

**Белорусский государственный университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе и  
образовательным инновациям

О.И. Чуприс

(подпись)

16.05.2018  
(дата утверждения)

Регистрационный № УД- 6204/уч.

**ЛАБОРАТОРИЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ  
«ФИЗИКА ЛАЗЕРОВ И НЕЛИНЕЙНАЯ ОПТИКА»**

**Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальностей  
1- 31 04 01 Физика (по направлениям)  
Направление 1-31 04 01-01 Физика  
(научно-исследовательская деятельность)**

Минск 2018 г.

Учебная программа составлена на основе Образовательного стандарта ОСВО 1-31 04 01-2013, учебных планов № G31-214/уч., G31и-215/у. от 20.02.2018 г.

### **СОСТАВИТЕЛИ:**

**А.Л. Толстик** — заведующий кафедры лазерной физики и спектроскопии Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор.

**Д.В. Горбач** — старший преподаватель кафедры лазерной физики и спектроскопии Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук.

### **РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

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

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

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа учебной дисциплины «Физика лазеров и нелинейная оптика» разработана для специальности 1-31 04 01 - Физика (по направлениям) направления специальности 1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность). Дисциплина «Физика лазеров и нелинейная оптика» относится к циклу дисциплин специализации компонента УВО.

**Цель** учебной дисциплины — дать студентам практические основы физики лазерной генерации, ознакомить их с наиболее распространенными лазерными системами, дать представление о методах юстировки различных лазерных резонаторов и характерных параметрах генерируемого излучения, а также познакомить с различными механизмами оптической нелинейности и нелинейно-оптическими методами управления частотой лазерного излучения.

**Основная задача** учебной дисциплины – получение студентами практических навыков юстировки лазеров и управления лазерным излучением, измерения его характеристик. В ходе изучения дисциплины студенты знакомятся с базовыми схемами реализации различных режимов генерации, с физикой протекающих процессов, методами управления частотой генерации и т.д.

Повышенный интерес к лазерам и лазерным комплексам связан со все расширяющейся сферой их практического использования в науке, технике, медицине и военном деле. В последнее десятилетие особое место занимает использование лазеров в информационных системах для хранения и передачи информации. Разнообразные сферы применения лазеров определили необходимость создания как миниатюрных полупроводниковых лазеров и лазерных чипов размером от нескольких микрон до нескольких миллиметров, так и мощных лазерных комплексов, занимающих помещения площадью в сотни квадратных метров. Лазерные комплексы, используемые, например, в целях термоядерного синтеза, позволяют получать энергию отдельного наносекундного импульса в сотни килоджоулей. При фокусировке такого импульса на мишень достигается напряженность поля световой волны, на несколько порядков превышающая напряженность внутриатомного поля. Такие высокоинтенсивные поля обеспечивают проявление принципиально новых нелинейных процессов взаимодействия света с веществом, расширяя наши представления об окружающем мире.

Практически любая область профессиональной деятельности специалиста физического профиля, так или иначе, связана с применением лазеров. Широкое применение в современных лазерных системах получили удвоители частоты излучения, а также каскадные умножители на третью, четвертую и более высокие гармоники. Созданы высокоэффективные параметрические генераторы света, работающие на принципах нелинейной оптики. Мощные лазерные системы не обходятся без элементов адаптивной оптики. Привнесение нелинейно-оптических методов в спектроскопию существенно расширило возможности спектроскопических методов

исследования вещества. Все это привело к пониманию того, что современные специалисты в области лазерной физики и спектроскопии должны не только понимать общие принципы работы лазеров и возможности целенаправленного использования их уникальных свойств, но и в полной мере владеть принципами нелинейной оптики и иметь возможность использования полученных знаний для решения разнообразных научных и производственных задач.

