

Рабочая программа дисциплины

1. Введение в лазерную физику

2. Лекторы.

2.1. Д.ф.-м.н., профессор, Шувалов Владимир Владимирович, кафедра общей физики и волновых процессов физического факультета МГУ, e-mail: vsh@vsh.phys.msu.su, телефон.: +7(495) 939-50-35

2.1. Д.ф.-м.н., профессор, Савельев-Трофимов Андрей Борисович, кафедра общей физики и волновых процессов физического факультета МГУ, e-mail: abst@physics.msu.ru, телефон.: +7(495) 939-53-18

3. Аннотация дисциплины.

Курс «Введение в лазерную физику» является дисциплиной профиля для студентов 4-го курса физического факультета, обучающихся по программе "ИБ_ФИЗИКА" (направление 011200 "Физика") и специализирующихся в области лазерной физики и нелинейной оптики. Курс читается в 7 семестре и представляет собой систематическое изложение физических основ и принципов действия лазеров. В рамках курса последовательно рассматриваются основные аспекты описания электромагнитного излучения (переход к уравнению Гельмгольца и понятию мод), вещества (переход к уравнению Лиувилля, балансным и скоростным уравнениям), их взаимодействий (спонтанные и индуцированные процессы в многоуровневых системах), а также ряд стандартных приближений (дипольное и резонансное приближения, быстрая фазовая релаксация). Анализируются условия усиления и генерации (активные среды, системы накачки, резонаторы) и способы реализации различных режимов работы (непрерывная генерация, модуляция добротности, синхронизация мод), а также основные характеристики выходного излучения. Особенностью курса является стремление отследить границы применимости различных подходов к описанию рассматриваемых явлений.

4. Цели освоения дисциплины.

Владение современными профессиональными знаниями в области физики лазеров и применение этих знаний для решения практических задач.

5. Задачи дисциплины.

Знакомство с физическими принципами функционирования лазеров и методами реализации различных режимов работы, позволяющих получить такие характеристики излучения, которые необходимы для решения конкретных прикладных задач. Приобретение навыков расчета простых и сложных лазерных резонаторов, систем фокусировки и согласования гауссовских пучков, а также оценки параметров выходного излучения.

6. Компетенции.

7.1. Компетенции, необходимые для освоения дисциплины.

ОНК-5, ИК-1, ИК-2, ИК-3, ИК-4, ПК-1

7.2. Компетенции, формируемые в результате освоения дисциплины.

ПК-2, ПК-3, ПК-6

7. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен

знать физические основы и принципы функционирования оптических квантовых генераторов - лазеров;

уметь проводить расчет лазерных резонаторов, систем фокусировки и согласования гауссовских пучков, а также оценивать параметры выходного излучения;

владеть основными методами реализации режимов работы, позволяющих получить характеристики излучения, необходимые для решения конкретных задач;

иметь опыт деятельности выполнения научного доклада.

8. Содержание и структура дисциплины.

Вид работы	Семестр			Всего
	7			
Общая трудоёмкость, акад. часов	72			72
Аудиторная работа:	36			36
Лекции, акад. часов	36			36
Семинары, акад. часов	-			-
Лабораторные работы, акад. часов	-			-
Самостоятельная работа, акад. часов	36			36
Вид итогового контроля (зачёт, зачёт с оценкой, экзамен)	Экзамен			Экзамен

