТОГО:</b>	38	12	24	74	<b>экзамен</b>

**Таблица 2.2. Самостоятельная работа**

№ темы	Наименование темы	Самостоятельная работа, часы/зач.ед			
		Подготовка к лабораторным работам и их оформление	Подготовка и написание рефератов	Всего часов	Формы контроля
1	Технология гетеро- и наноструктур	12	4	16	тестирование, реферат
2	Фотонные кристаллы	0	0	0	
3	Квантовые ямы и нити	0	8	8	реферат
4	Квантовые точки	12	8	20	тестирование, реферат
5	Применение квантово-размерных структур в приборах наноэлектроники и оптоэлектроники	0	4	4	реферат
	<b>ИТОГО:</b>	24	24	48	

### **3. Содержание образовательного модуля и рекомендации по его реализации**

#### **ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ МОДУЛЬ №1 «Физика и технология гетероструктур, оптика квантовых наноструктур»**

**Тема 1.** Технология гетеро- и наноструктур (42 часа)

##### **Цель и задачи темы**

Получение студентами (магистрантами) набора знаний, умений и навыков в рамках программы данного раздела образовательного модуля.

##### **Требования к уровню освоения темы**

Получение студентами (магистрантами) набора знаний, умений и навыков в рамках программы данного раздела дисциплины.

##### **Содержание темы (теоретический материал).**

1. Твердотельные гетероструктуры
  - 1.1. Полупроводниковый гетеропереход
2. Размерное квантование и квантово-размерные структуры
  - 2.1. Типы квантоворазмерных структур
  - 2.2. Размерное квантование электронной подсистемы квантовых точек
3. Проблемы технологии квантово-размерных структур
4. Синтез и свойства фотонных кристаллов
  - 4.1. Фотонные кристаллы
  - 4.2. Изготовление фотонных кристаллов
5. Молекулярно-лучевая эпитаксия, газофазная эпитаксия, нанолитография
  - 5.1. Молекулярно-лучевая эпитаксия
  - 5.2. Газофазная эпитаксия
  - 5.3. Нанолитография
6. Высокотемпературный синтез нанокристаллов в диэлектрических средах, самоорганизация квантовых точек и квантовых нитей
  - 6.1. Самоорганизация квантовых точек и квантовых нитей

## Лабораторный практикум

№ п/п	Разделы темы	Наименование лабораторных работ
1	Проблемы технологии квантово-размерных структур	Изготовление металлических нанозондов для приборов ближнепольной микроскопии
2	Проблемы технологии квантово-размерных структур	Изготовление диэлектрических наноразмерных зондов на основе волоконно-оптических световодов
3	Молекулярно-лучевая эпитаксия, газофазная эпитаксия, нанолитография	Получение тонких слоев различных материалов методом термического напыления в вакууме

## Семинары

№ п/п	Разделы темы	Тема семинара
1	Молекулярно-лучевая эпитаксия, газофазная эпитаксия, нанолитография	Технология изготовления твердотельных наноструктур

## Методы преподавания

Лекции с применением компьютерных презентаций; самостоятельная работа студентов, в которую входит освоение теоретического материала, написание и оформление реферата, подготовка к текущему и итоговому контролю и т.п.

## Формы и критерии оценивания результатов обучения

Форма контроля	Максимальное количество баллов
Тестирование	50
Защита лабораторных работ	50
Реферат	50
<b>ИТОГО:</b>	<b>150</b>

## Литература

Базовое УМП: [1 Гл.1–6, 2 Гл. 1–3].

Основная литература: [1–18]

Дополнительная литература: [1–13]

Интернет-ресурсы: [1–9]

## **Тема 2. Фотонные кристаллы (2 часа)**

### **Цель и задачи темы**

Получение студентами (магистрантами) набора знаний, умений и навыков в рамках программы данного раздела образовательного модуля. Подготовка к усвоению следующих, более сложных разделов.

### **Требования к уровню освоения темы**

Освоение предусмотренных программой модуля теоретических знаний, понимание принципов проведения физических экспериментов по оптимальной характеристике наноразмерных объектов.

### **Содержание темы (теоретический материал).**

#### **8 Распространение и рассеяние излучения в фотонных кристаллах**

- 8.1. Концепция фотонного кристалла
- 8.2. Электроны в кристаллах
- 8.3. Электромагнитные волны в кристаллических структурах
- 8.4. Распространение и локализация электромагнитных волн
- 8.5. Испускание и рассеяние излучения в фотонных кристаллах: роль плотности фотонных состояний

### **Методы преподавания**

Лекции с применением компьютерных презентаций; самостоятельная работа студентов, в которую входит освоение теоретического материала, подготовка к текущему и итоговому контролю и т.п.

## Формы и критерии оценивания результатов обучения

Форма контроля	Максимальное количество баллов
Тестирование	100
<b>ИТОГО:</b>	<b>100</b>

## Литература

Базовое УМП: Гл. 8.

Основная литература: [10, 17, 18]

Дополнительная литература: [14–33]

Интернет-ресурсы: [1–9]

### Тема 3. Квантовые ямы и нити (22 часов)

#### Цель и задачи темы

Получение студентами (магистрантами) набора знаний, умений и навыков в рамках программы данного раздела образовательного модуля. Подготовка к усвоению следующих, более сложных разделов.

#### Требования к уровню освоения темы

Освоение предусмотренных программой модуля теоретических знаний, понимание принципов проведения физических экспериментов по характеристике наноразмерных объектов, умение проводить анализ полученных экспериментальных данных

#### Содержание темы (теоретический материал)

##### 9. Оптические свойства квантовых ям

9.1. Классификация гетероструктур

9.2. Размерное квантование электронных состояний

9.3. Межзонное поглощение

##### 10. Правила отбора при оптических переходах в квантовых ямах

- 10.1. Межзонные и внутризонные оптические переходы между подзонами размерного квантования
- 11. Резонансное отражение и поглощение света в структурах с квантовыми ямами
  - 11.1. Линейный отклик одиночной квантовой ямы
- 12. Вторичное свечение квантовых ям, квантовые микрорезонаторы
  - 12.1. Комбинационное рассеяние света
  - 12.2. Квантовые микрорезонаторы
- 13. Оптические свойства квантовых нитей
  - 13.1. Методы изготовления квантовых нитей
  - 13.2. Плотность электронных состояний

## Семинары

№ п/п	Разделы темы	Тема семинара
2	Оптические свойства квантовых ям	Оптические методы исследования квантовых ям
3	Оптические свойства квантовых нитей	Оптические методы исследования квантовых нитей

## Методы преподавания

Лекции с применением компьютерных презентаций; самостоятельная работа студентов, в которую входит освоение теоретического материала, подготовка к лабораторной работе и оформление результатов; написание и оформление реферата, подготовка к текущему и итоговому контролю и т.п.

## Формы и критерии оценивания результатов обучения

Форма контроля	Максимальное количество баллов
<b>Тестирование</b>	<b>50</b>
<b>Реферат</b>	<b>50</b>
<b>ИТОГО:</b>	<b>100</b>

## **Литература**

Базовые УМП: [1 Гл. 9–13]

Основная литература: [2, 3, 5, 10, 17, 18]

Дополнительная литература: [34–36]

Интернет-ресурсы: [1–9]

## **Тема 4. Квантовые точки (46 час)**

### **Цель и задачи темы**

Получение студентами (магистрантами) набора знаний, умений и навыков в рамках программы данного раздела образовательного модуля. Подготовка к усвоению следующих, более сложных разделов.

### **Требования к уровню освоения темы**

Освоение предусмотренных программой модуля теоретических знаний, понимание принципов проведения физических экспериментов по характеристике наноразмерных объектов, умение проводить анализ полученных экспериментальных данных.