Предлагаемая программа в полной мере решает поставленные задачи. В процессе изучения дисциплины углубляются и развиваются представления, основы которых получены из разделов дисциплины «Оптика» и дисциплин специализации «Оптические спектры атомов», «Молекулярная спектроскопия», «Люминесценция», «Физика лазеров», «Современные лазерные системы», «Современные оптоэлектронные системы», «Нелинейная оптика». Сведения, приобретенные в ходе изучения дисциплины, важны для более глубокого и качественного усвоения ряда дисциплин специализации («Когерентная оптика и голография», «Оптическая обработка информации», «Оптика сверхкоротких импульсов», «Лазеры в медицине и лазерные технологии», «Лазерная спектроскопия»).

В результате изучения дисциплины студент должен

**знать:**

- основные положения теории лазерной генерации и свойства лазерного излучения;
- основные схемы получения различных динамических режимов генерации;
- методы управления частотой лазерной генерации;
- наиболее распространенные типы лазеров и области использования лазерного излучения;
- понятие нелинейной среды и механизмы оптической нелинейности;
- основные нелинейные явления (генерация второй и более высоких гармоник, вынужденное комбинационное рассеяние);

**уметь:**

- провести юстировку лазерного резонатора;
- провести измерение параметров генерируемого излучения;
- рассчитать мощность генерации лазера, работающего в непрерывном режиме;
- рассчитать энергию, пиковую мощность и длительность импульса лазера в режиме модуляции добротности;
- рассчитать длительность импульса и расстояние между импульсами лазера в режиме синхронизации мод;
- провести оценку ширины линии генерации лазера с внутрирезонаторными дисперсионными элементами (призма, дифракционная решетка, интерферометр Фабри-Перо);

- рассчитать нелинейное изменение показателя преломления для различных сред и механизмов взаимодействия лазерного излучения с веществом;
- рассчитать эффективность генерации второй и более высоких гармоник;

**владеть:**

- методами реализации различных динамических режимов генерации;
- методами расчета энергетических и динамических характеристик лазерной генерации;
- методами оценки ширины линии генерации лазера с внутрирезонаторными дисперсионными элементами;
- методами реализации различных нелинейно-оптических процессов;
- методами расчета эффективности нелинейного взаимодействия лазерного излучения со средой;
- методами расчета эффективности параметрического преобразования световых полей.

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

**Академические компетенции:**

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

**Социально-личностные компетенции:**

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

**Профессиональные компетенции:**

- Применять знания теоретических и экспериментальных основ физики и математики, методы исследования физических объектов, методы измерения физических величин, методы автоматизации эксперимента.
- Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационные образовательные технологии,

физические основы современных технологических процессов, научное оборудование и аппаратуру.

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

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

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

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

Материал дисциплины основан на знаниях и представлениях, заложенных в дисциплинах «Физика лазеров», «Современные оптоэлектронные системы», «Нелинейная оптика». Он является базовым для дисциплин: «Когерентная оптика и голография», «Оптическая обработка информации», «Оптика сверхкоротких импульсов», «Лазерная спектроскопия», «Лазеры в медицине и лазерные технологии».

Программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями образовательных стандартов. Общее количество часов — 188; аудиторное количество часов — 110, из них: лабораторные занятия — 110. Форма отчётности — зачет. Форма получения высшего образования – очная, дневная. Занятия проводятся на 4-ом курсе в 8-ом семестре. Форма текущей аттестации по учебной дисциплине – зачет (5 зачетных единиц).

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

**1. Тема: Модовая структура излучения He-Ne лазера.** Ознакомиться с принципом работы гелий-неонового лазера, процессами в газовом разряде, влияющими на мощность лазерного излучения; изучить зависимость мощности генерации от тока накачки; исследовать поперечную и продольную модовую структуру излучения и влияние базы резонатора на спектр генерации, измерить ширину линии генерации.

**2. Тема: Лазер на алюмоиттриевом гранате с неодимом.** Режим свободной генерации. на примере лазера на алюмоиттриевом гранате с неодимом ознакомиться с физическими принципами его работы в режиме свободной генерации; приобрести навыки юстировки резонатора и измерения энергии и длительности импульса генерации; определить зависимости энергетических характеристик генерации от мощности накачки; рассчитать коэффициент полезного действия лазера, пороговую мощность и эффективность системы накачки.

