

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)



УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор, проректор по  
научной и инновационной работе

В.Г. Прокошев

« 5 » 05 2015 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**ЛАЗЕРНАЯ ФИЗИКА**

(наименование дисциплины)

Направление подготовки 03.06.01 Физика и астрономия

Направленность (профиль) подготовки Лазерная физика

Уровень высшего образования Подготовка кадров высшей квалификации

Квалификация выпускника Исследователь, Преподаватель-исследователь

Форма обучения Очная

Курс	Трудоем- кость зач. ед, час.	Лек- ции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРА, час.	Форма промежуточного контроля (экз./зачет)
4	3/108	18			54	Экзамен, 36
Итого	3/108	18			54	Экзамен, 36

г. Владимир, 2015 г.

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины (модуля) «Лазерная физика» является освоение обучающимися методов сбора информации по лазерной физике. Значительное внимание в курсе отводится на рассмотрение вопросов практического применения теоретических методов.

Лазерная техника и лазерные технологии в настоящее время проникают во все большее число отраслей промышленности, широко используются в научных исследованиях. Сочетание в едином комплексе лазеров и компьютеров, применение методов математического моделирования позволяют создавать устройства и разрабатывать технологии с уникальными техническими характеристиками.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

В настоящее время область использования лазерного излучения в качестве научного и технологического инструмента постоянно расширяется. Курс «Лазерная физика» дает основу для последующей работы специалиста в области лазерной физики, систематизировано представляя принципы и примеры применения лазерного излучения. Данная дисциплина является обязательной дисциплиной вариативной части ОПОП подготовки аспирантов по направленности «Лазерная физика». Знания, формируемые курсом необходимы как в исследовательской работе, так и для инженерных разработок для направлений лазерной техники. Изложение материала в рамках курса учитывает как базовые положения лазерной физики, так и современные тенденции данной области науки.

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения программы аспирантуры у выпускника должны быть сформированы следующие компетенции:

**УК-1** способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;

**УК-5** способностью планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития;

**ОПК-1** способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий;

**ПК-1** готовность использовать современные методы исследования процессов взаимодействия когерентного оптического излучения с веществом;

**ПК-3** способность исследовать фундаментальные свойства вещества с помощью когерентного излучения методами нелинейной оптики и лазерной спектроскопии;

**ПК-4** готовность применять современные математические методы при анализе процессов лазерной физики, квантовой оптики, фотоники и лазерных нанотехнологий;

**ПК-5** готовностью использовать современные методы лазерной физики и лазерных технологий в различных областях науки и техники, включая высокоточные оптические измерения, модификацию и обработку материалов, локацию, лазерную медицину и др.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

1) **Знать:** современные научные достижения (УК-1); современные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии (ОПК-1); современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках (УК-5, ПК-1); методы нелинейной оптики и лазерной спектроскопии (ПК-3, ПК-5); современные математические методы для анализа физических процессов (ПК-4);

2) **Уметь:** критически мыслить и генерировать новые идеи при решении исследовательских и практических задач планировать и решать задачи (УК-1); собственного профессионального и личностного развития (УК-5); самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1, ПК-3); использовать современные методы исследования процессов взаимодействия когерентного оптического излучения с веществом и математические методы (ПК-1, ПК-4, ПК-5);

3) **Владеть:** способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1, ПК-5); готовность применять современные математические методы при анализе процессов лазерной физики, квантовой оптики, фотоники и лазерных нанотехнологий (ПК-4); способность исследовать фундаментальные свойства вещества (ПК-3); способностью планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-5).

