

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 » _____ 2015 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНЫХ ПОЛЕЙ С ВЕЩЕСТВОМ

(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.	СРС, час.	Форма промежуточного контроля (экз./зачет)
2	2/72	20	4		48	зачет
Итого	2/72	20	4		48	зачет

г. Владимир 2015 г.

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения дисциплины (модуля) «Взаимодействие лазерных полей с веществом» является формирование у аспирантов знаний и компетенций в области лазерной физики в условиях интенсивного развития методов и средств, основанных на взаимодействии лазерного излучения с веществом, способствование становлению будущих научно-исследовательских кадров, необходимых для успешного развития современной России.

Задачи курса:

- сформировать у аспирантов специальные теоретические знания с учетом последних научных достижений в области лазерных воздействий на вещество;
- дать основные практические навыки в моделировании процессов взаимодействия лазерного излучения с металлами, диэлектриками и полупроводниками;
- сформировать представление о правильном применении полученных знания при решении задач лазерной физики.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

В настоящее время область использования лазерного излучения в качестве научного и технологического инструмента постоянно расширяется. Курс «Взаимодействие лазерных полей с веществом» дает основу для последующей работы специалиста в области лазерной физики, систематизировано представляя принципы и примеры применения лазерного излучения. Данная дисциплина относится к дисциплинам по выбору 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 учитываются, 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-2 способностью проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки;

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

ОПК-2 готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

Знать: механизмы поглощения и диссипации энергии лазерных полей в веществе; современные научные достижения (УК-1); эффекты и явления, индуцированные лазерным излучением; принципы лазерного преобразования вещества (УК-2); современные методы и

технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках (УК-5, ОПК-2);

Уметь: рассчитывать режимы лазерного воздействия на вещество, необходимые для достижения требуемого эффекта; планировать и осуществлять научный эксперимент в области взаимодействия лазерных полей с веществом (УК-5, ОПК-2); критически мыслить и генерировать новые идеи при решении исследовательских и практических задач планировать и решать задачи (УК-1); проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные (УК-2);

Владеть: методами моделирования эффектов и явлений, индуцированными лазерными полями в веществе; методами определения отклика среды на лазерное воздействие (УК-1, ОПК-2); способностью проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные (УК-2); способностью планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-5).

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единиц, 72 часов.

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Год обучения	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов и трудоемкость (в часах)					Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра), форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Лекции	Семинары	Практические занятия	Лабораторные работы	СРА	
1.	Механизмы поглощения и диссипации энергии в веществе	2	4	-	2	-	10	тестирование
2.	Поверхностные электромагнитные волны оптического диапазона	2	4	-	-	-	10	
3.	Общая характеристика нагревания материалов лазерным излучением и сопровождающие термические эффекты	2	4	-	2	-	10	тестирование
4.	Линейные и нелинейные режимы лазерного нагрева, тепловая неустойчивость	2	4	-	-	-	10	
5.	Лазерное разрушение поглощающих материалов	2	4	-	-	-	8	тестирование
ИТОГО:		2	20	-	4	-	48	зачет

СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

ЛЕКЦИИ

1. Механизмы поглощения и диссипации энергии в веществе.

Оптические процессы в металлах. Качественная схема механизмов и последовательности процессов поглощения света и перехода поглощенной энергии в тепло. Введение в классическую электродинамику металлов. Связь оптических постоянных с микрохарактеристиками металла. Дисперсионные соотношения. Частотная зависимость поглощательной способности металла при различных видах нормального скин-эффекта. Вклад аномальности скин-эффекта в поверхностное поглощение. Оптические процессы в полупроводниках. Основные механизмы оптического поглощения в полупроводниках; механизмы и последовательность передачи энергии. Особенности межзонного поглощения. Понятие о насыщении межзонного поглощения. Внутризонное поглощение света и зависимость поглощательной способности полупроводника от концентрации свободных носителей. Кинетика фотовозбуждения полупроводника лазерного излучения. Влияние

диффузионно-рекомбинационных процессов. Поверхностные электромагнитные волны оптического диапазона. Основные свойства поверхностных электромагнитных волн, структура и распределение полей, условия существования, дисперсионное соотношение. Поверхностные плазмон-поляритоны на границе металла с диэлектриком. Методы возбуждения ПЭВ. Эффективность возбуждения ПЭВ на решетке и шероховатой поверхности. Вклад генерации и диссипации ПЭВ в поглощение света на поверхности металла.