N раз- дела	Наименование раздела	Трудоёмкость (академических часов) и содержание занятий			Форма текущего контроля	
		Аудиторная работа				Самостоятельная работа
		Лекции	Семинары	Лабораторные работы		
1.	Введение. Спонтан- ные и индуцирован- ные переходы	<p><i>№1. 2 часа.</i> Цель курса. Литература. Историческая справка. Свойства лазерного излу- чения: монохроматич- ность, поляризация, направленность, коге- рентность. Блок-схема лазера и ее аналогия с ге- нератором радиочастотно- го диапазона. Необходи- мость учета нелинейности амплитудно-частотной характеристики. Потери и эффективное время жизни фотона в резонаторе. По- рог генерации и устойчи- вость, ее связь с насыще- нием коэффициента уси- ления. Режимы генерации.</p>			<p><i>2 часа.</i> <i>Работа с лекционным мате- риалом.</i> <i>Вспомнить принципы функци- онирования генераторов ра- диочастотного диапазона.</i></p>	ДЗ, Оп, Об
		<p><i>№2. 2 часа.</i> Спонтанные и индуциро- ванные переходы и их ве- роятности. Коэффициенты Эйнштейна, их связь. Термодинамическое рав- новесие с электромагнит- ным вакуумом. Безызлу- чательные переходы. Ба- лансные уравнения. Двух- уровневая система: коэф-</p>			<p><i>2 часа.</i> <i>Работа с лекционным мате- риалом.</i> <i>Вспомнить планетарную мо- дель атома, распределение Больцмана и условия его при- менности.</i> <i>Решение задач.</i></p>	

		<p>фициент поглощения, насыщение, невозможность создания инверсной заселенности за счет оптической накачки. Отрицательная температура. 3-х и 4-х уровневые системы переходов: разность населенностей, условия получения инвертированного состояния.</p>				
		<p>№3. 2 часа. Уравнение Шредингера и волновая функция. "Чистые" и "смешанные" состояния. Оператор и матрица плотности, уравнение Лиувилля. Система уравнений для диагональных и недиагональных элементов матрицы плотности. Поляризация среды. Дипольное приближение. Резонанс - приближение "вращающейся волны". Быстрая фазовая релаксация и переход к балансным уравнениям. Механизмы релаксации, однородное и неоднородное уширение, эффект Доплера, лоренцевский и гауссовский контуры линий.</p>				<p>2 часа. Работа с лекционным материалом. Вспомнить понятия монополя/диполя и особенности их взаимодействия с полем.</p>

2.	Оптическое излучение в резонаторе	<p>№4. <i>2 часа.</i> Излучение в пустом резонаторе. Уравнения Максвелла, волновое уравнение. Объемный резонатор. Собственные типы колебаний - моды. Пространственная структура поля, собственные частоты и поляризационные характеристики. Специфика оптического диапазона: поперечные и продольные моды, открытые резонаторы и световые пучки. Дифракционные потери и зависимость их величины от индексов мод. Селекция мод, роль дифракционных потерь. Взаимодействие и конкуренция мод.</p>			<p><i>2 часа.</i> Работа с лекционным материалом. Вспомнить уравнения Максвелла, переход от них к волновому уравнению, интеграл Кирхгофа</p>	ДЗ, Оп, Об, КР, РК
		<p>№5. <i>2 часа.</i> Гауссов пучок как основная поперечная мода аксиально-симметричного резонатора. Перетяжка пучка и конфокальный параметр. Зависимость радиуса пучка и кривизны волнового фронта от расстояния до плоскости перетяжки. Комплексный параметр пучка. Закон ABCD. Лучевая матрица</p>			<p><i>2 часа.</i> Работа с лекционным материалом. Вспомнить соотношение между волновой и геометрической оптикой, условия применимости последней. Решение задач.</p>	

		как решение системы линейных уравнений для параметров пучка в параксиальном приближении: свободное пространство, тонкая линза, граница раздела диэлектриков. Фокусировка пучка.				
		<p>№6. 2 часа.</p> <p>Обращение волнового фронта в резонаторе с обычными и нелинейными зеркалами. Матричный расчет линейного резонатора и области существования решений в резонаторе, образованном двумя плоскими зеркалами и тонкой линзой. Оптимальное заполнение активного элемента. Обобщенный сферический резонатор и диаграмма его устойчивости. Параметры Френеля. Их связь с дифракционными потерями и оптимальные значения. Эквивалентные резонаторы</p>			<p>2 часа.</p> <p>Работа с лекционным материалом.</p>	

