

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук
(ФТИ им. А.Ф. Иоффе)

УТВЕРЖДАЮ

Директор

С.В. Иванов

2022 г.



Рабочая программа дисциплины

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре
по научной специальности 1.3.3 Теоретическая физика

Принята решением Ученого совета
от 04.03.2022 № 03/22

Санкт-Петербург

2022 г.

М.С. Смирнов

Рабочая программа дисциплины «Теоретическая физика» составлена на основании программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности 1.3.3 Теоретическая физика (далее – программа аспирантуры)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями учебной дисциплины являются:

- создание у аспирантов комплекса знаний о фундаментальных свойствах материи и общего взгляда на современную физику, освоение основных теоретических методов расчета, приобретения навыка применять полученные знания для объяснения экспериментальных данных.

Для достижения задач, поставленных при изучении дисциплины, используется набор методических средств: учебная, учебно-методическая литература, оригинальные статьи и обзоры, информационные ресурсы библиотеки, электронные курсы, научные семинары в лабораториях и секторах.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ

Дисциплина «Теоретическая физика» входит в обязательную часть образовательного компонента программы аспирантуры и направлена на подготовку к сдаче кандидатского экзамена.

Методической основой изучения дисциплины являются курсы квантовой механики, статистической физики и термодинамики, квантовой электродинамики.

Актуальность изучения дисциплины определяется важной ролью теоретической физики в современной науке и технике, необходимостью комплекса знаний и умений, приобретаемых в ходе изучения курса, для практических применений. Тематика курса соответствует приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники Российской Федерации: «Индустря наносистем и материалов», «Информационно-телекоммуникационные системы».

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины «Теоретическая физика» направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с программой аспирантуры:

3.1. Универсальные компетенции:

- способность 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).

3.2. Общепрофессиональные компетенции:

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

3.3. Профессиональные компетенции:

- способность планировать и организовывать работу по теоретическим проектам, направленных на изучение новых физических эффектов (ПК-1);

- способность получать и обрабатывать информацию по новым методам расчетов в области теоретической физики (ПК-2);

- способность анализировать и систематизировать научную информацию по современным достижениям в области общей физики и специальных областей физики по теме исследования (ПК-3);

- способность анализировать физические явления на качественном уровне, умение делать оценки и развить навыки работы с экспериментальными данными (ПК-4).

По окончании изучения дисциплины аспиранты должны будут

знать:

- основные методы теоретической физики в применении к физике твердого тела, низкотемпературной и высокотемпературной плазме, астрофизике и физике высоких энергий;

- основные экспериментальные методы в физике конденсированного состояния, физики плазмы и астрофизики, основы электронной спектроскопии и туннельной микроскопии, методы обработки экспериментальных данных.

- основные явления, наблюдающиеся в твердом теле, плазме, астрофизике и атомной физике .

уметь:

-применять методы теоретической физике для расчета микроскопических механизмов конкретных физических эффектов

- феноменологически описывать основные физические процессы;

владеть опытом:

- самостоятельного изучения и анализа специальной научной и методической литературы, связанной с проблемами физики;

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Приводимая ниже таблица показывает распределение бюджета учебного времени, отводимого на освоение основных разделов курса согласно учебному плану.

4.2. Разделы дисциплины и виды занятий

Наименование разделов и тем	Грубоемкость (в ЗЕТ)	Объем работы (в часах)	Всего учебных занятий (в часах)			
			Лекции	Лаб. / практика	самостоятельная работа	контроль
1	2	3	4	5	6	7
Раздел 1. Теория твердого тела						
Тема 1.1 Основы кристаллографии и теории симметрии		6	4		2	
Тема 1.2. Теория взаимодействия электромагнитного излучения с веществом.		12	6		6	
Тема 1.3. Квантовая теория проводимости		12	6		6	
Тема 1.4. Магнетизм, сегнетоэлектричество и сверхпроводимость		12	6		6	
Всего по разделу	1	42	22		20	
Раздел 2. Физика плазмы, астрофизика и атомная физика						
Тема 2.1. Атомная физика		8	2		6	
Тема 2.2. Физика плазмы		12	4		8	
Тема 2.3. Астрофизика		10	4		6	
Всего по разделу	1	30	10		20	
Всего по дисциплине	2	72	24		48	экзамен

4.3. Содержание разделов и тем

Раздел 1. Теория твердого тела

Тема 1.1. Основы кристаллографии и теории симметрии.