**3. Тема: Режим активной модуляции добротности лазерного резонатора.** На примере лазера на алюмоиттриевом гранате ознакомиться с физическими принципами формирования лазерного импульса в режиме активной модуляции добротности; приобрести навыки юстировки резонатора и электрооптического затвора (ячейки Поккельса); изучить зависимость длительности импульса генерации от мощности накачки и времени задержки включения затвора; освоить методики оптимизации энергетических и временных характеристик генерации.

**4. Тема: Режим пассивной модуляции добротности.** На примере лазера на алюмоиттриевом гранате ознакомиться с физическими принципами формирования лазерного импульса в режиме пассивной модуляции добротности с помощью кристаллов LiF с центрами окраски, приобрести навыки юстировки резонатора и измерения энергии и длительности наносекундных световых импульсов; проанализировать условия перехода от пикового режима свободной генерации к режиму формирования одиночного импульса.

**5. Тема: Режим пассивной синхронизации мод твердотельных лазеров.** На примере лазера на алюмоиттриевом гранате с ионами неодима ознакомиться с физическими принципами формирования сверхкоротких импульсов излучения в режиме пассивной синхронизации мод с помощью стекла с наноразмерными частицами сульфида свинца; приобрести навыки юстировки резонатора и измерения параметров выходного излучения лазеров с пассивной синхронизацией мод; проанализировать условия перехода от режима свободной генерации к режиму синхронизации мод.

**6. Генерация второй гармоники.** Ознакомиться с явлением генерации второй гармоники лазерного излучения; измерить зависимости интенсивности второй гармоники от угла ориентации кристаллов [дигидрофосфат калия (KDP)  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  и ниобат лития  $\text{LiNbO}_3$ ] и

интенсивности излучения на основной частоте генерации лазера; рассчитать энергетические и угловые характеристики преобразования излучения во вторую гармонику для различных типов взаимодействия и сравнить теоретические и экспериментальные зависимости для обоих кристаллов.

**7. Тема: Перестраиваемые лазеры. Лазеры на красителях.** Изучить принципы построения лазеров с перестраиваемой частотой генерации; исследовать эффективность перестройки частоты генерации лазера на растворе красителя с использованием дисперсионного резонатора (дифракционная решетка, призма); наблюдать эффект затягивания частоты генерации; сравнить характеристики генерации лазера с селективным и неселективным резонаторами (ширина линии генерации, диапазон перестройки).

**8. Тема: Перестраиваемые лазеры с распределенной обратной связью.** Изучить принципы спектральной селекции излучения в лазерах со стационарной и динамической распределенной обратной связью, получить навыки юстировки РОС-лазеров; исследовать энергетические и спектральные характеристики РОС-лазера на красителе.

**9. Тема: Перестраиваемые лазеры на основе вынужденного комбинационного рассеяния.** Изучить принципы вынужденного комбинационного рассеяния, получить навыки юстировки ВКР-лазера; исследовать энергетические и спектральные характеристики ВКР-преобразователя на основе кристалла KGW.

**10. Тема: Светоизлучающие диоды и полупроводниковые лазеры.** Ознакомиться с физическими принципами работы светоизлучающих диодов и полупроводниковых лазеров, изучить их вольт-амперные и ватт-амперные характеристики; исследовать поляризационные характеристики генерации полупроводниковых источников света, измерить степень поляризации излучения светодиода и полупроводникового лазера при различных токах накачки; исследовать расходимость излучения полупроводниковых источников света, оценить размеры светоизлучающей области по углу расходимости лазерного излучения.