		<p>№7-8. <i>4 часа.</i> Спектр генерации: продольные и поперечные моды, спектральная полоса усиления активной среды. Интервал частот между соседними продольными модами, их число для лазеров на растворах красителей, стеклах, активированных кристаллах и газах. Сужение спектра генерации: уменьшение длины резонатора, применение дисперсионных элементов. Эталон Фабри-Перо, призмы, дифракционные решетки. Трехзеркальные резонаторы. Поляризационная селекция.</p>			<p><i>4 часа.</i> <i>Работа с лекционным материалом.</i> <i>Вспомнить, что такое дисперсия и дисперсионный элемент, как работают призмы и дифракционные решетки.</i> <i>Решение задач.</i></p>	
--	--	--	--	--	---	--

	<p><i>№9. 2 часа.</i> Специальные резонаторы. Кольцевые резонаторы: лучевые матрицы для внеосевых пучков и астигматизм, однонаправ- ленная генерация и опти- ческие вентили. Эффект Фарадея. Неустойчивые резонаторы: используемые варианты схем, их поло- жение с точки зрения диа- граммы устойчивости и числа Френеля, вывод из- лучения из резонатора, геометрическая оптика и расчет коэффициента те- лескопирования.</p>			<p><i>2 часа.</i> Работа с лекционным мате- риалом. Вспомнить, что такое теле- скоп, астигматизм и абerra- ции.</p>	
--	---	--	--	--	--

3.	Самосогласованное описание системы: активная среда + излучение. Режимы генерации	<p><i>№10-11. 4 часа.</i> Скоростные уравнения: усреднение поля по объему резонатора и времени обхода, область применимости. Уравнения для 3-х и 4-х уровневых схем переходов. Непрерывный режим генерации. Зависимость инверсии населенности и числа фотонов в резонаторе от скорости накачки. Пороговая скорость накачки и выходная мощность, оптимальная обратная связь. Примеры: лазер на рубине и алюмоиттриевом гранате. Релаксационные колебания: их частота и скорость затухания.</p>			<p><i>4 часа.</i> <i>Работа с лекционным материалом.</i> <i>Вспомнить, как решаются уравнения в частных производных, можно ли и когда проводить усреднение таких уравнений.</i></p>	
		<p><i>№12-13. 4 часа.</i> Режим свободной генерации и конкуренция мод. Режим модуляции добротности при генерации гигантских импульсов. Оптические затворы: электромеханические, электрооптические, акустооптические, пассивные. Этапы генерации: балансные уравнения для этапов подготовки активной сре-</p>			<p><i>4 часа.</i> <i>Работа с лекционным материалом.</i> <i>Вспомнить, что такое анизотропный кристалл, как распространяется в нем излучение.</i> <i>Решение задач.</i></p>	<p><i>ДЗ, Оп, Об</i></p>

		<p>ды и развития генерации. Решение системы скоростных уравнений в случаях 3-х и 4-х уровневых схем переходов. Пиковая мощность, энергия и длительность переднего и заднего фронтов выходного импульса.</p>				
		<p>№14-15. 4 часа. Синхронизация мод и сверхкороткий световой импульс. Связь предельных параметров импульса с характеристиками активной среды. Качество сверхкороткого импульса, пиковая и средняя мощности. Методы активной синхронизации мод: амплитудная и фазовая модуляции, режим синхронной накачки. Спектральное и временное представления. Необходимые условия для реализации режима синхронизации мод. Пассивные затворы.</p>			<p>4 часа. Работа с лекционным материалом. Вспомнить, что такое преобразование Фурье и как находится сумма геометрической прогрессии.</p>	

4.	<p>Специфика и применения различных типов лазеров</p>	<p><i>№16-18. 6 часов.</i> Классификация лазеров: типы активных сред и методы их накачки. Газовые лазеры: лазеры на нейтральных атомах, ионные, молекулярные, на парах металлов, химические и эксимерные лазеры. Твердотельные лазеры: лазеры на активированных кристаллах, стеклах, кристаллах с центрами окраски. Полупроводниковые лазеры и лазеры на растворах органических красителей. Лазер на титан-сапфире. Волоконные лазеры.</p>			<p><i>6 часов.</i> <i>Работа с лекционным материалом и литературой.</i> <i>Вспомнить, что такое газ, жидкость, стекло и кристалл, какова их специфика.</i> <i>Подготовка рефератов.</i></p>	<p><i>Оп, Об, Р</i></p>
----	---	---	--	--	--	-----------------------------------