Точечные и пространственные группы симметрии, теория представлений, симметрия законов природы по отношению к обращению времени. Теорема Флоке и функции Блоха для периодического потенциала. Квазичастицы. Фононы, электроны и дырки. Зонная теория твердых тел.

Тема 1.2. Теория взаимодействия электромагнитного излучения с веществом.

Уравнения Максвелла в среде. Пространственная и временная дисперсия. Поглощение и отражение электромагнитного излучения веществом. Межзонные переходы, перехо-

ды с участием фононов. Функция Грина фотона в среде. Поляризация света, поляризационный тензор. Инверсная заселенность, принцип работы полупроводниковых лазеров. Особенности взаимодействия вещества с электромагнитным полем в низкоразмерных системах. Эффект увлечения носителей заряда светом и фотогальванические эффекты вnanoструктурах

Тема 1.3. Квантовая теория проводимости.

Статическая и динамическая проводимость твердых тел. Теория Друде. Релаксация заряда в системах различной размерности, время максвелловской релаксации. Коллективные колебания электронного газа в твердых телах. Классическая магнетопроводимость и эффект Холла. Функция Грина для невзаимодействующих электронов в металлах с примесями. Вывод формулы Друде в рамках диаграммной технике и методом матрицы плотности. Диамагнетизм Ландау и эффект Шубникова- де Гааза. Температура Дингля и затухание осцилляций проводимости с ростом температуры. Квантовый эффект Холла. Слабая локализация и обусловленное ей магнетосопротивление в классически слабых полях. Роль спиновой релаксации и междолинных переходов.

Тема 1.4. Магнетизм, сегнетоэлектричество и сверхпроводимость

Теория Ландау фазовых переходов 2 рода, параметр порядка. Эффективный гамильтониан. Флуктуации параметра порядка. Магнетизм, точка Кюри. Домены. Уравнение Ландау-Лифшица. Уравнение Блоха для магнитного резонанса. Продольное и поперечное время релаксации. Магноны. Антиферромагнетики. Сегнетоэлектричество. Собственные и несобственные сегнетоэлектрики. Мультиферроиды. Сверхпроводимость. Эффект Меснера. Эффект Купера. Теория БКШ. Уравнения Элиашберга-Горькова.

Раздел 2. Физика плазмы, астрофизика и атомная физика

Тема 2.1. Атомная физика

Структура атомных уровней. Модель Томаса-Ферми. Молекулярные термы и эффект Яна-Теллера. ТунNELНОЕ расщепление. Теория рассеяния. Упругие и неупругие столкновения. Газовые лазеры.

Тема 2.2. Физика плазмы.

Кинетическое уравнение Больцмана. Уравнение Фоккера-Планка. Бесстолкновительная плазма. Пространственная дисперсия. Затухание Ландау. Столкновение в плазме. Длина свободного пробега в плазме. Плазма в магнитном поле. Медленные электромагнитные волны в плазме.

Тема 2.3. Астрофизика

Излучение и поглощение электромагнитных волн в среде. Шкалы ЭМ волн. Спектры космического излучения. Звезды главной последовательности. Стадии формирования звезд, гравитационная неустойчивость. Термоядерные реакции в звездах. Происхождение химических элементов. Компактные релятивистские звезды, белые карлики, нейтронные звезды. Гравитация, общая теория относительности. Сферически симметричное распределение вещества, метрика Шварцшильда, черные дыры. Основы космологии. Космологический принцип, метрика Фридмана-Робертсона-Уокера. Закон Хаббла. Модели Фридмана. Горячая Вселенная, первичный нуклеосинтез, реликтовое излучение.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Технология процесса обучения по дисциплине «Теоретическая Физика» включает в себя следующие образовательные мероприятия:

- а) аудиторные занятия (лекционно-семинарская форма обучения);
- б) самостоятельная работа студентов;
- в) контрольные мероприятия в процессе обучения и по его окончании;

В учебном процессе используются как активные, так и интерактивные формы проведения занятий: дискуссия, метод поиска быстрых решений в группе, мозговой штурм.

Аудиторные занятия проводятся в интерактивной форме с использованием мультимедийного обеспечения (ноутбук, проектор) и технологии проблемного обучения.