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Курс	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов и трудоемкость (в часах)					Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра), форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	СРА	КР/КП	
1.	Основы нелинейной оптики. Явление филаментации в генерации суперконтинуума при распространении лазерных импульсов в нелинейной среде. Фотонные кристаллы.	4	6	-	-	17	-	Тестирование
2.	Нелинейная оптика волоконных световодов. Волоконные лазеры. Нелинейная фотоника наноструктур. Лазерное охлаждение, пленение и управления атомами.	4	6	-	-	20	-	Тестирование
3.	Фотоника самоорганизующихся наноструктур на биоминеральных объектах и их биомиметических аналогов. Динамическая голография и оптические Novelty фильтры. Адаптивные оптоэлектронные системы SMART - ГРИД мониторинга физических полей объектов.	4	6	-	-	17	-	Тестирование
4.	<b>ИТОГО:</b>	<b>4</b>	<b>18</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>54</b>	<b>-</b>	<b>Экзамен, 36</b>

**1. Основы нелинейной оптики.** Нелинейно-оптические взаимодействия света и вещества. Природа нелинейно-оптических явлений. Классификация нелинейно-оптических эффектов. Поляризация диэлектриков в постоянном электрическом поле. Поляризация изотропного диэлектрика в световом поле. Взаимодействие интенсивных электромагнитных волн с нелинейной средой. Генерация второй гармоники. Условие фазового синхронизма. Статический и динамический эффект Керра в нелинейной среде. Керровская самофокусировка. Фазовая самомодуляция светового излучения. Расширение спектра фемтосекундных импульсов в нелинейных средах. Компрессия лазерных импульсов.

**2. Явление филаментации в генерации суперконтинуума при распространении лазерных импульсов в нелинейной среде.** Генерация суперконтинуума при распространении лазерного импульсного излучения в конденсированных средах. Фазовая самомодуляция и элементарная теория спектрального уширения сверхкоротких лазерных импульсов. Нелинейное волновое уравнение для описания процесса филаментации лазерного импульса. Изменение формы и спектра импульса при филаментации. Филаментация импульсного излучения в газообразных средах. Атмосферные приложения мощного фемтосекундного излучения. Филаментация лазерного пучка, как источник суперконтинуума для экологического мониторинга.

**3. Фотонные кристаллы.** Классификация фотонных кристаллов. Одномерные, двумерные и трехмерные фотонные кристаллы. Механизм формирования фотонных запрещенных зон. Роль дефектов в фотонно-кристаллических структурах. Фотонно-кристаллические устройства. Фотонно-кристаллические волокна. Классификация. Характеристики фотонно-кристаллических волокон: модовые, дисперсионные, энергетические и спектральные характеристики. Фотонно-кристаллические волокна с запрещенной зоной: Брэгговские волоконные световоды; 2D – фотонно-кристаллические волоконные световоды.

**4. Нелинейная оптика волоконных световодов.** Нелинейно-оптические процессы в волоконных световодах. Волноводное усиление эффективности нелинейно-оптических процессов в волоконных световодах. Фазовая самомодуляция излучения в волоконных световодах. Влияние дисперсии на нелинейные процессы волоконных световодов. Фазовая кросс модуляция импульсов в волоконных световодах. Четырехволновое смещение волн. Вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР) излучения в волоконных световодах. Вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна в волоконных световодах. Распространение ультракоротких импульсов в волоконных световодах. Накачка в области нормальной дисперсии. Накачка в области аномальной дисперсии. Генерация суперконтинуума волоконных световодах. Нелинейные свойства фотонно-кристаллических волоконных световодов. Дисперсионные свойства некоторых микроструктурированных фотонно-кристаллических волоконных световодов. Генерация суперконтинуума в волоконных световодах. Генерацию суперконтинуума в МС-волоконных световодах, имеющего две длинные волны нулевой дисперсии. Нелинейно-оптические свойства ФК волоконных световодов.