9. Место дисциплины в структуре ООП ВПО

1. Дисциплина является Дисциплиной профиля (обязательная).
2. Вариативная часть, профессиональный блок, дисциплина профиля (обязательная).
3. Курс является теоретическим базисом к специальному физическому практикуму «Лазеры и нелинейная оптика» и связан с дисциплинами «Нелинейные волны и нелинейная оптика» и «Резонансные взаимодействия излучения с веществом».
 - 3.1. Дисциплины и практики, которые должны быть освоены для начала освоения данной дисциплины.

“Дифференциальные уравнения”, “Молекулярная физика”, “Электромагнетизм”, “Оптика”, “Введение в квантовую физику”, “Теория вероятностей”, “Электродинамика”, “Общий физический практикум”.
 - 3.2. Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее.

Данная дисциплина предусмотрена в 7-ом семестре, ее освоение необходимо для выполнения задач специального практикума «Лазеры и нелинейная оптика», научно-исследовательской практики, научно-исследовательской работы, выполнения курсовой и дипломной работ.

10. Образовательные технологии

Курс имеет мультимедийную версию конспекта на компакт диске (~ 180 МБ, В.О. Милицин, С.А. Шленов, В.В. Шувалов, Д.Н. Янышев, Введение в физику лазеров. Мультимедийный конспект лекций профессора В.В. Шувалова, МГУ им. М.В. Ломоносова. Москва 2003. Свидетельство Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам № 2004612002 от 01.09.2004). Конспект записан с использованием современных мультимедийных возможностей (аудиоряд и флэш-технологии).

11. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

Текущая аттестация проводится трижды. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки к лекциям, самостоятельное решение задач.

Примеры задач:

1. В равновесной двухуровневой системе коэффициент поглощения излучения с частотой $\nu = 6 \cdot 10^{14}$ Гц, совпадающей с частотой однородно уширенного перехода, при температуре $T = 300$ К равен $\alpha = 2 \text{ см}^{-1}$. Оценить коэффициент поглощения этого же излучения при температуре $T = 1000$ К.
2. Гауссов пучок радиусом w пропускается через "щелевую" диафрагму бесконечной длины с шириной щели $2h$. Определить относительные потери в мощности $\delta P = (1 - P_1/P_0)$ в двух случаях: (a) $h = w$, (b) $h = 2w$. Здесь P_0 и P_1 мощности падающего и прошедшего пучков соответственно.
3. Резонатор непрерывного твердотельного лазера содержит "глухое" (коэффициент отражения $R_1 = 100\%$) и "выходное" ($R_2 = 90\%$) зеркала. Мощность выходного излучения $P = 10$ Вт. Пренебрегая дифракционными потерями, оцените мощность излучения, падающего на глухое зеркало резонатора.
4. Резонатор непрерывного газового лазера содержит "глухое" (коэффициент отражения 100%) и выходное ($R_1 = 98\%$) зеркала. Мощность его выходного излучения $P = 10$ мВт. Пренебрегая дифракционными потерями, оцените полный (с учетом насыщения) коэффициент усиления K в активном элементе за один проход.
5. Резонатор непрерывного твердотельного лазера содержит "глухое" (коэффициент отражения 100%) и выходное ($R_1 = 85\%$) зеркала. Мощность его выходного излучения $P = 10$ Вт. Коэффициент отражения выходного зеркала непрерывного газового лазера R