Презентации позволяют качественно иллюстрировать практические занятия схемами, формулами, чертежами, рисунками. Кроме того, презентации позволяют четко структурировать материал занятия.

Электронная презентация позволяет отобразить процессы в динамике, что позволяет улучшить восприятие материала.

Самостоятельная работа организована в соответствие с технологией проблемного обучения и предполагает следующие формы активности:

- самостоятельная проработка учебно-проблемных задач, выполняемая с привлечением основной и дополнительной литературы;
- поиск научно-технической информации в открытых источниках с целью анализа и выявления ключевых особенностей.

Основные аспекты применяемой технологии проблемного обучения:

- постановка проблемных задач отвечает целям освоения дисциплины «Теоретическая Физика» и формирует необходимые компетенции;
- решаемые проблемные задачи стимулируют познавательную деятельность и

научно-исследовательскую активность аспирантов.

6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Цель контроля - получение информации о результатах обучения и степени их соответствия результатам обучения.

Комплект оценочных средств для текущего контроля

Текущий контроль успеваемости, т.е. проверка усвоения учебного материала, регулярно осуществляется на протяжении семестра. Текущий контроль знаний аспирантов реализуется в виде выступлений на семинарах по индивидуальным домашним заданиям, проведением теоретических зачетов.

Перечень контрольных вопросов для экзамена:

1. Классическая механика

- 1.1. Уравнения движения классических систем. Принцип наименьшего действия. Формализм Лагранжа.
- 1.2. Уравнения движения классических систем в форме Гамильтона. Теорема Лиувилля.
- 1.3. Интегрирование уравнений движения классических частиц. Одномерное движение, движение в центральном поле.
- 1.4. Распад частиц, упругие столкновения и сечение рассеяния в нерелятивистской классической механике; формула Резерфорда.
- 1.5. Малые колебания классических систем. Свободные и вынужденные одномерные колебания, параметрический резонанс.
- 1.6. Классическое движение твердых тел. Угловая скорость, тензор инерции и вращательный момент. Уравнения Эйлера.
- 1.7. Уравнения движения классических систем в форме Гамильтона—Якоби.
- 1.8. Принцип относительности. Метрика четырехмерного пространства-времени. Преобразование Лоренца.
- 1.9. Четырехмерные векторы и тензоры в специальной теории относительности. Четырехмерная скорость.
- 1.10. Принцип наименьшего действия в релятивистской классической механике. Энергия и импульс релятивистской частицы.
- 1.11. Распад частиц и упругие столкновения в релятивистской классической механике.

2. Теория поля

- 2.1. Уравнения движения заряда в электромагнитном поле. Калибровочная (градиентная) инвариантность.
- 2.2. Тензор электромагнитного поля. Преобразование Лоренца для поля. Инварианты поля.
- 2.3. Уравнения электромагнитного поля. Уравнение непрерывности. Тензор энергии-импульса электромагнитного поля.
- 2.4. Постоянное электромагнитное поле. Закон Кулона. Мультипольные моменты. Система зарядов во внешнем поле.
- 2.5. Постоянное магнитное поле. Магнитный момент. Теорема Лармора.
- 2.6. Электромагнитные волны. Монохроматическая плоская волна. Спектральное разложение. Поляризационные характеристики излучения. Разложение электростатического поля.
- 2.7. Поле движущихся зарядов. Запаздывающие потенциалы. Потенциалы Лиенара-Вихерта. Излучение электромагнитных волн.
- 2.8. Излучение быстродвижущегося заряда. Рассеяние свободными зарядами.
- 2.9. Движение частицы в гравитационном поле. Символы Кристоффеля. Действие для частицы в гравитационном поле.
- 2.10. Уравнения гравитационного поля. Тензор энергии-импульса. Уравнения Эйнштейна.
- 2.11. Нерелятивистский предел уравнений Эйнштейна. Закон Ньютона. Центрально-симметричное гравитационное поле.
- 2.12. Наблюдаемые эффекты ОТО в ньютоновом и постニュтоновом приближении. Гравитационные линзы.