**11. Тема: Полупроводниковые детекторы оптического излучения.** Изучить принцип действия и устройство полупроводниковых детекторов лазерного излучения; исследовать зависимости фототока и фото-ЭДС на р – n-переходе от светового потока; исследовать энергетические (ватт-амперные) характеристики фотодиодов в фотогальваническом и фотодиодном режимах работы; исследовать динамические характеристики фотодиодов в фотогальваническом и фотодиодном режимах работы; приобрести навыки практической работы с линейной ПЗС-камерой и освоить методы измерения пространственного распределения интенсивности светового поля.

**12. Тема: Полупроводниковый лазер с волоконным выходом для накачки твердотельного лазера.** Ознакомиться с физическими принципами работы полупроводниковых лазеров, изучить их ватт-амперные

характеристики; исследовать поляризационные характеристики генерации полупроводниковых источников света, измерить степень поляризации излучения полупроводникового лазера при различных токах накачки, определить оптимальную температуру диода для накачки твердотельного лазера,

**13. Тема: DPSS - лазер. Режим свободной генерации и пассивной модуляции добротности.** На примере лазера на алюмоиттриевом гранате с неодимом ознакомиться с физическими принципами его работы в режиме свободной генерации и пассивной модуляции добротности; приобрести навыки юстировки резонатора и измерения энергии генерации; определить зависимости энергетических характеристик генерации от мощности накачки; рассчитать коэффициент полезного действия лазера, пороговую мощность.

**14. Тема: Внутри- и внерезонаторная генерация второй гармоники.** Ознакомиться с явлением генерации второй гармоники лазерного излучения; измерить зависимости интенсивности второй гармоники от угла ориентации кристаллов [дигидрофосфат калия (KDP)  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  и ниобат лития  $\text{LiNbO}_3$ ] и интенсивности излучения на основной частоте генерации лазера; рассчитать энергетические и угловые характеристики преобразования излучения во вторую гармонику для различных типов взаимодействия и сравнить теоретические и экспериментальные зависимости для обоих кристаллов.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ

| Номер раздела, темы | Название раздела, темы                                                   | Количество аудиторных часов |                      |                     |                      |      | Количество часов УСР | Формы контроля знаний         |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|------|----------------------|-------------------------------|
|                     |                                                                          | Лекции                      | Практические занятия | Семинарские занятия | Лабораторные занятия | Иное |                      |                               |
| 1                   | 2                                                                        | 3                           | 4                    | 5                   | 6                    | 7    |                      | 9                             |
| 1                   | Модовая структура излучения He-Ne лазера.                                |                             |                      |                     | 6                    |      |                      | Устный опрос, проверка отчета |
| 2                   | Лазер на алюмоиттриевом гранате с неодимом. Режим свободной генерации.   |                             |                      |                     | 8                    |      |                      | Устный опрос, проверка отчета |
| 3                   | Режим активной модуляции добротности лазерного резонатора.               |                             |                      |                     | 8                    |      |                      | Устный опрос, проверка отчета |
| 4                   | Режим пассивной модуляции добротности                                    |                             |                      |                     | 8                    |      |                      | Устный опрос, проверка отчета |
| 5                   | Режим пассивной синхронизации мод твердотельных лазеров                  |                             |                      |                     | 8                    |      |                      | Устный опрос, проверка отчета |
| 6                   | Генерация второй гармоники                                               |                             |                      |                     | 8                    |      |                      | Устный опрос, проверка отчета |
| 7                   | Перестраиваемые лазеры. Лазеры на красителях.                            |                             |                      |                     | 8                    |      |                      | Устный опрос, проверка отчета |
| 8                   | Перестраиваемые лазеры с распределенной обратной связью.                 |                             |                      |                     | 8                    |      |                      | Устный опрос, проверка отчета |
| 9                   | Перестраиваемые лазеры на основе вынужденного комбинационного рассеяния. |                             |                      |                     | 8                    |      |                      | Устный опрос, проверка отчета |
| 10                  | Светоизлучающие диоды и полупроводниковые лазеры.                        |                             |                      |                     | 8                    |      |                      | Устный опрос, проверка        |