- = 95%, а мощность выходного излучения $P = 10$ мВт. Пренебрегая дифракционными потерями, оцените, в каком из лазеров полный (с учетом насыщения) коэффициент усиления K в активном элементе за проход больше.
6. Найти лучевую матрицу коллиматора, образованного системой из двух линз с фокусными расстояниями $f_{1,2}$, установленными на расстоянии $d = (f_1 + f_2)$ друг от друга.
 7. Через лучевые матрицы найти условие устойчивости для резонатора, образованного плоским и вогнутым сферическим зеркалом с радиусом кривизны R , размещенными на расстоянии d друг от друга.
 8. Резонатор лазера состоит из двух вогнутых сферических зеркал с радиусом кривизны $R = 400$ см, установленных на расстоянии $d = 100$ см. Найти радиус w пучка излучения (а) и угол Θ его расходимости на выходном зеркале (б) в режиме генерации основной поперечной моды.
 9. Резонатор лазера состоит из двух вогнутых сферических зеркал с радиусом кривизны $R = 400$ см, установленных на расстоянии $d = 100$ см. Оценить диаметр D диафрагмы, которую необходимо ввести в него для реализации режима генерации основной поперечной моды. Определить, как меняется D в зависимости от положения диафрагмы: (а) в центре резонатора; (б) вплотную к выходному зеркалу.
 10. Резонатор лазера состоит из плоского и сферического (радиус кривизны $R = 400$ см) зеркал, установленных на расстоянии $d = 100$ см. У Вас есть три одинаковых активных элемента, отличающихся лишь диаметром: 3, 4 и 5 мм. Определите, какой из этих элементов Вам лучше использовать. Лазерная головка для его установки находится около сферического зеркала резонатора.
 11. Резонатор непрерывного твердотельного лазера образован плоскими зеркалами, установленными на расстоянии $d = 100$ см. Фокусное расстояние f тепловой линзы в активном элементе, размещенном в центре резонатора, определяется мощностью накачки P в соответствии с выражением $f [\text{см}] = 100/P [\text{кВт}]$. Оценить, какова величина оптимального диаметра D активного элемента для реализации режима генерации основной поперечной моды при мощности накачки $P = 4$ кВт.
 12. Гауссов пучок выходного излучения от лазера на алюмо-иттриевом гранате (длина волны $\lambda = 1,0642$ мкм) с плоским выходным зеркалом имеет радиус $w = 1,0$ мм и мощность $P = 1$ Вт. На объекте необходимо получить интенсивность излучения $I = 10^2$ Вт/см². Можно ли достичь этого с помощью линзы с фокусным расстоянием $f = 20$ см.
 13. В качестве выходного зеркала лазера используется плоскопараллельная стеклянная подложка, на внутреннюю грань которой напылено диэлектрическое зеркало с коэффициентом отражения $R = 40\%$ по интенсивности. Показатель преломления стекла $n = 1,5$. Рассчитайте: (а) максимальный коэффициент отражения по интенсивности для такого эталона; (б) его контраст по пропусканию γ_t .
 14. Резонатор непрерывного лазера состоит из двух зеркал: вогнутого сферического - с радиусом кривизны $R = 400$ см и плоского, установленных на расстоянии $d = 100$ см и имеющих диаметр $D_1 = 30$ мм. Диаметр активного элемента, расположенного в центре резонатора, равен $D_2 = 3$ мм. Оцените величину дифракционных потерь γ_d на обходе резонатора.
 15. Резонатор непрерывного лазера на алюмо-иттриевом гранате состоит из двух вогнутых сферических зеркал с радиусом кривизны $R = 400$ см, установленных на расстоянии $d = 100$ см и имеющих диаметр $D_1 = 30$ мм. Диаметр активного элемента, расположенного в центре резонатора, равен $D_2 = 5$ мм. Приведите один пример эквивалентного резонатора и обоснуйте его эквивалентность.

Промежуточная аттестация проводится на 9 неделе по итогам текущих аттестаций, включая оценки за решение задач. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса.

Список контрольных вопросов:

1. Чем отличаются спонтанные и индуцированные переходы?