3. Электродинамика сплошных сред

- 3.1. Электростатическое поле проводников. Энергия электростатического поля.
- 3.2. Электростатическое поле в диэлектриках. Термодинамика диэлектриков в электрическом поле.
- 3.3. Постоянное магнитное поле в среде. Термодинамические соотношения в магнитном поле.
- 3.4. Диа-, пара-, ферро- и антиферромагнетики.
- 3.5. Уравнения электромагнитных волн в среде в отсутствие дисперсии. Дисперсия диэлектрической проницаемости.
- 3.6. Соотношения Крамерса—Кронига. Плоские монохроматические волны в среде.

- 3.7. Распространение электромагнитных волн в неоднородных средах. Принцип взаимности.
- 3.8. Электромагнитные волны в анизотропных средах. Эффекты Керра и Фарадея.
- 3.9. Пространственная дисперсия электромагнитных волн в среде. Естественная оптическая активность.
- 3.10. Ионизационные потери быстрых частиц в среде. Излучение Черенкова.

4. Механика сплошных сред и физическая кинетика

- 4.1. Уравнения движения идеальной жидкости. Потоки энергии и импульса. Сохранение циркуляции скорости.
- 4.2 Уравнения движения вязкой жидкости. Диссипация энергии в несжимаемой жидкости.
- 4.3. Тurbулентность и неустойчивость ламинарных течений. Теория Ландау—Хопфа.
- 4.4. Звуковые волны. Геометрическая акустика.
- 4.5. Одномерное движение сжимаемого газа. Образование ударных волн.
- 4.6. Солитоны и уравнение КДВ. Бесстолкновительные ударные волны.
- 4.7. Гидродинамика сверхтекучей жидкости. Двухжидкостное описание.
- 4.8. Кинетическая теория газов. Кинетическое уравнение Больцмана. Н-теорема Больцмана.
- 4.9. Теплопроводность и вязкость газов. Симметрии кинетических коэффициентов.
- 4.10 Диффузионное приближение. Уравнение Фоккера—Планка.
- 4.11. Бесстолкновительная плазма. Уравнения Власова. Диэлектрическая проницаемость бесстолкновительной плазмы.
- 4.12. Затухание Ландау. Ленгмюровские и ионно-звуковые волны.

5. Квантовая механика

- 5.1. Уравнение Шредингера и его свойства. Стационарное уравнение Шредингера.
- 5.2. Решение уравнения Шредингера для одномерного гармонического осциллятора.
- 5.3. Решение уравнения Шредингера для частицы в центрально-симметричном поле. Оператор момента импульса. Шаровые функции.
- 5.4. Решение уравнения Шредингера для одноэлектронного атома или иона. Дискретный и непрерывный спектры.
- 5.5. Оператор момента в квантовой механике. Правило сложения моментов. Коэффициенты Клебша-Гордона.

5.6. Одновременная измеримость физических величин в квантовой механике. Соотношения неопределенности.

5.7. Стационарная теория возмущений для невырожденных и вырожденных уровней.

5.8. Теория возмущений, зависящих от времени. Внезапные и адиабатические возмущения.

5.9. Теория возмущений, зависящих от времени по периодическому закону. Золотое правило квантовой механики.

5.10. Одномерная волновая функция в квазиклассическом приближении. Переход через классическую точку остановки частицы.

5.11. Правило квантования Бора-Зоммерфельда и прохождение сквозь барьер в квазиклассическом приближении.

5.12. Спин. Оператор спина. Волновые функции частиц со спином. Частицы со спином $\frac{1}{2}$.

5.13. Самосогласованное центрально-симметричное поле и метод Томаса-Ферми для описания многоэлектронных атомов.

5.14. Спин-орбитальное взаимодействие и тонкая структура уровней энергии атомов.

5.15. Уравнение Паули для описания движения заряженной частицы со спином в потенциальном и магнитном полях. Спиновый магнитный момент.

5.16. Фазовая теория упругого рассеяния частиц. Сечение рассеяния и его свойства.

5.17. Сечение рассеяния частиц в борновском приближении. Формула Резерфорда.

5.18. Принцип неразличимости тождественных частиц в квантовой механике. Симметрия волновой функции при перестановках частиц.

5.19. Вторичное квантование системы тождественных бозонов. Квантованное электромагнитное поле.

5.20. Вторичное квантование систем тождественных фермионов. Квантованное электронное поле.

6. Статистическая физика

6.1. Основные принципы статистики. Функция распределения и матрица плотности. Статистическая независимость. Теорема Лиувилля.