### **Содержание темы (теоретический материал)**

#### 14. Оптические свойства квантовых точек

14.1. Оптические методы исследования квантовых точек

14.2. Однофотонное поглощение квантовыми точками

#### 15. Двухфотонное поглощение и двухфотонно возбуждаемая люминесценция квантовых точек

15.1. Двухфотонное поглощение квантовыми точками

15.2. Двухфотонно возбуждаемая люминесценция квантовых точек

#### 16. Комбинационное рассеяние света квантовыми точками

16.1. Исследование фононных и электрон-фононных состояний квантовых точек

- 16.2. Комбинационное рассеяние света с участием оптических фононов
17. Оптическая спектроскопия динамики элементарных возбуждений квантовых точек
- 17.1. Исследование динамики элементарных возбуждений квантовых точек
- 17.2. Спектроскопия выжигания стационарных провалов
- 17.3. Четырехволновое смешение и фотонное эхо
18. Когерентный контроль спонтанного вторичного свечения квантовых точек
- 18.1. Контроль квазиупругого вторичного свечения, вторичного свечения с участием фононов и термализованной люминесценции

### Лабораторный практикум

№ п/п	Разделы темы	Наименование лабораторных работ
4	Оптические свойства квантовых точек	Пространственное квантование экситонов в спектрах поглощения квантовых точек полупроводников группы $A_1B_7$
5	Оптические свойства квантовых точек	Проявление размерного квантования электронов в спектрах люминесценции неоднородно уширенных ансамблей квантовых точек полупроводников группы $A_2B_6$
6	Комбинационное рассеяние света квантовыми точками	Гигантское комбинационное рассеяние молекул органических красителей

### Семинары

№ п/п	Разделы темы	Тема семинара
4	Комбинационное рассеяние света квантовыми точками	Исследование квантовых точек методами стационарной оптической спектроскопии
5	Оптическая спектроскопия динамики элементарных возбуждений квантовых точек	Исследование квантовых точек методами нестационарной оптической спектроскопии

## Методы преподавания

Лекции с применением компьютерных презентаций; самостоятельная работа студентов, в которую входит освоение теоретического материала, подготовка к лабораторной работе и оформление результатов; написание и оформление реферата, подготовка к текущему и итоговому контролю и т.п.

## Формы и критерии оценивания результатов обучения

Форма контроля	Максимальное количество баллов
Тестирование	50
Защита лабораторных работ	50
Реферат	50
<b>ИТОГО:</b>	<b>150</b>

## Литература

Базовые УМП: [1 Гл. 14–18, 2 Гл. 4–6].

Основная литература: [3, 6, 9, 11, 15, 17, 18]

Дополнительная литература: [37–47]

Интернет-ресурсы: [1–9]

**Тема 5. Применение квантово-размерных структур в приборах наноэлектроники и оптоэлектроники** (10 час)

### Цель и задачи темы

Получение студентами (магистрантами) набора знаний, умений и навыков в рамках программы данного раздела образовательного модуля. Подготовка к усвоению следующих, более сложных разделов.

### Требования к уровню освоения темы

Освоение предусмотренных программой модуля теоретических знаний, понимание принципов построения и функционирования различных

электронных и оптоэлектронных приборов, основанных на наноструктурах.

### **Содержание темы (теоретический материал)**

7. Применение квантово-размерных структур в приборах наноэлектроники и оптоэлектроники

7.1. Элементы наноэлектроники

7.2. Элементы оптоэлектроники

19. Применение квантовых точек

19.1. Лазеры на квантовых точках для волоконной связи

19.2. Квантовые точки в биологии и медицине

### **Семинары**

<b>№ п/п</b>	<b>Разделы темы</b>	<b>Тема семинара</b>
6	Применение квантово-размерных структур в приборах наноэлектроники и оптоэлектроники	Практическое применение наноструктур

### **Методы преподавания**

Лекции с применением компьютерных презентаций; самостоятельная работа студентов, в которую входит освоение теоретического материала, подготовка к текущему и итоговому контролю и т.п.

### **Формы и критерии оценивания результатов обучения**

<b>Форма контроля</b>	<b>Максимальное количество баллов</b>
<b>Тестирование</b>	<b>50</b>
<b>Реферат</b>	<b>50</b>
<b>ИТОГО:</b>	<b>100</b>

## **Литература**

Базовые УМП: [1. Гл.7, 19]

Основная литература: [10, 11, 16–18]

Дополнительная литература: [42–51]

Интернет-ресурсы: [1–9]

### **4. Учебно-методическое обеспечение модуля**

#### **4.1. Литература**

##### **Базовый учебник.**

В настоящее время отсутствует учебник, охватывающие все или большинство вопросов, изучаемых в рамках образовательного модуля «Физика и технология гетероструктур, оптика квантовых наноструктур».

##### **Базовые учебно-методические пособия**

1. А.В. Федоров, Физика и технология гетероструктур, оптика квантовых наноструктур. Учебное пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. 196 С.
2. А.В. Баранов, Ю.М. Воронин, Физика и технология гетероструктур, оптика квантовых наноструктур. Лабораторный практикум. – СПб: ГУИТМО, 2009. – 54 С.

##### ***Основная литература***

1. А. Милнс, Д. Фойхт. *Гетеропереходы и переходы металл-полупроводник*. Мир. Москва. 1975.
2. М. Херман. *Полупроводниковые сверхрешетки*. Мир. Москва. 1989.
3. А.Я. Шик, Л.Г. Бакуева, С.Ф. Мусихин, С.А. Рыков. *Физика низкоразмерных систем*. Наука. СПб. 2001.
4. *Молекулярно-лучевая эпитаксия и гетероструктуры*. Под ред. Л. Ченга и К. Плога. Мир. Москва. 1989.
5. Флюгге. *Задачи по квантовой механике*. Т. 1,2. Мир. Москва. 1974.
6. Н. Ашкрофт, Н. Мермин. *Физика твердого тела*. Т. 1,2. Мир. Москва. 1979.
7. Ч. Киттель. *Введение в физику твердого тела*. Наука. Москва. 1978.

8. А. Анималу. *Квантовая теория кристаллических твердых тел*. Мир. Москва. 1981.
9. S.V. Gaponenko. *Optical Properties of Semiconductor Nanocrystals*. Cambridge University Press. Cambridge. 1998.
10. E.L. Ivchenko, G.E. Pikus. *Superlattices and other heterostructures*. Springer Ser. Solid State Science. Vol. 110. Springer. Berlin. 1997.
11. D. Bimberg, M. Grundman, N.N. Ledentsov. *Quantum dot heterostructures*. J. Wiley. NY. 1999.
12. А.С. Давыдов. *Теория твердого тела*. Наука. Москва. 1976.
13. Э. Зенгуил. *Физика поверхности*. Мир. Москва. 1990.
14. М. Праттон. *Введение в физику поверхности*. R&C Dynamics. Москва. Ижевск. 2000.
15. К. Борен, Д. Хафмен. *Поглощение и рассеяние света малыми частицами*. Мир. Москва. 1986.
16. А.И. Гусев. *Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии*. Физматлит. Москва. 2005.
17. *Оптика наноструктур*. Под ред. А.В. Федорова. Недра. Санкт-Петербург. 2005.
18. Л.Е. Воробьев, Л.Г. Голуб, С.Н. Данилов, Е.Л. Ивченко, Д.А. Фирсов, В.А. Шалыгин. *Оптические явления в полупроводниковых квантово-размерных структурах*. Изд-во СПбГТУ. Санкт-Петербург. 2000.

### ***Дополнительная литература***

1. A.R. Parker. *515 million years of structural colour*. J. Opt. A: Pure Appl. Opt. 2000.V. 2. R15-R28.
2. В.А. Толмачев, Л.С. Границына, Е.Н. Власова, Б.З. Волчек, А.В. Нащекин, А.Д. Ременюк, Е.В. Астрова. *Одномерный фотонный кристалл, полученный с помощью вертикального анизотропного травления кремния*. ФТП. 2002. Т. 36. С. 996-1000.
3. H. Masuda, H. Yamada, M. Satoh, H. Asoh, M. Nakao, T. Tamamura. *Highly ordered nanochannel-array architecture in anodic alumina*. Appl. Phys. Lett. 1997. V. 71. P. 2770-2772.
4. A.A. Lutich, S.V. Gaponenko, N.V. Gaponenko, I.S. Molchan, V.A. Sokol, V. Parkhutik. *Anisotropic Light Scattering in Nanoporous Materials: A Photon Density of States Effect*. Nano Letters. 2004. V. 4. P. 1755-1758.
5. K. Sakoda. *Optical Properties of Photonic Crystals*. Springer. Berlin. 2001.