2. Линейные режимы лазерного нагрева.

Линейные режимы лазерного нагрева. Нагрев пространства экспоненциально спадающим с глубиной тепловым источником. Критериальные параметры и основные закономерности. Особенности нагревания материала световым пятном конечного размера. Общая характеристика лазерных линейных режимов разогрева при отсутствии теплообмена, одномерном, двумерном и трехмерном теплопроводностном оттоке тепла. Тепловое последствие лазерного импульса. Специфика нагрева и остывания материала при действии сверхкоротких лазерных импульсов. Общая характеристика нагревания лазерным излучением. Тепловые эффекты в конденсированных средах. Основные особенности температурной кинетики при лазерном воздействии. Теплопроводностные механизмы отвода тепла. Уравнение теплопроводности; начальное и граничные условия. Термические эффекты, сопровождающие лазерный нагрев. Термомеханические эффекты; фазовые переходы в твердом состоянии; диффузионно-химические явления; эмиссионные процессы. Основные особенности лазерной активации процессов аррениусовского типа. Лазерное плавление поверхности.

3. Нелинейные режимы лазерного нагрева, тепловая неустойчивость.

Нелинейные режимы лазерного нагрева. Обратные связи между оптическими и фотофизическими процессами при лазерном нагревании металлов и полупроводников. Температурные зависимости поглощательной способности и коэффициентов объемного поглощения, скачки поглощения при плавлении для металлов и полупроводников. Тепловая неустойчивость и стабилизация. Инерционные механизмы обратных связей. Особенности нелинейных режимов нагрева и тепловой неустойчивости при лазерной активации процессов аррениусовского типа. Влияние температурной зависимости поглощательной способности металла на его лазерный разогрев. Формирование квазистационарного прогретого слоя. Экспоненциальная кинетика роста температуры. Термохимический механизм лазерного нагрева окисляющихся металлов на воздухе. Основные экспериментальные закономерности. Кинетика взаимосвязанных химических, оптических и теплофизических процессов.

4. Лазерное разрушение поглощающих материалов.

Общая характеристика механизмов лазерного разрушения. Механическое низкотемпературное разрушение хрупких материалов. Химические механизмы разрушения. Высокотемпературные механизмы с участием испарения. Поляритонный механизм формирования лазерно-индуцированного поверхностного рельефа. Лазерное испарение. Кинетика испарения плоской поверхности. Испарение в вакуум и среду с противодействием. Температурная граница перехода от нагрева к испарению. Теплофизика перехода от нагрева к испарению. Одномерная задача теории теплопроводности о лазерном нагреве с испарением. Установление стационарного режима. Определение квазистационарных параметров. Зависимость температуры и скорости лазерного разрушения от плотности

светового потока. Вытеснение расплава избыточным давлением паров из лунки. Гидродинамический механизм лазерного разрушения. Закономерности разлета паров.

5. Современные представления об оптическом пробое прозрачных сред.

Физические представления об оптическом пробое идеальных диэлектриков. Лавинная ударная ионизация. Многофотонное поглощение. Роль ВРМБ. Электродинамические неустойчивости. Тепловой механизм оптического пробоя реальных сред. Оптические свойства реальных оптических материалов и покрытий. Основные экспериментальные закономерности и особенности оптического пробоя и разрушения оптически неоднородных сред. Роль микронеоднородностей в зарождении поглощения и пробоя. Механизмы инициирования объемного поглощения в первоначально прозрачной среде. Тепловая неустойчивость. Статистическая концепция оптического пробоя. Размерная зависимость порогов пробоя.

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

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. Недиагональные 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 π вокруг оси σ_3 ? 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° 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 $S_0^2 = S_1^2 + S_2^2$.

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° 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 χ 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° 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?

Вопросы для подготовки к зачету

1. Качественная схема механизмов и последовательности процессов поглощения света и перехода поглощенной энергии в тепло.
2. Связь оптических постоянных с микрохарактеристиками металла.