**5. Волоконные лазеры.** Принцип работы волоконного лазера. Активные волоконные световоды. Резонаторы волоконных лазеров. Непрерывные волоконные лазеры. Волоконные лазеры на основе вынужденного комбинационного рассеяния излучения. Однокаскадные, многокаскадные и составные ВКР лазеры. Волоконные ВКР-лазеры со случайной распределенной обратной связью. Импульсные волоконный лазеры. Методы получения

импульсного излучения волоконных лазеров: модуляция добротности, активная и пассивная синхронизация мод волоконного лазера, использование зеркального насыщающегося полупроводникового поглотителя (SESAM). Методы компенсации дисперсионного расплывания импульсов волоконных лазерах. Призмные конденсаторы дисперсии групповой скорости. Решетчатый компенсатор дисперсии групповой скорости. Компенсатор дисперсии групповой скорости на основе интерферометра Жир - Турнуа. Конденсаторы дисперсии групповой скорости на основе чирпированных брэгговских зеркал. Система волоконно-оптических генераторов суперконтинуума. Усиление УКИ в волоконных лазерах. Волоконные лазеры в технологии. Физические процессы при обработке материалов лазерным излучением. Методы поверхностной лазерной обработки. Применение волоконных лазеров для сварки, сверления и обработка материалов.

**6. Нелинейная фотоника наноструктур.** Энергетический спектр наноразмерных структур. Объемная кристаллическая структура: энергетический спектр носителей заряда в объеме кристаллической структуре, плотность состояний электронов в энергетической зоне объемной кристаллической структуры. Энергетический спектр и плотность состояний носителей заряда в одномерной изолированной квантовой яме и квантовые нити. Квантовые точки и плотность состояний электронов. Экситонные состояния в полупроводниковых и диэлектрических материалах. Свободные экситоны и экситоны Ванье-Мотта. Связанные экситоны (экситоны Френкеля). Влияние формы наночастиц на энергетическую подсистему носителей заряда. Одночастичные состояния в наночастицах сложной формы. Двучастичные (экситонные) состояния в наночастицах с неправильной геометрией формы. Влияние окружающей среды на энергетический спектр экситонов в наночастицах. Низкоэнергетическая оптическая нелинейность жидких нанокомпозитных средств на основе наночастиц.

**7. Лазерное охлаждение, пленение и управления атомами.** Доплеровское и зеэмановское охлаждение атомов. Остановка и пленения атомов: доплеровские ловушки, магнитно - оптические ловушки и сизифово охлаждение. Лазерное охлаждение ниже уровня отдачи. Охлаждение атомов на основе селективного по скоростям когерентного пленения населенности. Испарительное охлаждение атомов. Физика холодных атомов и её приложения. Однокомпонентная плазма. Бозе - Эйнштейновская конденсация атома. Атомный лазер. Атомный фонтан и атомные часы. Атомная оптика. Методы построения элементов атомной оптики. Управление атомными пучками с использованием материальных структур. Управление атомами пучками с использованием статических электрических и магнитных полей. Управление атомными пучками при помощи лазерного излучения. Атомно-оптическая нанолитографии. Нанолитография прямого осаждения. Нанолитография на резисте. Атомная наноперьевая литография.

**8. Фотоника самоорганизующихся наноструктур на биоминеральных объектах и их биомиметических аналогов.** Морфология и физико-химические характеристики спикул глубоководных стеклянных морских губок. Роль фотонно-кристаллических свойств спикул и глубоководных морских губок в процессе их метаболизма. Нелинейно-оптические свойства спикул глубоководных стеклянных морских губок. Биомиметическое моделирование биосиликатного нанокомпозитного материала спикул ГСМГ. Золь-гель технологии химического моделирования биоминеральных нанокомпозитных материалов и их оптические характеристики. 2D и 3D геометрические нанокомпозитные и материальные структуры для фотоники, биомедицина, катализа и сорбция. Биосилификация в живых системах использование клонированных белков силикатеинов.



структуры для фотоники, биомедицина, катализа и сорбция. Биосилификация в живых системах использование клонированных белков силикатеинов.

9. **Динамическая голография и оптические Novelty фильтры.** Адаптивная оптика. Динамическая голография. Процесс взаимодействия двух плоских волн на динамических голограммах в фоторефрактивных кристаллах. Передаточная характеристика оптического Novelty фильтра. Особенности функционирования оптических novelty фильтров. Низкочастотный и высокочастотный Novelty фильтры. Полосовой Novelty фильтр. Novelty фильтры, основанные на использовании явления фанинга в фоторефрактивных кристаллах.. Функциональные novelty фильтры для обработки изображений на основе эффекта фанинга. Высокочастотные корреляционные novelty фильтры реального времени.