6. J. Martorell, N.M. Lawandy. *Observation of inhibited spontaneous emission in a periodic dielectric structure*. Phys. Rev. Lett. 1990. V. 65. P. 1877-1880.
7. E.P. Petrov, V.N. Bogomolov, I.I. Kalosha, S.V. Gaponenko. *Coherent optical polarization of bulk GaAs studied by femtosecond photon-echo spectroscopy*. Phys. Rev. Lett. 1998. V. 81. P. 77-80.
8. A. Ponyavina, S. Kachan, N. Silvanovich. *Statistical theory of multiple scattering of waves applied to three-dimensional layered photonic crystals*. J. Opt. Soc. Am. B. 2004 V. 21. P. 1866-1875.
9. V.G. Golubev, V.Yu. Davydov, N.F. Kartenko, D.A. Kurdyukov, A.V. Medvedev, A.B. Pevtsov, A.V. Scherbakov, E.B. Shadrin. *Phase transition-governed opal-VO<sub>2</sub> photonic crystal*. Appl. Phys. Lett. 2001. V. 79. P. 2127-2129.
10. Yu.A. Vlasov, X.-Z. Bo, J.C. Sturm, D.J. Norris. *On-chip natural assembly of silicon photonic bandgap crystals*. Nature. 2001 V. 414. P. 289-293.
11. S. Noda, K. Tomoda, N. Yamamoto, A. Chutinan. *Full Three-Dimensional Photonic Bandgap Crystals at Near-Infrared Wavelengths*. Science. 2000. V. 289. P. 604-606.
12. F. Wang, V. Salgueirino-Maceira, L.M. Liz-Marzan, F. Caruzo. *Gold-Silica Inverse Opals by Colloidal Crystal Templating*. Adv. Mater. 2002. V. 14. P. 908-912.
13. El-Kady, M.M. Sigalas, R. Biswas, K. M. Ho, C. M. Soukoulis. *Metallic photonic crystals at optical wavelengths*. Phys. Rev. B. 2000. V. 62. P 15299-15302.
14. И.С. Гайнутдинов, Е.А. Несмелов, А.В. Михайлов, В.П. Иванов, Г.И. Абзалова. *Свойства и методы получения интерференционных покрытий для оптического приборостроения*. ФЭН. Казань. 2003.
15. Л.А. Ривлин. *Фотоны в волноводе (несколько мысленных экспериментов)*. УФН. 1997. Т. 167. С. 309-322.
16. В.П. Быков. *Спонтанное излучение в периодической структуре*. ЖЭТФ. 1972. Т. 62. С. 505- 513.
17. В.П. Быков. *Излучение атомов вблизи материальных тел. Некоторые вопросы квантовой теории*. Наука. Москва. 1986.
18. E. Yablonovitch. *Inhibited Spontaneous Emission in Solid-State Physics and Electronics*. Phys. Rev. Lett. 1987. V. 58. P. 2059-2062.
19. E. Yablonovitch, T.J. Gmitter. *Photonic band structure: The face-centered-cubic case*. Phys. Rev. Lett. 1989. V. 63. P. 1950-1953.
20. S. John. *Phys. Electromagnetic Absorption in a Disordered Medium near a Photon Mobility Edge*. Rev. Lett. 1984. V. 53. P. 2169-2172.
21. P.W. Anderson. *Absence of Diffusion in Certain Random Lattices*. Phys. Rev. 1958. V. 109. P. 1492-1505.
22. P.W. Anderson. *The question of classical localization A theory of white paint?* Phil. Mag. B 1985. V. 52. P. 505-509.

23. S. John. *Strong localization of photons in certain disordered dielectric superlattices*. Phys. Rev. Lett. 1987. V. 58. P. 2486-2489.
24. А.И. Ларкин, Д.Е. Хмельницкий. *Андерсоновская локализация и аномальное магнетосопротивление при низких температурах*. УФН. 1982. Т. 136. С. 536-538.
25. P.E. Wolf, G. Maret. *Weak Localization and Coherent Backscattering of Photons in Disordered Media*. Phys. Rev. Lett. 1985. V. 55. P. 2696-2699.
26. K. Ohtaka. *Energy band of photons and low-energy photon diffraction*. Phys. Rev. B. 1979. V. 19. P. 5057-5067.
27. A. Ishimaru. *Wave Propagation and Scattering in Random Media*. Academic Press. New York. 1978.
28. В.С. Розенберг. *Оптика тонкопленочных покрытий*. Ленинград. 1956.
29. А.М. Желтиков. *Оптика микроструктурированных волокон*. Наука. Москва. 2004.
30. *Photonic Crystals: Advances in design, Fabrication, and Characterization*. Ed. K. Bush, S. Loelkes, R.B. Wehrspohn. Wiley-VCH Verlag. 2004.
31. A.V. Lavrinenko, S.V. Zhukovsky, K.S. Sandomirskii, S.V. Gaponenko. *Propagation of classical waves in nonperiodic media: Scaling properties of an optical Cantor filter*. Phys. Rev. E. 2002. V. 65. P. 036621-(1-8).
32. M. Megens, J.E.G.J. Wijnhoven, A. Lagendijk, W.L. Vos. *Fluorescence lifetimes and linewidths of dye in photonic crystals*. Phys. Rev. A. 1999. V. 59. P. 4727-4731.
33. Xue-Hua Wang, R. Wang, B.-Y. Gu, G.-Zh. Yang. *Decay Distribution of Spontaneous Emission from an Assembly of Atoms in Photonic Crystals with Pseudogaps*. Phys. Rev. Lett. V. 2002. V. 88. P. 093902-(1-4).
34. L.C. Andreani, F. Tassone, F. Bassani. *Radiative lifetime of free excitons in quantum wells*. Sol. St. Commun. 1991. V. 77, 641-645.
35. Kun Huang, B. Zhu. *Dielectric continuum model and Fröhlich interaction in superlattices*. Phys. Rev. B. 1988. V. 38. P. 13377-13386.
36. P.G. Savvidis, J.J. Baumberg, R.M. Stevenson, M.S. Skolnick, D.M. Whittaker, J.S. Roberts. *Angle-Resonant Stimulated Polariton Amplifier*. Phys. Rev. Lett. 2000. V. 84. P. 1547-1550.
37. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. *Квантовая механика*. Наука. Москва. 1999. С. 58-94.
38. А.И. Екимов. *Optical Properties of Semiconductor Quantum Dots in Glass Matrix*. Physica Scripta. 1991. V. 39. 217-222.
39. A.V. Fedorov, A.V. Baranov, K. Inoue. *Two-photon transitions in systems with semiconductor quantum dots*. Phys. Rev. B. 1996. V. 54. 8627-8632.
40. А.В. Федоров, А.В. Баранов, А. Itoh, Y. Masumoto. *Перенормировка энергетического спектра квантовых точек в условиях колебательного резонанса*. ФТП. 2001. Т. 35. С. 1452-1459.

41. A.V. Fedorov, A.V. Baranov, K. Inoue. *Exciton-phonon coupling in semiconductor quantum dots: Resonant Raman scattering*. Phys. Rev. B. 1997. V. 56. P. 7491–7502.
42. M.P. Chamberlain, C. Trallero-Giner, M. Cardona. *Theory of one-phonon Raman scattering in semiconductor microcrystallites*. Phys. Rev. B. 1995. V. 51. P. 1680–1693.
43. А.В. Федоров, А.В. Баранов, А. Itoh, Y. Masumoto. *Перенормировка энергетического спектра квантовых точек в условиях колебательного резонанса*. ФТП. 2001. Т. 35. С. 1452–1459.
44. В. Демтредер. *Лазерная спектроскопия. Основные принципы и техника эксперимента*. Наука. Москва. 1985.
45. D. Birkedal, K. Leosson, J. M. Hvam. *Long Lived Coherence in Self-Assembled Quantum Dots*. Phys. Rev. Lett. 2001. V. 87. P. 227401-(1–4).
46. Y. Masumoto. *Homogeneous width of confined excitons in quantum dots - experimental*. In: *Semiconductor Quantum Dots. Physics, Spectroscopy and Applications*. Ed. by Y. Masumoto, T. Takagahara. Springer. Berlin Heidelberg New York. 2002. P. 325–351.
47. A.V. Baranov, V. Davydov, A.V. Fedorov, M. Ikezawa, H.-W. Ren, S. Sugou, Yasuaki Masumoto. *Interferometric coherence measurement of stress-induced  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$  quantum dots at the resonant-luminescence phonon sideband*. Phys. Rev. B. 2002. V. 66. P. 075326-(1–7).