|    |                                                                                |  |  |  |     |  |  |                               |
|----|--------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|-----|--|--|-------------------------------|
|    |                                                                                |  |  |  |     |  |  | отчета                        |
| 11 | Полупроводниковые детекторы оптического излучения.                             |  |  |  | 8   |  |  | Устный опрос, проверка отчета |
| 12 | Полупроводниковый лазер с волоконным выходом для накачки твердотельного лазера |  |  |  | 8   |  |  | Устный опрос, проверка отчета |
| 13 | DPSS - лазер. Режим свободной генерации и пассивной модуляции добротности.     |  |  |  | 8   |  |  | Устный опрос, проверка отчета |
| 14 | Внутри- и внерезонаторная генерация второй гармоники                           |  |  |  | 8   |  |  | Устный опрос, проверка отчета |
|    | <b>Всего</b>                                                                   |  |  |  | 110 |  |  | Зачет                         |

## **ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

### **Перечень основной литературы**

1. А.Л.Толстик, И.Н.Агишев, Е.А.Мельникова. Лазерная физика. Лабораторный практикум. Мн.: БГУ, 2006.
2. Н.В. Карлов. Лекции по квантовой электронике. М.: Наука. 1983, 1988.
3. А.Ярив. Квантовая электроника. М.: Мир. 1980.
4. Ф.Качмарек. Введение в физику лазеров. М.: Мир. 1981.
5. А.Ярив. Введение в оптическую электронику. М.: Мир. 1983.
6. О. Звелто. Принципы лазеров. М.: Мир. 1984, 1990.
7. И.Р.Шен. Принципы нелинейной оптики. М.: Наука. 1989.
8. Н.Б.Делоне. Нелинейная оптика. М.: Физматлит. 2003.
9. В.Г.Дмитриев, Л.В.Тарасов. Прикладная нелинейная оптика. М.: Физматлит. 2004.

### **Перечень дополнительной литературы**

1. В.А.Пилипович, А.А.Ковалев. Оптические квантовые генераторы с просветляющимися фильтрами. Мн.: Наука и техника. 1975.
2. Сверхкороткие световые импульсы. Под ред. С.Шапино. М.: Мир. 1981.
3. Л.В. Тарасов. Лазеры и их применение. М.: Радио и связь. 1983.
4. Г.М.Зверев, Ю.Д.Голяев, Е.А.Шалаев, А.А.Шокин. Лазеры на алюмоиттриевом гранате с неодимом. М.: Радио и связь. 1985.
5. Й.Херман, Б.Вильгельми. Лазеры сверхкоротких световых импульсов. М.: Мир. 1986.
6. Б.Ф.Федоров. Лазеры. Основы устройства и применение. М.: ДОСААФ. 1988.
7. А.А.Мак, Л.Н.Сомс, В.А.Фромзель, В.Е.Яшин. Лазеры на неодимовом стекле. М.: Наука. 1990.
8. С.М.Копылов, Б.Г.Лысой, С.Л.Серегин, О.Б.Чередниченко. Перестраиваемые лазеры на красителях и их применение. М.: Радио и связь. 1991.
9. Г.М. Зверев, Ю.Д. Голяев. Лазеры на кристаллах и их применение. М. 1994.