10. **Адаптивная оптоэлектронные системы SMART - ГРИД мониторинга физических полей объектов.** Лазерная диагностика. Интеллектуальные распределенные измерительные системы SMART - ГРИД мониторинга физических полей и объектов. Томографические распределенные волоконно-оптические измерительные системы для реконструкции распределения скалярных и векторных физических полей. Протяженный волоконно-оптические измерительные линии на основе одноволоконных многомодовых интерферометров и методы адаптивной пространственной фильтрации. Методы мультиплексирования волоконно-оптических измерительных измерительных линий в SMART – ГРИД системах мониторинга. Пространственное мультиплексирование. Угловое мультиплексирование. Спектральное мультиплексирование.

## **5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Проведение лекционных занятий обеспечено специализированными аудиториями, оборудованными компьютерами и электронными проекторами, что позволяет сопровождать чтение лекций демонстрацией компьютерных слайдов.

В рамках лекционного курса используются также следующие технологии:

- Компьютерные симуляции лазерно-индуцированных процессов;
- Технология проблемного обучения (case-study). При рассмотрении вопросов практического применения рассмотренного теоретического материала, используется диалог со студентами на предмет возможных способов решения поставленной задачи;
- Встречи с учеными, работающими в области лазерной физики и лазерной диагностики.

## **6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ АСПИРАНТОВ**

### **а) Перечень вопросов для тестирования**

1. Линейно поляризованное излучение He-Ne лазера с шириной спектра 20 МГц направляется в интерферометр Маха-Цендера. В одном из плеч интерферометра стоит полуволновая пластинка, без потерь поворачивающая поляризацию на 90°. Какой должна быть разность плеч, чтобы на выходе интерферометра свет был неполяризован во втором порядке по полю?

2. Как с помощью кристалла ниобата лития сделать неполяризованным линейно поляризованное излучение светодиода с центральной длиной волны 500 нм и шириной

спектра 30 нм? Какой длины нужно взять кристалл? Обыкновенный и необыкновенный показатели преломления на длине волны 500 нм равны, соответственно, 2,34 и 2,24.

3. В течение какого времени (по порядку величины) солнечный свет можно считать поляризованным?

4. То же, для светодиода, излучающего в диапазоне 30 нм с максимумом на 500 нм?

5. Какая корреляционная функция Глаубера измеряется в эксперименте по наблюдению «скрытой поляризации»? Записать выражение.

6. Недиagonальные элементы матрицы когерентности равны нулю. Означает ли это, что свет неполяризован?

7. Можно ли по виду вектора Джонса определить, является ли свет полностью или частично поляризованным? Ответ обосновать.

8. Какова должна быть толщина кварцевой пластинки, ориентированной (оптической осью) под углом 45 градусов к вертикали, чтобы горизонтально поляризованное излучение титан-сапфирового лазера с длиной волны 800 нм и длительностью импульса 100 фс на выходе из пластинки становилось

а) вертикально поляризованным;

б) неполяризованным. Двупреломление кварца считать равным 0.01.

9. Докажите, что матрицы вида  $\begin{pmatrix} t & r \\ -r^* & t^* \end{pmatrix}$ ,  $|t|^2 + |r|^2 = 1$  образуют группу по отношению

к операции умножения.

10. Показать, что векторы Джонса для правоциркулярной и левоциркулярной поляризации ортогональны.

11. Сколькими вещественными параметрами характеризуется произвольный двухмодовый светоделитель? Фазовая пластинка? Ротатор? Ответ обосновать.

12. Как преобразуется вектор Джонса, когда вектор Стокса поворачивается на  $\pi$  вокруг оси  $\sigma_z$ ? Запишите матрицу Джонса.

13. Коммутативны ли поляризационные преобразования? Ответ обосновать.

14. Можно ли придумать набор фазовых пластинок или ротаторов, который любое поляризационное состояние преобразовывал бы в ортогональное?