#### **4.4. Рекомендации по использованию Интернет-ресурсов и других электронных информационных источников**

1. *Научная электронная библиотека*. Режим доступа: <http://elibrary.ru/defaultx.asp>, ограниченный.
2. *Журналы института физики*. Режим доступа: <http://www.iop.org/EJ/>, ограниченный.
3. *Журналы американского физического общества*. Режим доступа: <http://publish.aps.org/>, ограниченный.
4. *База данных научных журналов*. Режим доступа: <http://www.sciencedirect.com/>, ограниченный.
5. *Книги и журналы издательства Шпрингер*. Режим доступа: <http://www.springer.com/>, ограниченный.
6. *Журналы американского оптического общества*. Режим доступа: <http://www.opticsinfobase.org/>, ограниченный.
7. *Журналы американского химического общества*. Режим доступа: <http://pubs.acs.org/>, ограниченный.
8. *Журналы королевского химического общества*. Режим доступа: <http://www.rsc.org/Publishing/Journals/Index.asp>, ограниченный.
9. *Журнал «Российские нанотехнологии»*. Режим доступа: <http://www.nanorf.ru/>, ограниченный.

#### **4.3. Перечень рекомендуемых обучающих, аттестующих, справочно-информационных компьютерных ресурсов, используемых при изучении модуля**

<b>№ п/п</b>	<b>Название рекомендуемых компьютерных средств обучения и аттестации в системе ДО ИТМО</b>	<b>Наименование тем</b>
1	Комплект электронных заданий и тестов по образовательному модулю «Физика и технология гетероструктур, оптика квантовых наноструктур»	1–5
2	Электронные презентации по образовательному модулю «Физика и технология гетероструктур, оптика квантовых наноструктур»	1–5

#### **4.4. Аттестационные материалы для контроля уровня подготовки студента по модулю**

Материалы для тестирования, результаты проверки отчетов по лабораторным работам, результаты проверки рефератов, материалы для экзамена.

#### **5. Средства информационно-технического обеспечения освоения модуля**

Комплекты электронных презентаций (более 150 слайдов).

#### **6. Материально-техническое обеспечение модуля**

Для обеспечения модуля имеется следующее оборудование:

1. Два учебно-научных стенда – базовые аппаратные элементы магистерской программы «Оптика наноструктур» по направлению «Фотоника и оптоинформатика», предназначенных, в частности, для проведения учебных лабораторных работ по образовательному модулю 1.1.68.1 «Физика и технология гетероструктур, оптика квантовых наноструктур»:

(а) комплекс для проведения измерений временных параметров оптических откликов наноструктур на базе лазерного сканирующего люминесцентного микроскопа для измерения времен затухания люминесценции MicroTime100 (PicoQuant, Германия), предоставляющий

возможности измерения и анализа физико-химических параметров микро-объемов наноструктурированных материалов, путем регистрации кинетики затухания люминесценции материалов в диапазоне от 200 пс до 1 мкс с использованием метода время-коррелированного счета отдельных фотонов, а также построения двумерных изображений времен затухания люминесценции с дифракционным пространственным разрешением.

(б) учебный стенд на базе оптический микроспектрометра InViva (Renishaw, Англия), позволяющего регистрировать рамановские и люминесцентные спектры образцов с пространственным разрешением до 1 мкм при возбуждении излучением с длиной волны 514,5 нм. Стенд предназначен для регистрации как спектров КР, так и люминесценции наноструктурированных образцов, а так же для картирования оптических спектров по поверхности образца с дифракционным разрешением.

2. Электронный микроскоп H-11В (Hitachi, Япония).

3. Атомно-силовой (туннельный) микроскоп Solver\_PRO-M (NT-MTD, Россия).

4. Спектрофотометр-флюориметр "Панорама-Флюорат-02" (Люмэкс; Россия).

5. Конфокальный лазерный сканирующий люминесцентный микроскоп LSM-710 (Zeiss, Германия).

6. Флюоресцентный спектрофотометр (200-900 нм) Cary Eclipse (Varian, США).

7. Спектрофотометр (170-3300 нм) U3000 (Shimadzu, Япония).

## ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ

к образовательному модулю «Физика и технология гетероструктур, оптика квантовых наноструктур» по направлению подготовки НОИ4 «Фотоника и оптоинформатика» по магистерской программе «Оптика наноструктур» 2 этап «Технологии»

### **Тема 1. Технология гетеро- и наноструктур**

1. «Последние достижения в методе молекулярно-лучевой эпитаксии».
2. «Современное состояние метода газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений».
3. «Электронно-лучевая нанолитография».
4. «Ионно-лучевая нанолитография».
5. «Наноимпринт-литография».

### **Тема 3. Квантовые ямы и нити**

1. «Квантоворазмерный эффект Штарка в квантовых ямах и квантовых нитях».
2. «Квантоворазмерный эффект Франца-Келдыша в квантовых ямах и квантовых нитях».
3. «Многофотонные оптические переходы в квантовых ямах».
4. «Люминесцентная спектроскопия квантовых нитей».

### **Тема 4. Квантовые точки**

1. «Электронный энергетический спектр квантовых точек в случае потенциальной ямы конечной глубины».
2. «Размерное квантование колебательной подсистемы квантовых точек».
3. «Электрон-фононное взаимодействие в квантовых точках».
4. «Комбинационное рассеяние света с участие акустических фононов в квантовых точках».
5. «Выжигание долгоживущих провалов в неоднородно уширенном спектре поглощения квантовых точек как метод исследования колебательного резонанса».
6. «Близкодействующие механизмы внутризонной релаксации энергии носителей заряда в квантовых точках».
7. «Дальнодействующие механизмы внутризонной релаксации энергии носителей заряда в квантовых точках».

**Тема 5. Применение квантово-размерных структур в приборах наноэлектроники и оптоэлектроники.**

16.«Современные достижения наноэлектроники и нанофотоники».

17.«Закон Мура».

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

### Тема 1. Технология гетеро- и наноструктур

1. Рост наноструктур на фасетированных поверхностях.
2. Трехмерные массивы когерентно-напряженных островков.
3. Поверхностные структуры плоских упругих доменов.
4. Структуры с периодической модуляцией состава в эпитаксиальных пленках твердых растворов полупроводников.
5. Углеродные нанотрубки: синтез и физические свойства.
6. Синтез и характеристика квантовых нитей.
7. Синтез массивов наностержней и квантовых нитей на основе «шаблонной» технологии.
8. Методы штамповки для производства наноструктур.
9. Материалы для наноэлектромеханических систем.
10. Наночапельные (droplet) технологии.

### Тема 3. Квантовые ямы и нити

11. Основные механизмы энергетической и фазовой релаксации носителей заряда в квантовых ямах и квантовых нитях.
12. Эффекты деполяризации в квантовых ямах.
13. Анизотропия диэлектрической проницаемости и двойное лучепреломление в системах с квантовыми ямами.
14. Влияние внешнего электрического поля на спектр межзонного поглощения квантовых ям и квантовых нитей.
15. Влияние внешнего электрического поля на спектр внутризонного поглощения квантовых ям и квантовых нитей.
16. Фотоионизация квантовых ям.

### Тема 4. Квантовые точки

14. Влияние материала, из которого изготовлены квантовые точки, на энергетический спектр их электронной подсистемы.
15. Роль деформационных эффектов в формировании энергетического спектра электронной подсистемы квантовых точек.
16. Модель акустических фононов в системе квантовая точка – матрица.
17. Оптическая спектроскопия внутризонной релаксации носителей заряда квантовой точки, определяемая их взаимодействием с

легированными компонентами гетероструктуры, расположенными на относительно больших расстояниях от нанокристаллов.

18. Оптическая спектроскопия резонансного безызлучательного перенос энергии фотовозбуждений в квантовых точках.

**Тема 5. Применение квантово-размерных структур в приборах наноэлектроники и оптоэлектроники**

19. Одноэлектронный транзистор.