### **Перечень используемых средств диагностики результатов учебной деятельности**

1. Устные опросы.
2. Проверка отчетов по лабораторной работе

### Перечень тем для устного опроса

1. Что такое инверсия населенностей уровней энергии? Как она создается в гелий-неоновом лазере?
2. Объясните наблюдаемую зависимость мощности генерации от тока накачки.
3. Что такое моды лазера? От чего зависят и как определяются индексы продольных и поперечных мод?
4. От чего и как зависит число продольных мод: а) при заданных условиях разряда, б) при изменении условий разряда?
5. Объясните различия в спектрах генерации используемых в работе гелий-неоновых лазеров ЛГ-36 и ЛГН-208.
6. Каков принцип работы лазера на алюмоиттриевом гранате?
7. В чем преимущество четырехуровневой схемы генерации по сравнению с трехуровневой?
8. Объясните различия в характерах зависимостей энергии, мощности и КПД генерации лазера от мощности накачки.
9. Почему для определения порога генерации удобно использовать зависимость мощности генерации от мощности накачки?
10. Какие факторы определяют оптимальное значение коэффициента полезных потерь?
11. Каков принцип работы электрооптического затвора лазера?
12. В чем преимущество метода активной модуляции добротности резонатора по сравнению с методом пассивной модуляции?
13. Объясните характер зависимости длительности импульса генерации от энергии накачки.
14. Объясните зависимость длительности импульса генерации от времени задержки включения электрооптического затвора.
15. Какие факторы определяют пиковую мощность генерации и каковы условия получения максимальной пиковой мощности?
16. Как меняется энергия, мощность и порог генерации лазера при помещении в резонатор пассивного затвора?
17. Как влияет оптическая плотность затвора на энергию, мощность, порог генерации лазера и длительность моноимпульса?
18. Как объяснить появление нескольких световых импульсов при работе лазера с пассивной модуляцией добротности?
19. Объясните различия зависимостей мощности генерации от мощности накачки для режимов свободной генерации и пассивной модуляции добротности.
20. Каким образом можно добиться наибольшей пиковой мощности генерации лазера?
21. Чем определяется предельная (минимальная) длительность сверхкороткого импульса излучения и как ее можно сократить для данной активной среды?

22. Чем объясняется полученный в данной работе переход лазера от работы в режиме свободной генерации к режиму пассивной синхронизации мод?

23. Как объяснить генерацию лазером цуга сверхкоротких импульсов, а не одиночного импульса излучения?

24. Чем определяется временной интервал между отдельными сверхкороткими импульсами излучения в цуге?

25. Что такое условие фазового синхронизма и каким образом достигается его выполнение при генерации второй гармоники в двулучепреломляющих кристаллах?

26. Как зависит интенсивность второй гармоники от интенсивности основной частоты генерации лазера?

27. Какие факторы ограничивают коэффициент преобразования лазерного излучения во вторую гармонику?

28. Объясните появление дуги или кольца в пространственном распределении излучения второй гармоники на выходе кристалла при определенных его ориентациях.

29. Объясните линейчатую пространственную структуру излучения второй гармоники при установке перед кристаллом рассеивающей линзы.

30. Как осуществляется перестройка частоты генерации лазера с дифракционной решеткой (призмой)?

31. Как зависит диапазон перестройки частоты генерации лазера с дифракционной решеткой от номера используемого порядка дифракции?

32. Каким образом можно получить генерацию с более узкой спектральной шириной?

33. Объясните различия между шириной линии генерации лазера с неселективным резонатором и шириной линии, диапазоном перестройки генерации лазера с дисперсионным резонатором.

34. Как объяснить несовпадение частоты генерации лазера с дисперсионным резонатором и частоты настройки резонатора?

35. Принцип формирования лазерного резонатора с распределенной обратной связью

36. От чего зависит спектр излучения, генерируемого лазером с распределенной обратной связью.

37. Комбинационное рассеяние.

38. Вынужденное комбинационное рассеяние.

39. От чего зависит спектр излучения, генерируемого ВКР-лазером.

40. Принцип построения резонатора ВКР-лазера.

41. Каковы физические принципы излучения светодиода?

42. Объясните характер измеренных зависимостей мощности генерации и напряжения на светодиоде от потребляемого тока.

43. Как изменяется сопротивление светодиода при увеличении тока?

44. Каковы физические принципы работы полупроводникового лазера?