3. Дисперсионные соотношения. Частотная зависимость поглощательной способности металла при различных видах нормального скин-эффекта.
4. Вклад аномальности скин-эффекта в поверхностное поглощение.
5. Основные механизмы оптического поглощения в полупроводниках; механизмы и последовательность передачи энергии.
6. Особенности межзонного поглощения. Понятие о насыщении межзонного поглощения.
7. Внутризонное поглощение света и зависимость поглощательной способности полупроводника от концентрации свободных носителей.
8. Кинетика фотовозбуждения полупроводника лазерного излучения.
9. Поверхностные электромагнитные волны оптического диапазона.
10. Нагрев пространства экспоненциально спадающим с глубиной тепловым источником.
11. Общая характеристика лазерных линейных режимов разогрева при отсутствии теплообмена, одномерном, двумерном и трехмерном теплопроводностном оттоке тепла.
12. Тепловое последствие лазерного импульса.
13. Специфика нагрева и остывания материала при действии сверхкоротких лазерных импульсов.
14. Уравнение теплопроводности; начальное и граничные условия.
15. Термические эффекты, сопровождающие лазерный нагрев.
16. Термомеханические эффекты; фазовые переходы в твердом состоянии; диффузионно-химические явления; эмиссионные процессы.
17. Обратные связи между оптическими и фотофизическими процессами при лазерном нагревании металлов и полупроводников.
18. Температурные зависимости поглощательной способности и коэффициентов объемного поглощения, скачки поглощения при плавлении для металлов и полупроводников.
19. Тепловая неустойчивость и стабилизация.
20. Термохимический механизм лазерного нагрева окисляющихся металлов на воздухе.
21. Механическое низкотемпературное разрушение хрупких материалов.
22. Химические механизмы разрушения.
23. Высокотемпературные механизмы с участием испарения.
24. Поляритонный механизм формирования лазерно-индуцированного поверхностного рельефа.
25. Гидродинамический механизм лазерного разрушения.
26. Лавинная ударная ионизация.
27. Многофотонное поглощение.
28. Тепловой механизм оптического пробоя реальных сред.
29. Основные экспериментальные закономерности и особенности оптического пробоя и разрушения оптически неоднородных сред.
30. Механизмы инициирования объемного поглощения в первоначально прозрачной среде.

Самостоятельная работа аспиранта

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

1. Механизмы поглощения и диссипации энергии в веществе;

2. Поверхностные электромагнитные волны оптического диапазона;
3. Общая характеристика нагревания материалов лазерным излучением и сопровождающие термические эффекты;
4. Линейные и нелинейные режимы лазерного нагрева, тепловая неустойчивость;
5. Лазерное разрушение поглощающих материалов.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНЫХ ПОЛЕЙ С ВЕЩЕСТВОМ»

а) основная литература:

1. Энергетические параметры и характеристики лазерного излучения: метод. указания к выполнению лабораторных работ по курсу «измерение и контроль параметров лазерного излучения [Электронный ресурс] / М. В. Таксанц, Л.Н Майоров. – М. :Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014.-49с.
2. Фазовые равновесия в однокомпонентных системах [Электронный ресурс] : учебное пособие / Булидорова Г.В. - Казань : Издательство КНИТУ, 2014. – 92
3. Фазовые равновесия в многокомпонентных системах [Электронный ресурс] : учебное пособие / Булидорова Г.В. - Казань : Издательство КНИТУ, 2014. – 168с.

б) дополнительная литература:

1. Физические основы лазерной резки толстых листовых материалов [Электронный ресурс] / Ковалев О.Б., Фомин В.М. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2013. – 256 с.
2. Практика прецизионной лазерной обработки [Электронный ресурс] / Вакс Е.Д., Миленький М.Н., Сапрыкин Л.Г. - М. : Техносфера, 2013. – 696 с.
3. Физика высоких плотностей энергии [Электронный ресурс] / Фортов В.Е - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2013. – 712 с.

в) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

1. <http://intechlaser.ru/diodnaya-sborka-visokoy-plotnosti/>
2. <http://intechlaser.ru/moschnye-diodnye-sborki-stabilizirovannye-dline-volny/>.

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНЫХ ПОЛЕЙ С ВЕЩЕСТВОМ»

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 (уровень подготовки кадров высшей квалификации) 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.

доцент каф. ФиПМ Честнов И.Ю.

(ФИО, подпись)

Рецензент

(представитель работодателя)

отдела №17 "ТМТ Рязань"

Мякишев А.А. - зам. спец. научно-тех.
(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 _____