15. (а) Как должен быть поляризован свет, чтобы произвольный ротатор не менял его состояния поляризации? (б) Каким должен быть ротатор, чтобы он не менял произвольного состояния поляризации света?

16. Как из пластинок  $\frac{\lambda}{2}$  и  $\frac{\lambda}{3}$  сделать пластинку  $\frac{\lambda}{6}$ ?

17. Имеются четвертьволновые пластинки для излучения YAG:Nd лазера с длиной волны 1064 нм. Будут ли две такие пластинки работать как одна полуволновая пластинка? Будет ли одна такая пластинка работать как полуволновая пластинка для излучения второй гармоники того же лазера?

18. Свет, поляризованный линейно по x, падает на систему из 5 пластин  $\lambda/2$ , причем оси всех четных пластин направлены под углом  $+1^\circ$  к оси x, а оси всех нечетных - под углом  $-1^\circ$  к ней. Как будет поляризован свет на выходе? А если все пластинки ориентированы одинаково - под углом  $+1^\circ$  к оси x?

19. Два ортогонально поляризованных монохроматических пучка света проходят через одинаковые фазовые пластинки, а затем сбиваются на экране. Будет ли наблюдаться интерференция? Ответ обосновать.

20. Найти степень поляризации для однофотонного состояния.
21. Как измерить параметр Стокса  $S_1$ ?
22. Нарисовать установку для измерения комбинации параметров Стокса  $S_1+S_2$ .
23. Вычислить коммутатор  $[S_1, S_2]$ .
24. Составляют ли группу операторы Стокса? Ответ обосновать.
25. Вычислить параметры Стокса для состояния  $|\text{vac}\rangle + c|2, 0\rangle$ , генерируемого при СПР первого типа. Какие параметры Стокса могут быть измерены одновременно для этого состояния?

26. Доказать соотношение  $S_0^2 = S_1^2 + S_2^2 + S_3^2$ .

27. Найти среднее значение оператора  $S^2 = (\mathbf{S}, \mathbf{S})$  в однофотонном состоянии.

28. Найти коммутатор  $[S^2, S_1]$ .

29. Покажите, что признак неклассичности  $D_k(0) \equiv \frac{g_{k-1}g_{k+1}}{g_k^2} < 1$ ,  $g_k \equiv \frac{G_m^{(k)}}{G_m^{(1)k}}$ , не

выполняется для теплового (гауссовского) излучения.

30. Выполняется ли этот признак для когерентного излучения?

31. Найти объем когерентности для излучения диодного лазера-указки с длиной волны 650 нм, шириной спектра 10 нм, диаметром пучка 3 мм и дифракционной расходимостью. (Зачем здесь упоминается дифракционная расходимость?) При какой мощности лазерной указки в объеме когерентности будет один фотон?

32. Чему равна Р-функция для вакуума? А функция Вигнера?

33. Какие величины надо измерить в эксперименте, чтобы убедиться в неклассичности двухфотонного света? Нарисовать схему эксперимента.

34. Найти параметр группировки (нормированную КФ второго порядка)  $g^{(2)}$  для состояния  $\alpha|0\rangle + \beta|2\rangle$ ,  $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$ . При каком условии свет в таком состоянии будет обладать антигруппировкой?

35. Какого порядка должна быть нелинейность у среды, чтобы в ней возможна была генерация трехфотонного света? Запишите гамильтониан.

36. Какие физические величины измеряются при проверке неравенства Белла в форме Клаузера-Хорна-Шимони-Хольта?

37. Показать, что для света в белловском состоянии (хотя бы одном из четырех),

$$\Psi^\pm \equiv (a_1^\dagger b_2^\dagger \pm b_1^\dagger a_2^\dagger) |\text{vac}\rangle,$$

$$\Phi^\pm \equiv (a_1^\dagger a_2^\dagger \pm b_1^\dagger b_2^\dagger) |\text{vac}\rangle,$$

где  $a^\dagger, b^\dagger$  - операторы рождения в поляризационных модах  $x, y$ , а индексы 1, 2 обозначают пространственные моды, свет в каждой из пространственных мод полностью неполяризован (степень поляризации равна нулю).