45. Объясните характер измеренных зависимостей мощности генерации и напряжения на полупроводниковом лазерном диоде от тока накачки.
46. Как изменяется сопротивление полупроводникового лазера при увеличении тока?
47. Какое основное отличие ватт-амперных характеристик полупроводниковых лазеров и светоизлучающих диодов?
48. Какие поляризационные характеристики имеет излучение светодиода?
49. Какие поляризационные характеристики имеет излучение полупроводникового лазера? Чем обусловлена зависимость степени поляризации излучения от тока накачки?
50. Какое основное отличие поляризационных характеристик полупроводниковых лазеров и светоизлучающих диодов?
51. Какую диаграмму направленности излучения имеют светодиоды и чем она определяется?
52. Как объясняется появление темного пятна в центральной части излучения светодиода?
53. Какую диаграмму направленности излучения имеют полупроводниковые лазеры и чем она определяется?
54. Как объясняется зернистая структура излучения полупроводникового лазера?
55. Каковы физические принципы генерации тока на  $p - n$ -переходе под действием света?
56. Объясните характер измеренных зависимостей генерируемого тока и напряжения на  $p - n$ -переходе от светового потока.
57. Чем объясняются различия зависимостей фототока и фото-ЭДС для разных фотодиодов, используемых в работе?
58. Каковы физические принципы работы фотодиода в фотогальваническом режиме?
59. Какие существуют способы измерения сигнала в фотогальваническом режиме от способа включения фотодиода?
60. Из каких принципов надо исходить при выборе нагрузочного сопротивления при работе в фотогальваническом режиме?
61. Каковы физические принципы работы фотодиода в фотодиодном режиме?
62. Из каких принципов надо исходить при выборе нагрузочного сопротивления при работе фотодиода в фотодиодном режиме?
63. Каким образом можно достичь наибольшей чувствительности фотодиодной системы регистрации?
64. Какие параметры фотодиода и электрической схемы измерения влияют на быстродействие системы регистрации?
65. Чем объясняются различия динамических характеристик систем регистрации для разных фотодиодов, используемых в работе?

66. Из каких принципов надо исходить при выборе нагрузочного сопротивления для обеспечения максимального быстродействия?

67. Чем определяется пространственное разрешение системы регистрации на основе ПЗС-камеры?

68. Как зависит амплитуда сигнала от времени накопления и мощности регистрируемого излучения?

69. Объясните характер измеренных зависимостей мощности генерации на полупроводниковом лазерном диоде от тока накачки.

70. Как меняется энергия, мощность и порог генерации лазера при помещении в резонатор пассивного затвора?

### **Методика формирования итоговой оценки**

Итоговая оценка формируется на основе:

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

2. Положения о рейтинговой системе оценки знаний студентов по дисциплине в Белорусском государственном университете (№ 382-ОД от 18.08.2015 г.);

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

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

Оценка каждого из устных ответов проводится по десятибалльной шкале. Оценка текущей успеваемости рассчитывается как среднеарифметическая оценок за устные ответы. Текущая аттестация по учебной дисциплине проводится в форме зачета, к зачету допускаются студенты, чья оценка текущей успеваемости не менее 4 баллов.

# ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

| Название дисциплины, с которой требуется согласование | Название Кафедры                        | Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине | Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)           |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Нелинейная оптика                                     | Кафедра лазерной физики и спектроскопии | Оставить содержание учебной дисциплины без изменения                                     | Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 18 от 22 июня 2018 г)   |
| Когерентная оптика и голография                       | Кафедра лазерной физики и спектроскопии | Оставить содержание учебной дисциплины без изменения                                     | Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 18 от 22 июня 2018 г)   |
| Оптическая обработка информации                       | Кафедра лазерной физики и спектроскопии | Оставить содержание учебной дисциплины без изменения                                     | Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 11 от 29 апреля 2015 г) |
| Оптика сверхкоротких импульсов                        | Кафедра лазерной физики и спектроскопии | Оставить содержание учебной дисциплины без изменения                                     | Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 18 от 22 июня 2018 г)   |
| Лазеры в медицине и лазерные технологии               | Кафедра лазерной физики и спектроскопии | Оставить содержание учебной дисциплины без изменения                                     | Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 18 от 22 июня 2018 г)   |

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры  
(протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.)

---

А.Л. Толстик

В.М. АНИЩИК