2. Что такое коэффициенты Эйнштейна, связаны ли между собой их вероятности и всегда ли справедлива такая связь?
3. Что такое балансные уравнения?
4. Что такое "чистые" и "смешанные" состояния, как и в каких приближениях описывается эволюция оператора/матрицы плотности?
5. Чем удобно введение оператора и матрицы плотности?
6. Что такое процессы релаксации, чем они обусловлены и чем отличаются процессы релаксации разных типов?
7. Что такое моды резонатора, какие типы мод Вы знаете?
8. Чем отличаются закрытые и открытые резонаторы, одинаковы ли у них продольные и поперечные моды?
9. Что приводит к взаимодействию и конкуренции мод?
10. Что такое гауссов пучок, как описывается его эволюция при распространении?
11. Что такое лучевая матрица, когда можно пользоваться матричным описанием и в чем его преимущества?
12. Что такое обращение волнового фронта и чем отличаются линейное и нелинейное обращение волнового фронта?
13. Что такое параметры Френеля, каковы их оптимальные значения и как эти значения связаны с дифракционными потерями?
14. Какие резонаторы называются эквивалентными и почему?

Итоговая аттестация экзамен.

Перечень вопросов к экзамену:

1. Свойства лазерного излучения и блок-схема лазера. Необходимость учета нелинейности амплитудно-частотной характеристики. Потери и эффективное время жизни фотона в резонаторе. Порог генерации и устойчивость, насыщение коэффициента усиления. Режимы генерации.
2. Спонтанные и индуцированные переходы и их вероятности. Коэффициенты Эйнштейна, их связь. Термодинамическое равновесие с электромагнитным вакуумом. Безызлучательные переходы. Балансные уравнения.
3. Балансные уравнения для двухуровневой системы переходов. Насыщение коэффициента поглощения. 3-х и 4-х уровневые системы переходов: разность населенностей, условия получения инвертированного состояния.
4. Уравнение Шредингера и волновая функция. "Чистые" и "смешанные" состояния. Оператор и матрица плотности. Уравнения для элементов матрицы плотности. Дипольное и резонансное приближения. Фазовая релаксация и переход к балансным уравнениям.
5. Основные типы физических механизмов релаксации. Однородное и неоднородное уширение линии перехода. Лоренцевский и гауссовский контуры линии. Роль эффектов Штарка и Доплера.
6. Уравнения Максвелла и волновое уравнение. Собственные типы колебаний - моды для излучения в пустом объемном резонаторе. Пространственная структура поля, собственные частоты и поляризационные характеристики.
7. Специфика открытых резонаторов: поперечные и продольные моды в оптическом диапазоне, световые пучки. Дифракционные потери и зависимость их величины от индексов мод. Селекция мод, роль дифракционных потерь. Взаимодействие и конкуренция мод.
8. Гауссов пучок как основная поперечная мода аксиально-симметричного резонатора. Перетяжка пучка и конфокальный параметр. Зависимость радиуса пучка и кривизны волнового фронта от расстояния до плоскости перетяжки. Комплексный параметр пучка. Закон ABCD.