38. При абсолютной калибровке фотодетекторов с помощью бифотонного поля (по методу Клышко) один из детекторов выбирается более широкополосным (как по углу, так и по частоте), чем другой. Какой из двух детекторов при этом калибруется?

39. Если бы у детей капитана Гранта был маятник Фуко с чрезвычайно малым затуханием, на какой угол бы отклонилась плоскость качаний после кругосветного путешествия по 37й параллели? Продолжительность путешествия - 365 дней.



40. На какой угол поворачивается плоскость качаний маятника Фуко в Санкт-Петербурге за сутки?
41. На какой угол поворачивается поляризация света при прохождении через 3 витка световода, закрученного в виде спирали с радиусом 5 см и шагом 1 см?
42. Свет, поляризованный линейно по X, преобразуется в состояние с линейной поляризацией под  $45^\circ$  а) ротатором, б) пластинкой  $\lambda/2$ . В каком случае будет больше набег геометрической фазы? Ответ обосновать.
43. То же, найти набег геометрической фазы.
44. Свет, поляризованный правоциркулярно, пропускают через пластинку  $\lambda/2$ , ориентированную оптической осью под углом  $\chi$  к вертикали, а затем через точно такую же пластинку, ориентированную оптической осью под углом  $-\chi$  к вертикали. Найти изменение геометрической фазы.
44. Оцените чувствительность квантового магнетометра.
45. Как с помощью фазовой пластинки сделать 50% светоделитель для x- и y-поляризационных мод?
46. То же, для полуволновой и четвертьволновой пластинки. Для пластинки  $\lambda/3$ ?
47. Неполаризованное излучение, приготовленное из x-поляризованного излучения теплового источника (как?) пропускают через полуволновую пластинку, ориентированную под углом  $22.5^\circ$  к x, затем с помощью призмы Глана, выделяющей x- и y-поляризацию, направляют на два одномодовых детектора (что это значит?). Как измерить нормированную корреляционную функцию  $g_{xy}$ ? Чему она будет равна?
48. Будет ли проявляться эффект «скрытой поляризации» для солнечного света?
49. Определение корреляционной функции второго порядка  $G_{++}$ . Как ее измерить?
50. Определение и схема измерения корреляционной функции  $G_{xx}^{(2)}$ .
51. Укажите два независимых инварианта преобразований поляризации второго порядка по полю и один инвариант четвертого порядка по полю.
52. Один человек (назовем его X) утверждает, что когда двухфотонный свет падает на 50-% светоделитель, оба фотона всегда направляются в один выход. Прав ли X?
53. Найдите  $\langle a^2 \rangle$  в состоянии «сжатого вакуума»  $|0\rangle + c|2\rangle$ ,  $c \ll 1$ .
54. Покажите, что для сжатого вакуума  $\langle a^2 \rangle$  отлично от нуля, а  $\langle a \rangle$  равно нулю.
55. Найдите нормированную корреляционную функцию второго порядка  $g^{(2)}$  в состоянии «сжатого вакуума»  $|0\rangle + c|2\rangle$ ,  $c \ll 1$ .
56. Нарисуйте схему эксперимента по наблюдению амплитудного сжатия.
57. Нарисуйте схему эксперимента по наблюдению квадратурного сжатия.
58. Запишите преобразования Боголюбова для невырожденного параметрического усилителя. Покажите, что они сохраняют коммутационные соотношения.
59. Изобразите на фазовой плоскости следующие состояния света
- 1) сжатое по координате;
  - 2) сжатое по фазе;
  - 3) сжатое по числу фотонов;
  - 4) сжатое по фазе и координате одновременно.
60. Как получить в эксперименте двухфотонный свет, не используя спонтанное параметрическое рассеяние?
61. Как получить в эксперименте свет с антигруппировкой, используя спонтанное параметрическое рассеяние?