20. Лазеры с квантовыми ямами и квантовыми точками.

21. Фотоприемники на квантовых ямах.

## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

### Тема 1. Технология гетеро- и наноструктур

1. Что такое полупроводниковый гетеропереход?
2. Какие факторы учитываются при построении зонной диаграммы гетероперехода?
3. В чем заключается эффект размерного квантования?
4. Перечислите типы элементарных наноструктур?
5. Каким образом меняется энергетический спектр объемного полупроводника при переходе к двумерным, одномерным и нульмерным квантовым наноструктурам?
6. Перечислите основные типы полупроводниковых квантовых точек.
7. Какие объекты называются фотонными кристаллами?
8. Перечислите основные классы фотонных кристаллов.
9. Приведите примеры фотонных кристаллов, встречающихся в природе.
10. Методы синтеза одномерных, двумерных и трехмерных фотонных кристаллов.
11. Что такое молекулярно-лучевая эпитаксия?
12. Какие элементарные процессы включает в себя метод молекулярно-лучевой эпитаксии?
13. Чем регулируют соотношение между потоками адсорбции и десорбции атомов в методе молекулярно-лучевой эпитаксии?
14. Каковы основные требования, предъявляемые к установке молекулярно-лучевой эпитаксии?
15. Что такое газофазная эпитаксия?
16. Какой из методов эпитаксии предпочтителен для массового производства наноструктур и почему?
17. В чем заключается метод нанолитографии?
18. Каковы основные элементы проекционной системы для процесса фотолитографии?
19. Чем ограничена разрешающая способность фотолитографии?
20. Каковы основные способы повышения разрешающей способности фотолитографии?
21. Что такое иммерсионный объектив?
22. Перечислите три режима роста гетероэпитаксиальных структур.
23. Какие типы наноструктур, выращиваемых с использованием эффектов самоорганизации, известны в настоящее время?

## **Тема 2. Фотонные кристаллы**

24. Что происходит с волной, распространяющейся в периодической структуре?
25. Какие волновые векторы, характеризующие волну в периодической структуре, называются эквивалентными?
26. Что такое зона Бриллюэна?
27. Как называются интервалы энергий, для которых не существует распространяющихся волн?
28. Как влияет периодичность диэлектрической проницаемости среды на зависимость частоты электромагнитной волны от волнового вектора?

## **Тема 3. Квантовые ямы и нити**

29. Что такое свехрешетка?
30. Что такое квантовая нить?
31. Какова размерная зависимость энергетического спектра электронов (дырок) в квантовой яме?
32. Каким набором квантовых чисел описываются электронные состояния в квантовых нитях с круглым и квадратным сечениями?
33. Какова размерная зависимость энергетического спектра электронов (дырок) в квантовой нити?
34. Плотность электронных (дырочных) состояний в квантовых ямах.
35. Плотность электронных (дырочных) состояний в квантовых нитях.
36. Перечислите типы оптических переходов в квантовых ямах и квантовых нитях.
37. Сформулируйте правила отбора для внутризонных оптических переходов в квантовых ямах.
38. Сформулируйте правила отбора для внутризонных оптических переходов в квантовых нитях.
39. Сформулируйте правила отбора для межзонных оптических переходов в квантовых ямах и квантовых нитях.
40. Какие основные методы оптической спектроскопии, используются при изучении электронного спектра квантовых ям и квантовых нитей?

#### Тема 4. Квантовые точки

41. Что означают термины: режим сильного, промежуточного и слабого конфайнмента?
42. Каким набором квантовых чисел описываются электронные состояния в сферических, кубических и цилиндрических квантовых точках?
43. Каким набором квантовых чисел описываются экситонные состояния в сферических, кубических и цилиндрических квантовых точках?
44. Как зависит от размера нанокристалла частота акустических фононов в модели изолированной квантовой точки?
45. Чем отличаются размерные зависимости энергии электронов (дырок) и экситонов в квантовых точках?
46. Как зависит от размера нанокристалла частота оптических фононов в модели изолированной квантовой точки?
47. Какова размерная зависимость взаимодействия электронов (дырок) квантовой точки с акустическими фононами?
48. Какова размерная зависимость взаимодействия электронов (дырок) квантовой точки с оптическими фононами?
49. Сформулируйте правила отбора для внутризонных оптических переходов в сферических, кубических и цилиндрических квантовых точках.
50. Сформулируйте правила отбора для межзонных оптических переходов в сферических, кубических и цилиндрических квантовых точках.
51. Сколько механизмов двухфотонного межзонного поглощения света существует в полупроводниковых квантовых точках?
52. Как в спектре поглощения света квантовыми точками проявляется разброс их размеров?
53. Перечислите основные размерно-селективные методы оптической спектроскопии квантовых точек.
54. Как связаны между собой ширина линии поглощения света одиночной квантовой точкой и ширина линии дифференциального спектра поглощения в спектроскопии выжигания долгоживущих провалов?
55. Какая информация о параметрах квантовых точек может быть получена из спектров комбинационного рассеяния света с участием оптических фононов?
56. Какие основные методы оптической спектроскопии используются для анализа релаксационных процессов в квантовых точках?

57. Какая информация о квантовых точках может быть получена в экспериментах по когерентному контролю их спонтанного вторичного свечения?
58. Перечислите трудности, встречающиеся при использовании метода когерентного контроля квазиупругого вторичного свечения для исследования квантовых точек.
59. Как в оптических спектрах квантовых точек проявляется взаимодействие их электронной и колебательной подсистем с элементарными возбуждениями окружающей среды?
60. Какими параметрами определяется скорость резонансного безызлучательного переноса энергии между квантовой точкой донором и квантовой точкой акцептором?

**Тема 5. Применение квантово-размерных структур в приборах наноэлектроники и оптоэлектроники**

61. Каковы латеральные размеры современных наноэлектронных транзисторов?
62. Каковы пути улучшения параметров полевых транзисторов с размерами в нанометровой области?
63. Какие полупроводниковые материалы являются наиболее перспективными для производства светодиодов, лазеров, фотоприемников инфракрасного диапазона и высокоэффективных солнечных элементов?
64. В чем состоит преимущество люминесцирующих квантовых точек, по сравнению с органическими люминофорами?
65. Что такое биосенсор?

## ПРИМЕРЫ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ

После каждого вопроса приведены варианты ответов, из которых только один является правильным. Необходимо указать правильный ответ.

1. Полупроводниковым гетеропереходом называют:

- А. Контакт двух полупроводников различного вида и разного типа проводимости.
- Б. Контакт двух полупроводников одинакового вида и разного типа проводимости.
- В. Контакт двух полупроводников различного вида и одинакового типа проводимости.

2. Какие два параметра материалов, образующих гетеропереход, должны совпадать с высокой точностью:

- А. Электронное сродство и ширина запрещенной зоны.
- Б. Температурный коэффициент расширения и постоянная решетки.
- В. Электронное сродство и постоянная решетки.

3. Электронное сродство это:

- А. Минимальная энергия, необходимая для перевода электрона со дна нижней зоны проводимости на уровень вакуума.
- Б. Минимальная энергия, необходимая для перевода электрона с потолка верхней валентной зоны на уровень вакуума.
- В. Минимальная энергия, необходимая для перевода электрона с уровня Ферми на уровень вакуума.

4. Полупроводник *n*-типа это:

- А. Материал легированный акцепторной примесью.
- Б. Материал легированный нейтральной примесью.
- В. Материал легированный донорной примесью.

5. Полупроводник *p*-типа это:

- А. Материал легированный акцепторной примесью.
- Б. Материал легированный нейтральной примесью.
- В. Материал легированный донорной примесью.

6. Компенсированный полупроводник это:

- А. Материал легированный акцепторной примесью.
- Б. Материал легированный донорной и акцепторной примесью.
- В. Материал легированный донорной примесью.

7. Запрещенная зона это:

- А. Энергетическая область, в которой могут свободно распространяться электроны.
- Б. Энергетическая область, в которой могут свободно распространяться дырки.
- В. Энергетическая область, в которой не могут свободно распространяться ни электроны, ни дырки.