9. Закон ABCD. Лучевая матрица как решение системы линейных уравнений для параметров пучка в параксиальном приближении: свободное пространство, тонкая линза, граница раздела двух диэлектриков. Фокусировка пучка.
10. Обращение волнового фронта в резонаторе с обычными и нелинейными зеркалами. Матричный расчет линейного резонатора и области существования решений в резонаторе с двумя плоскими зеркалами и тонкой линзой. Оптимальное заполнение активного элемента.
11. Обращение волнового фронта в резонаторе с обычными и нелинейными зеркалами. Обобщенный сферический резонатор и диаграмма устойчивости. Параметры Френеля. Их связь с дифракционными потерями и оптимальные значения. Эквивалентные резонаторы.
12. Спектр генерации: продольные и поперечные моды, спектральная полоса усиления активной среды. Интервал частот между соседними продольными модами и их число для лазеров различных типов. Методы сужения спектра генерации. Поляризационная селекция.
13. Специальные резонаторы. Кольцевые резонаторы: лучевые матрицы для внеосевых пучков и астигматизм, однонаправленная генерация и оптические вентили. Неустойчивые резонаторы, вывод излучения из таких резонаторов и их положение на диаграмме устойчивости.
14. Скоростные уравнения и область их применимости. Скоростные уравнения для 3-х и 4-х уровневых схем переходов. Зависимость инверсии населенности и числа фотонов в резонаторе от скорости накачки в непрерывном режиме генерации.
15. Скоростные уравнения для 3-х и 4-х уровневых схем переходов. Пороговая скорость накачки и выходная мощность, оптимальная обратная связь. Релаксационные колебания: их частота и скорость затухания на примере лазеров на рубине и алюмоиттриевом гранате.
16. Режим свободной генерации и конкуренция мод. Режим модуляции добротности. Оптические затворы: электромеханические, электрооптические, акустооптические, пассивные. Балансные уравнения для этапов подготовки активной среды и развития генерации.
17. Режим модуляции добротности. Балансные уравнения на этапах подготовки активной среды и развития генерации. Решение системы скоростных уравнений для 3-х и 4-х уровневых схем переходов. Пиковая мощность, энергия и длительность фронтов выходного импульса.
18. Синхронизация мод. Связь предельных параметров сверхкороткого импульса с характеристиками активной среды. Качество импульса, пиковая и средняя мощности. Методы активной синхронизации мод: амплитудная и фазовая модуляция, режим синхронной накачки.
19. Описание методов активной и пассивной синхронизации мод в спектральном и временном представлениях. Используемые типы затворов и необходимые условия для реализации режима синхронизации мод.
20. Классификация лазеров по типам активных сред и методам их накачки. Основные особенности газовых лазеров на примерах лазеров на нейтральных атомах, ионных, молекулярных, на парах металлов и эксимерных лазеров.
21. Классификация лазеров по типам активных сред и методам их накачки. Твердотельные лазеры: лазеры на активированных кристаллах, стеклах и кристаллах с центрами окраски. Полупроводниковые лазеры и лазеры на растворах красителей. Лазер на титан-сапфире.

12. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

Основная литература

1. Ф. Качмарек. Введение в физику лазеров.- М.: Мир, 1981.
2. О. Звелто. Физика лазеров.- М.: Мир, 1979.

3. А. Мэйтлэнд, М. Данн. Введение в физику лазеров.- М.: Наука, 1978.
4. Л.В.Тарасов. Физика процессов в генераторах когерентного оптического излучения. – М.: Радио и связь, 1981.
5. И.И.Кондиленко, П.А.Коротков, А.И.Хижняк. Физика лазеров. – Киев, «Вища школа», 1984.
6. Сверхкороткие световые импульсы / Под ред. С. Шапиро.- М.: Мир, 1981.
7. Й. Херман, Б. Вильгельми. Лазеры сверхкоротких импульсов.- М.: Мир, 1986.

Дополнительная литература

1. М. Лэкс. Флуктуации и когерентные явления.- М.: Мир, 1974.
2. Справочник по лазерам в 2-х томах.- М.: Сов. радио, 1978.
3. Справочник по лазерной технике.- Киев: Техника, 1978.
4. В. Бруннер. Справочник по лазерной технике. Энергоатомиздат, 1991.

Периодическая литература —

Интернет-ресурсы

1. Википедия (<http://ru.wikipedia.org>)
2. Encyclopedia of Laser Physics and Technology (<http://www.rp-photonics.com/encyclopedia.html>)

Методические указания к лабораторным занятиям —

Методические указания к практическим занятиям —

Программное обеспечение современных информационных компьютерных технологий

Имеется мультимедийная версия конспекта лекций (компакт диск ~ 180 МБ, В.О. Милицин, С.А. Шленов, В.В. Шувалов, Д.Н. Янышев, Введение в физику лазеров. Мультимедийный конспект лекций профессора В.В. Шувалова, МГУ им. М.В. Ломоносова. Москва 2003. Свидетельство Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам № 2004612002 от 01.09.2004).

13. Материально-техническое обеспечение

В соответствии с требованиями п.5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки “Физика”.

Курс может быть прочитан в любой аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.