## б) Вопросы к экзамену

1. Дайте определение физических процессов приводящих к образованию филамента в среде.
2. Охарактеризуйте спектр излучения лазерного филамента и объясните, от чего он зависит.
3. Что служит причиной возникновения конической эмиссии излучения при филаментации?
4. Приведите примеры, где может использоваться излучение суперконтинуума возникающее при филаментации лазерных импульсов.
5. Дайте определение фотонного кристалла.
6. Какие процессы приводят к образованию запрещенных состояний для фотонов в фотонных кристаллах?
7. Дайте определение дефекта в фотонном кристалле. Приведите примеры использования дефектов в фотонных кристаллах.
8. Дайте классификацию фотонно-кристаллических волоконных световодов и поясните изменением каких параметров можно поменять их световедущие и дисперсионные характеристики?
9. Каким типом нелинейности определяются нелинейно-оптические свойства волоконных световодов?
10. Что служит причиной волноводного усиления эффективности нелинейно-оптических процессов в волоконных световодах?
11. К каким эффектам приводит процесс фазовой самомодуляции импульсного излучения в волоконных световодах?
12. Какие нелинейно-оптические процессы наблюдаются в волоконных световодах?
13. Охарактеризуйте зависимость спектральных изменений в распространяющемся по волоконному световоду лазерном импульсе от дисперсионных параметров световода.
14. Как влияют дисперсионные свойства микроструктурированных фотонно-кристаллических волоконных световодах?
15. Охарактеризуйте принципы, заложенные в основу работы волоконных лазеров. Приведите примеры конструкций волоконных лазеров и какие легирующие примеси используются для активирования материала сердцевины волоконного световода?
16. Объясните принцип работы волоконного ВКР-лазера. Какие типы волоконных ВКР-лазеров вы знаете?
17. Какие методы используются для получения импульсного излучения волоконных лазеров?
18. Какие методы используются для компенсации дисперсионного увеличения длительности импульсов в волоконных лазерах?
19. Объясните, как можно получить ультракороткие мощные импульсы в волоконных лазерах.
20. Какие процессы называются природной биоминерализацией и чем они определяются?
21. Что обуславливает фотонно-кристаллические свойства спикул морских стеклянных губок?
22. Как называются копирующие процессы в живой природе и каковы их возможности?
23. Что такое динамическая голография? Какими физическими процессами она определяется и где может быть использована?

24. Что такое Novelty фильтр и чем определяются его характеристики?
25. Какой эффект называется эффектом фаннинга и как он может быть использован для создания Novelty фильтров?
26. Какие системы называются волоконно-оптическими SMART - ГРИД системами мониторинга физических полей и какие принципы заложены в их основу?
27. Какие типы волоконно-оптических датчиков вам известны?
28. Что такое протяженная волоконно-оптическая измерительная линия? Какие принципы заложены в основу мультиплексирования волоконно оптических датчиков в волоконно-оптическую измерительную линию?
29. Объясните принципы доплеровского и зеемановского лазерного охлаждения атомов.
30. Какими способами можно добиться охлаждения атомов ниже уровня отдачи?
31. Приведите примеры практического использования лазерного метода охлаждения атомов.
32. Что лежит в основе явления квантово-размерного квантования энергетических уровней?
33. Приведите примеры низкоразмерных наноструктур и охарактеризуйте энергетический спектр носителей заряда в них.
34. Охарактеризуйте экситонные состояния в полупроводниковых и диэлектрических материалах.
35. Как влияет геометрическая форма наночастиц на энергетический спектр носителей заряда?
36. Как влияет окружающая среда(матрица) на энергетический спектр экситонов в наночастицах?
37. Чем определяется низкопороговая оптическая нелинейность гетерогенных сред содержащих наночастицы из диэлектрических материалов.

#### **в) Самостоятельная работа аспиранта**

Самостоятельная работа аспирантов включает самостоятельное более глубокое освоение материала, рассмотренного обзорно в рамках лекционных занятий.