8. Квантовая яма это:

- А. Полупроводниковый материал, в котором движение носителей заряда ограничено в одном направлении.
- Б. Полупроводниковый материал, в котором движение носителей заряда ограничено в двух направлениях.
- В. Полупроводниковый материал, в котором движение носителей заряда ограничено в трех направлениях.

9. Квантовая нить это:

- А. Полупроводниковый материал, в котором движение носителей заряда ограничено в одном направлении.
- Б. Полупроводниковый материал, в котором движение носителей заряда ограничено в двух направлениях.
- В. Полупроводниковый материал, в котором движение носителей заряда ограничено в трех направлениях.

10. Квантовая точка это:

- А. Полупроводниковый материал, в котором движение носителей заряда ограничено в одном направлении.
- Б. Полупроводниковый материал, в котором движение носителей заряда ограничено в двух направлениях.
- В. Полупроводниковый материал, в котором движение носителей заряда ограничено в трех направлениях.

11. Режим сильного конфайнмента реализуется, когда:

- А. Характерный размер наноструктуры больше радиуса экситона объемного материала, из которого она изготовлена.
- Б. Характерный размер наноструктуры меньше радиуса экситона объемного материала, из которого она изготовлена.
- В. Характерный размер наноструктуры близок к радиусу экситона объемного материала, из которого она изготовлена.

12. Режим слабого конфайнмента реализуется, когда:

- А. Характерный размер наноструктуры больше радиуса экситона объемного материала, из которого она изготовлена.
- Б. Характерный размер наноструктуры меньше радиуса экситона объемного материала, из которого она изготовлена.
- В. Характерный размер наноструктуры близок к радиусу экситона объемного материала, из которого она изготовлена.

13. Режим промежуточного конфайнмента реализуется, когда:

- А. Характерный размер наноструктуры больше радиуса экситона объемного материала, из которого она изготовлена.
- Б. Характерный размер наноструктуры меньше радиуса экситона объемного материала, из которого она изготовлена.
- В. Характерный размер наноструктуры близок к радиусу экситона объемного материала, из которого она изготовлена.

14. Плотность состояний зонных электронов в объемном материале вблизи края зоны имеет вид:

- А. Набора дельта-функций Дирака.
- Б. Набора корневых гиперболических функций.
- В. Набора ступенчатых функций.
- Г. Корневой параболы.

15. Плотность состояний зонных электронов в квантовой яме вблизи края зоны имеет вид:

- А. Набора дельта-функций Дирака.
- Б. Набора корневых гиперболических функций.
- В. Набора ступенчатых функций.
- Г. Корневой параболы.

16. Плотность состояний зонных электронов в квантовой нити вблизи края зоны имеет вид:

- А. Набора дельта-функций Дирака.
- Б. Набора корневых гиперболических функций.
- В. Набора ступенчатых функций.
- Г. Корневой параболы.

17. Плотность состояний зонных электронов в квантовой точке вблизи края зоны имеет вид:

- А. Набора дельта-функций Дирака.
- Б. Набора корневых гиперболических функций.
- В. Набора ступенчатых функций.
- Г. Корневой параболы.

18. В какой элементарной квантовой наноструктуре энергетический спектр электронов дискретный?

- А. Квантовая яма.
- Б. Квантовая точка.
- В. Квантовая нить.

19. Как изменяется энергия размерного квантования с увеличением размера наноструктуры?

- А. Остается постоянной.
- Б. Растет.
- В. Уменьшается.

20. Какова кратность вырождения электронных состояний нижней зоны проводимости в материалах  $A_3B_5$  в центре зоны Бриллюэна?

- А. Один.
- Б. Два.
- В. Три.
- Г. Четыре.
- Д. Пять.
- Е. Шесть.

21. Какова кратность вырождения электронных состояний верхней валентной зоны в материалах  $A_3B_5$  в центре зоны Бриллюэна?

- А. Один.
- Б. Два.
- В. Три.
- Г. Четыре.
- Д. Пять.
- Е. Шесть.

22. Какова кратность вырождения электронных состояний подзоны легких дырок верхней в материалах  $A_3B_5$  в центре зоны Бриллюэна?

- А. Один.
- Б. Два.
- В. Три.
- Г. Четыре.
- Д. Пять.
- Е. Шесть.

23. Какова кратность вырождения электронных состояний подзоны тяжелых дырок верхней в материалах  $A_3B_5$  в центре зоны Бриллюэна?

- А. Один.
- Б. Два.
- В. Три.
- Г. Четыре.
- Д. Пять.
- Е. Шесть.

24. Какова кратность вырождения электронных состояний подзоны спин-отщепленных дырок верхней в материалах  $A_3B_5$  в центре зоны Бриллюэна?

- А. Один.
- Б. Два.
- В. Три.
- Г. Четыре.
- Д. Пять.
- Е. Шесть.

25. Сколько дырочных подзон входит в верхнюю валентную зону в материалах  $A_3B_5$ ?

- А. Один.
- Б. Два.
- В. Три.

- Г. Четыре.
- Д. Пять.
- Е. Шесть.

26. Сколько квантовых чисел необходимо для описания электронного состояния вблизи края нижней зоны проводимости полупроводниковой квантовой точки, изготовленной из материала  $A_3B_5$ ?

- А. Один.
- Б. Два.
- В. Три.
- Г. Четыре.
- Д. Пять.
- Е. Шесть.

27. Сколько квантовых чисел необходимо для описания низкоэнергетического экситонного состояния полупроводниковой квантовой точки, изготовленной из материала  $A_3B_5$ ?

- А. Один.
- Б. Два.
- В. Три.
- Г. Четыре.
- Д. Пять.
- Е. Шесть.
- Ж. Семь.
- З. Восемь.

28. Фотонными кристаллами принято называть среды, у которых:

- А. Диэлектрическая проницаемость периодически меняется в пространстве.
- Б. Электрическая проводимость периодически меняется в пространстве.
- В. Теплопроводность периодически меняется в пространстве.

29. На какое количество типов можно разделить фотонные кристаллы?

- А. Один.
- Б. Два.
- В. Три.
- Г. Четыре.
- Д. Пять.

30. Молекулярно-лучевая эпитаксия это:

- А. Метод термического напыления материалов в условиях сверхвысокого вакуума.
- Б. Метод осаждения на подложку продуктов термического разложения молекул органических газов.
- В. Метод создания наноструктур с помощью химического травления фоторезиста.

31. Сколько элементарных процессов, протекающих в зоне роста, включает в себя метод молекулярно-лучевой эпитаксии?

- А. Один.
- Б. Два.
- В. Три.
- Г. Четыре.
- Д. Пять.
- Е. Шесть.
- Ж. Семь.
- З. Восемь.

32. Газофазная эпитаксия это:

- А. Метод термического напыления материалов в условиях сверхвысокого вакуума
- Б. Метод осаждения на подложку продуктов термического разложения молекул органических газов.
- В. Метод создания наноструктур с помощью химического травления фоторезиста.

33. Каким критерием определяется пространственное разрешение фотолитографического метода создания наноструктур?

- А. Критерием Рэлея.
- Б. Критерием Дирихле.
- В. Критерием Коши.
- Г. Критерием Фурье.
- Д. Критерием Вейерштрасса.

34. Сколько различают режимов роста гетероэпитаксиальных структур?

- А. Один.
- Б. Два.
- В. Три.

Г. Четыре.  
Д. Пять.

## ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ГРАФИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА И МАТЕМАТИЧЕСКИХ ФОРМУЛ

*Графический материал.* В отчете по лабораторной работе, кроме текста, следует обратить внимание на правила оформления графического материала, (чертежи, графики, схемы, диаграммы, фотоснимки, рисунки). На все иллюстрации должны быть даны ссылки. Например, «... в соответствии с рисунком 2». Допустима также ссылка на иллюстрацию заключенная в скобках, например, (рисунок 4). Желательно оформление графического материала проводить с использованием программы Origin 7.

Иллюстрации следует нумеровать арабскими цифрами порядковой нумерацией. Номер следует размещать под иллюстрацией посередине после слова «Рисунок». Если в работе только одна иллюстрация, её нумеровать не следует и слово «Рисунок» под ней не пишут.

Пример оформления графика представлен на рисунке 1.

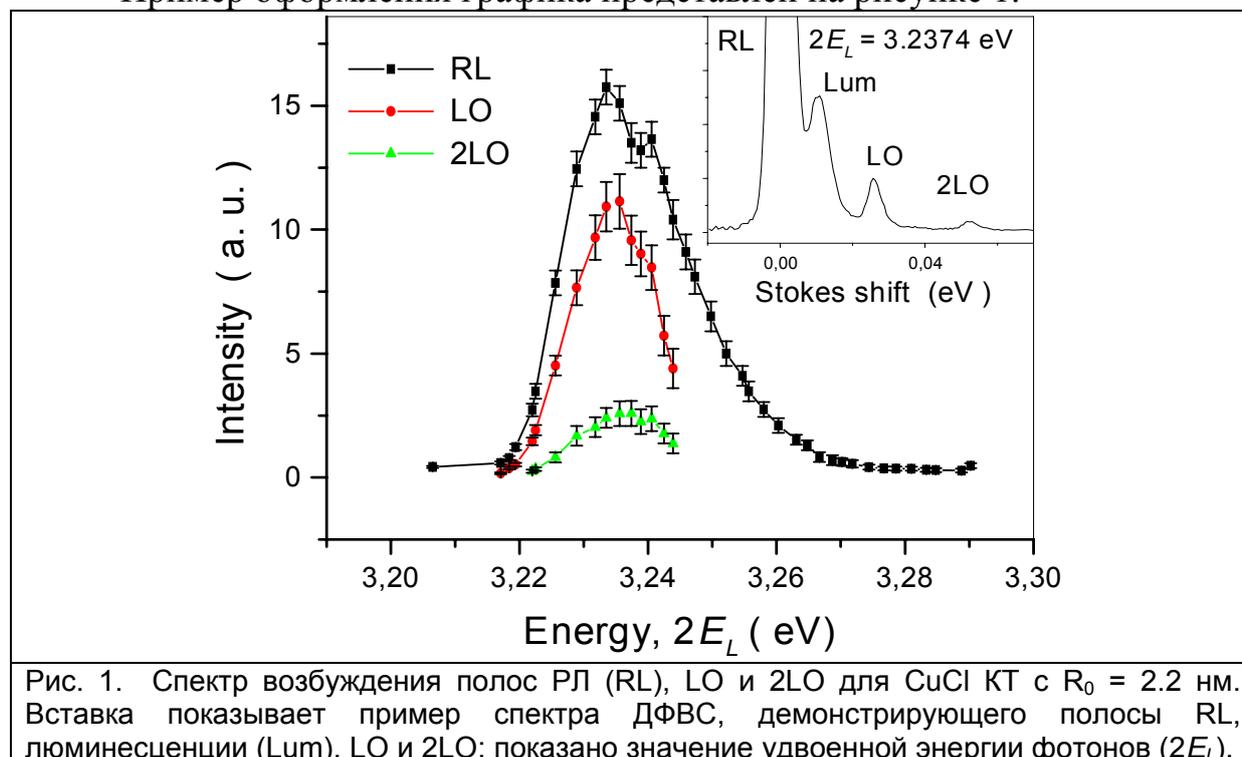


Рис. 1. Спектр возбуждения полос РЛ (RL), LO и 2LO для CuCl КТ с  $R_0 = 2.2$  нм. Вставка показывает пример спектра ДФВС, демонстрирующего полосы RL, люминесценции (Lum), LO и 2LO; показано значение удвоенной энергии фотонов ( $2E_L$ ).

*Таблицы.* Цифровой материал рекомендуется помещать в отчете в виде таблиц. Таблицу следует располагать непосредственно после текста, в котором она упоминается впервые, или на следующей странице. На все таблицы должны быть ссылки в тексте.

Таблицы следует нумеровать арабскими цифрами порядковой нумерацией в пределах всей работы. Номер следует размещать в левом верхнем углу над заголовком таблицы после слова «Таблица». Допускается

нумерация таблиц в пределах раздела. Если в работе одна таблица, её не нумеруют и слово «Таблица» не пишут.

Каждая таблица должна иметь заголовок, который помещается ниже слова «Таблица». Слово «Таблица» и заголовок начинаются с прописной буквы, точка в конце заголовка не ставится.

Заголовки граф таблицы должны начинаться с прописных букв, подзаголовки – со строчных, если последние подчиняются заголовку. Заголовки граф указываются в единственном числе.

Таблицу следует размещать так, чтобы читать её без поворота работы, если такое размещение невозможно, таблицу располагают так, чтобы её можно было читать, поворачивая работу по часовой стрелке.

При переносе таблицы головку таблицы следует повторить, и над ней размещают слова «Продолжение таблицы», с указанием её номера. Если головка таблицы велика, допускается её не повторять, в этом случае следует пронумеровать графы и повторить их нумерацию на следующей странице. Заголовок таблицы не повторяют.

Если цифровые или иные данные в какой-либо строке таблицы отсутствуют, то ставится прочерк. Разделять заголовки и подзаголовки боковика и граф диагональными линиями не допускается.

Если все показатели, приведённые в таблице, выражены в одной и той же единице, то её обозначение помещается над таблицей справа.

Заменять кавычками повторяющиеся в таблице цифры, математические знаки, знаки процента, обозначения марок материала, обозначения нормативных документов не допускается.

*Формулы и уравнения.* Пояснение значений, символов и числовых коэффициентов следует приводить непосредственно под формулой в той же последовательности, как и в формуле.

Значение каждого символа и числового коэффициента следует давать с новой строки, первую строку пояснения начинают со слова «где» без двоеточия.

Уравнения и формулы следует выделять из текста в отдельную строку. Выше и ниже каждой формулы или уравнения должно быть оставлено не менее одной свободной строки.

Если уравнение не умещается в одну строку, оно должно быть перенесено после знака равенства (=), или после знака плюс (+), или после других математических знаков с их обязательным повторением в новой строке.

Формулы и уравнения в отчете следует нумеровать порядковой нумерацией в пределах всей работы арабскими цифрами в круглых скобках в крайнем правом положении напротив формулы. Допускается нумерация формул в пределах раздела.

## ОБРАЗЦЫ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИХ ЗАПИСЕЙ

### Книги

#### Однотомное издание

Автор. Заглавие: сведения, относящиеся к заглавию (см. на титуле) / сведения об ответственности (авторы); последующие сведения об ответственности (редакторы, переводчики, коллективы). – Сведения об издании (информация о переиздании, номер издания). – Место издания: Издательство, Год издания. – Объем. – (Серия).

#### Примечания:

1. Если у издания *один автор*, то описание начинается с фамилии и инициалов автора. Далее через точку «.» пишется Заглавие. За косой чертой «/» после заглавия Имя автора повторяется, как сведение об ответственности.
2. Если у издания *два автора*, то описание начинается с фамилии и инициалов первого автора. За косой чертой «/» после заглавия сначала указывается первый автор, а потом через запятую – второй автор.
3. Если у издания *три автора*, то описание начинается с фамилии и инициалов первого автора. За косой чертой «/» после заглавия сначала указывается первый автор, а потом через запятую – второй и третий авторы.
4. Если у издания *четыре автора и более*, то описание начинается с заглавия. За косой чертой указываются все авторы.
5. Если у издания *есть один или несколько авторов*, и также указаны *редакторы, составители, переводчики* и т.п., то информация о них указывается в сведении об ответственности, после всех авторов перед точкой с запятой «;».
6. Если у издания *нет автора*, но указаны *редакторы, составители, переводчики* и т.п., то описание начинается с заглавия. За косой чертой после заглавия сразу пишутся редакторы, составители и т.п. с указанием функции.
7. Если у издания *нет автора, редакторов* и т.п., то после заглавия сразу идет информация об издании после точки и тире «. –».

#### Примеры:

1. Современная информатика: наука, технология, деятельность / Р.С. Гиляревский, Г.З. Залаев, И.И. Родионов, В.А. Цветкова; под ред. Ю.М. Арского. – М.: Информатика, 1997. – 211 с.
2. Иллюстрированный словарь английского и русского языка с указателями. – М.: Живой язык, 2003. – 1000 с.

### **Отдельный том многотомного издания**

Автор. Заглавие издания: сведения, относящиеся к заглавию (см. на титуле). Обозначение и номер тома: Заглавие тома / Сведения об ответственности (авторы); последующие сведения об ответственности (редакторы, переводчики, коллективы). – Город издания: Издательство, Год издания – Объем. – (Серия).