1. Знакомство с научными периодическими изданиями по методам генерации суперконтинуума в волоконных световодах.
2. Изучение методов мультиплексирования волоконно-оптических измерительных линий в SMART-ГРИД системах мониторинга.
3. Изучения принципа управления атомными пучками и нанолитографии.
4. Изучение технологий производства биомиметических нанокompозитных биоминеральных структур.
5. Изучение номенклатуры фотонно кристаллических волокон.

### **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «ЛАЗЕРНАЯ ФИЗИКА»**

#### **а) основная литература:**

1. Дифракционная оптика и нанофотоника [Электронный ресурс] / Безус Е.А., Быков Д.А., Досколович Л.Л., Ковалев А.А., Котляр В.В., Налимов А.Г., Порфирьев А.П., Скиданов Р.В., Сойфер В.А., Стафеев С.С., Хонина С.Н. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2014. – 608

2. Растровая электронная микроскопия для нанотехнологий. Методы и применение [Электронный ресурс] / под ред. У. Жу, Ж.Л. Уанга ; пер. с англ. - 2-е изд. - М. : БИНОМ, 2014. – 600с.

3. Коррелированные фотоны и их применение [Электронный ресурс] / Самарцев В.В. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2014. – 168 с.

**б) дополнительная литература:**

1. Физика конденсированного состояния [Электронный ресурс] / Байков Ю.А., Кузнецов В.М. - М. : БИНОМ, М. : ФИЗМАТЛИТ, 2013. – 293 с.

2. Адаптивные оптические системы коррекции наклонов. Резонансная адаптивная оптика [Электронный ресурс] / Шанин О.И. - М. : Техносфера, 2013. - 296 с.

3. Физик В.С. Летохов - жизнь в науке [Электронный ресурс] / Под ред. Е.А. Рябова, Т.Й. Кару, В.И. Балыкина - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 241с.

**в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

<http://itam.nsc.ru/lab17/WIN/r8-main.php>. Группа Вычислительной томографии, Институт теоретической и прикладной механики, Новосибирск, Россия.

**8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Применение мультимедийных презентаций и компьютерных симуляций обеспечивается проведением занятий в уже оборудованных мультимедийным оборудованием аудиториях кафедры ФиПМ.

Для обеспечения проведения лабораторных работ имеются компьютерные классы кафедры ФиПМ и специализированные учебно-научные лаборатории, оборудованные современным оборудованием для лазерной диагностики вещества и изучения лазерно-индуцированных процессов (лаб. 107-3, 107а-3, 419-3, 123-3).

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 03.06.01 Физика и астрономия и направленности (профилю) подготовки Лазерная физика

Рабочую программу составил д.ф.-м.н., профессор каф. ФиПМ Аракелян С.М.  
(ФИО, подпись)

Рецензент  
(представитель работодателя) Исмаилов А.А. З. спец. инженер-техн. отдела ФКП "ГНПРазучо"  
(место работы, должность, ФИО, подпись)

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФиПМ  
Протокол № 135 от 5.06.15 года  
Заведующий кафедрой Аракелян С.М.  
(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии направления 03.06.01 Физика и астрономия и направленности (профилю) подготовки Лазерная физика

Протокол № 135 от 5.06.15 года  
Председатель комиссии Аракелян С.М.  
(ФИО, подпись)

### ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

Рабочая программа одобрена на 16-17 учебный год  
Протокол заседания кафедры № 1 от 31.08.16 года  
Заведующий кафедрой С.М. Аракелян

Рабочая программа одобрена на 17-18 учебный год  
Протокол заседания кафедры № 1 от 30.08.17 года  
Заведующий кафедрой С.М. Аракелян

Рабочая программа одобрена на 18-19 учебный год  
Протокол заседания кафедры № 1 от 03.09.18 года  
Заведующий кафедрой С.М. Аракелян



Рабочая программа одобрена на 19-20 учебный год  
Протокол заседания кафедры № 1 от 02.09.19 года  
Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_



Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год  
Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года  
Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год  
Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года  
Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год  
Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года  
Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год  
Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года  
Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год  
Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года  
Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_