*или*

Автор. Заглавие тома / Сведения об ответственности (авторы); последующие сведения об ответственности (редакторы, переводчики, коллективы). – Город издания: Издательство, Год издания – Объем. – (Заглавие издания: сведения относящие к заглавию / Сведения об ответственности (авторы); обозначение и номер тома).

#### Примечания:

Под томом понимается отдельная физическая единица, входящая в состав многочастного документа, обозначаемая как том, часть, выпуск, сборник, альбом, тетрадь и т. п.

#### Примеры:

1. Казьмин, В. Д. Справочник домашнего врача: в 3 ч. Ч. 2: Детские болезни / Вл. Казьмин. – М.: АСТ: Астрель, 2002. – 503 с.: ил.

*или*

2. Казьмин, В. Д. Детские болезни / Вл. Казьмин. – М.: АСТ: Астрель, 2002. – 503 с.: ил. – (Справочник домашнего врача: в 3 ч. / Вл. Казьмин; ч. 2).

## **Неопубликованные документы**

### **Диссертации**

Автор. Заглавие: сведения, относящиеся к заглавию (см. на титуле): шифр номенклатуры специальностей научных работников: дата защиты: дата утверждения / сведения об ответственности (автор); последующие сведения об ответственности (коллектив). – Место написания, Дата написания. – Объем.

#### Примечания:

В сведениях, относящихся к заглавию, приводят сведения о том, что данная работа представлена в качестве диссертации, а также сведения об ученой степени, на соискание которой представлена диссертация. Сведения приводят в сокращенном виде, например: дис. ... канд. пед. наук дис. ...д-ра техн. наук.

#### Примеры:

Тевлина, В.В. Исторический опыт подготовки специалистов в области социальной работы в России. Вторая половина XIX-XX вв.: дис. ... д-ра ист. наук: 07.00.02: защищена 04.10.04/ В.В. Тевлина; Поморский

государственный университет им. М.В. Ломоносова. – Архангельск, 2004. – 409 с.

### **Автореферат диссертации**

Автор. Заглавие: сведения, относящиеся к заглавию (см. на титуле): шифр номенклатуры специальностей научных работников: дата защиты: дата утверждения / сведения об ответственности (автор); последующие сведения об ответственности (коллектив). – Место написания, Дата написания. – Объем.

### Примечания:

В сведениях, относящихся к заглавию, приводят сведения о том, что данная работа представлена в качестве автореферата диссертации на соискание ученой степени. Сведения приводят в сокращенном виде, например: автореф. дис. ... канд. физ. наук автореф. дис. ... д-ра тех. Наук.

### Примеры:

Бесстрашнова, Я. К. Модели и методы управления надежностью коммерческого кредитования: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.13: защищена 30.10.03 / Я.К. Бесстрашнова; СПбГПУ . – СПб., 2003. – 20 с.

## **Электронные ресурсы**

### **Электронный ресурс локального доступа (CD)**

Автор. Заглавие [Электронный ресурс]: сведения, относящиеся к заглавию / сведения об ответственности (авторы); последующие сведения об ответственности (редакторы, переводчики, коллективы). – Обозначение вида ресурса («электрон. дан.» и/или «электрон. Progr»). – Место издания: Издательство, Год издания. – Обозначение материала и количество физических единиц. – (Серия).

### Примечания:

1. Описание электронного ресурса в области «Автор» и «Сведения об ответственности» осуществляется по правилам описания книжного издания.
2. Обозначение материала приводят сразу после заглавия в квадратных скобках: [Электронный ресурс].

### Примеры:

1. Даль, Владимир Иванович. Толковый словарь живого великорусского языка Владимира Даля [Электронный ресурс] : подгот. по 2-му печ. изд. 1880–1882 гг. – Электрон. дан. – М. : АСТ, 1998. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) – (Электронная книга).
2. Атлас-98 [Электронный ресурс]: 3D: самый подроб. полностью трехмер. атлас мира. – Электрон. дан. и прогр. – [Б. м.], 1998. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – (Весь мир в 3D).

### **Электронный ресурс удаленного доступа (Internet)**

Автор. Заглавие [Электронный ресурс]: сведения, относящиеся к заглавию / сведения об ответственности (авторы); последующие сведения об ответственности (редакторы, переводчики, коллективы). – Обозначение вида ресурса («электрон. текст. дан.»). – Место издания: Издательство, Дата издания. – Режим доступа: URL. – Примечания («Электрон. версия печ. Публикации»).

#### Примечания:

1. Описание электронного ресурса в области «Автор» и «Сведения об ответственности» осуществляется по правилам описания книжного издания.
2. Обозначение материала приводят сразу после заглавия в квадратных скобках: [Электронный ресурс].
3. Если описывается сайт в целом, то область «Дата издания» будет выглядеть следующим образом:  
Год начала издания - год окончания издания.  
Если работа над сайтом продолжается в текущий момент, то приводят год начала издания и тире после него с последующим пробелом в 4 знака.

#### Примеры:

1. Исследовано в России [Электронный ресурс] : многопредмет. науч. журн. / Моск. физ.-техн. ин-т. – Электрон. журн. – Долгопрудный : МФТИ, 1998 – . – Режим доступа к журн.: <http://zhurnal.mipt.rssi.ru>.
2. Российская государственная библиотека [Электронный ресурс] / Центр информ. технологий РГБ ; ред. Власенко Т.В.; Web-мастер Козлова Н.В. – Электрон. дан. – М.: Рос. гос. б-ка, 1997 – . – Режим доступа: <http://www.rsl.ru>, свободный.
3. История книги [Электронный ресурс]: учебник для вузов / ред. А.А.Говоров, Т.Г.Куприянова; Московский гос. ун-т печати, Лаборатория компьютеризации ФИДиКТ. – Электрон. текстовые дан. и граф. дан. – М.: Издательство МГУП "Мир книги", 1998. – 348 с.: цв. - Режим доступа: <http://www.hi-edu.ru/e-books/НВ/>, свободный. – Электрон. версия печ. публикации.

### **Составные части документов**

#### **Общая схема описания:**

Сведения о статье // Сведения об источнике статьи. – Сведение о местоположении статьи в документе.

#### **Статья из книги**

Автор. Заглавие статьи: сведения, относящиеся к заглавию / сведения об ответственности (авторы статьи) // Заглавие книги: сведения, относящиеся к заглавию / сведения об ответственности (авторы книги); последующие

сведения об ответственности (редакторы, переводчики, коллективы). – Место издания: Издательство, Год издания. – Местоположение статьи (страницы).

Примечание:

Сведение об издательстве в области выходных данных книги можно упустить.

Примеры:

1. Майо-Знак, Э.О. Статистика печати / Э.О. Майо-Знак // Книговедение : энцикл. словарь. – М. : Сов. энцикл., 1982. – С. 517-519.
2. Воронцова, М.В. Федеральный и региональный компоненты содержания экологического образования / М.В. Воронцова // XV международные Ломоносовские чтения: сб. научных трудов / ПГУ. – Архангельск: Изд-во ПГУ, 2003. – С. 476–477.

**Статья из журнала**

Автор. Заглавие статьи: сведения, относящиеся к заглавию / сведения об ответственности (авторы статьи) // Название журнала. – Год выпуска. – Номер выпуска. – Местоположение статьи (страницы).

Примечание:

Если статья размещена в двух и более журналах, то сведения о ее местоположении в каждом из номеров отделяют точкой с запятой.

Примеры:

1. Ладынин, И.А. Дафны в библейской и египетско-христианской традиции о финале царствования Априя: конец 570-х - начало 560-х годов до н. э. / И.А. Ладынин // Вестник древней истории. – 2004. – N 3. – С. 3–13.
2. Казаков, Н.А. Запоздалое признание / Н.А. Казаков // На боевом посту. – 2000. – № 9. – С. 64–76; № 10. – С. 58–71.

**Литература**

1. ГОСТ 7.1-2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления.
2. ГОСТ 7.82-2001. Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов.
3. ГОСТ 7.12-93. Библиографическая запись. Сокращение слов на русском языке. Общие требования и правила.