6.2. Роль энергии в статистической механике. Закон возрастания энтропии. Микроканоническое распределение. Распределение Гиббса. Распределение Гиббса с переменным числом частиц.

6.3. Термодинамические величины и термодинамические потенциалы. Термодинамические неравенства.

6.4. Системы с переменным числом частиц. Свободная энергия в распределении Гиббса. Вывод термодинамических соотношений.

6.5. Термодинамика идеальных газов. Распределение Больцмана. Одноатомный идеальный газ.

6.6. Распределение Ферми. Вырожденный идеальный ферми-газ. Свойства вещества при больших плотностях.

6.7. Распределение Бозе. Вырожденный бозе-газ и конденсация Бозе—Эйнштейна.

6.8. Равновесное тепловое излучение. Формула Планка. Светимость абсолютно черного тела.

6.9. Равновесие фаз. Формула Клапейрона—Клаузиса. Критическая точка.

6.10. Системы с различными частицами. Правило фаз. Слабые растворы и смесь идеальных газов.

6.11. Кристаллы. Зонная теория твердых тел. Блоховские волновые функции.

6.12. Металлы. Поверхность Ферми. Плазмоны.

6.14. Полупроводники. Метод эффективной массы и водородоподобные примеси.

6.15. Тензор деформации и внутренних напряжений Закон Гука для кристаллов.

6.16. Колебания решетки. Акустические и оптические фононы.

6.17. Кинетическое уравнение для фононов в твердом теле. Теплопроводность.

6.18. Сверхпроводимость. Куперовское спаривание и теория Бардина—Купера—Шриффера.

6.19. Сверхпроводники первого и второго рода. Эффект Джозефсона.

6.20. Флуктуации основных термодинамических величин. Формула Пуассона.

6.21. Симметрии кинетических коэффициентов. Флуктуационно-диссипативная теорема.

6.22. Фазовые переходы второго рода. Теория Ландау. Критические индексы. Масштабная инвариантность.

7. Теория конденсированного состояния

(Раздел для специалистов по теории твердого тела)

7.1. Слабонеидеальный бозе-газ. Сверхтекучесть.

7.2. Симметрия кристаллов. Свойства обратной решетки. Зона Бриллюэна. Теорема Блоха.

- 7.3. Удельная теплоемкость решетки. Модели Дебая и Эйнштейна. Ангармонизм и тепловое расширение.
- 7.4. Электрон-фононное взаимодействие и проблема полярона.
- 7.5. Магнетизм. Обменное взаимодействие. Гамильтониан Гейзенберга.
- 7.6. Спиновый парамагнетизм Паули и орбитальный диамагнетизм Ландау.
- 7.7. Магнитные примеси в металле. Обменное взаимодействие через электроны проводимости (РКИ).
- 7.8. Ферромагнетизм и антиферромагнетизм. Метод среднего поля для ферромагнетика. Доменная структура. Гистерезис ферромагнетиков.
- 7.9 Теория сверхпроводимости Гинзбурга—Ландау. Ток, калибровочная инвариантность, квантование потока.
- 7.10. Эффект Шубникова-де Газа. Функция Грина для электронов при рассеянии на примесях.
- 7.11. Теория оптической ориентации спинов в полупроводниках. Роль релаксации спина.
- 7.12. Механизмы спиновой релаксации в твердых телах.
- 7.13. Явление слабой локализации в полупроводниковых наноструктурах.
- 7.14. Кулоновская щель в плотности состояний слаболегированного полупроводника.
- 7.15. Метод оптимальной флуктуации в теории неупорядоченных полупроводников.
- 7.16. Особенности электронных свойств систем пониженной размерности. Энергетические спектры и плотность квантовых состояний.
- 7.17. Квантовый эффект Холла в двумерном электронном газе.

8. Теоретическая астрофизика

(Раздел для специалистов по теоретической астрофизике)

- 8.1. Скорости ядерных реакций в звездном веществе. Кулоновский барьер и гамовский пик. Основные циклы ядерных реакций в звездах.
- 8.2. Механизмы переноса энергии в звездах. Уравнение переноса. Эддингтоновский предел светимости.
- 8.3. Уравнения, описывающие внутреннее строение звезд. Строение звезд разных спектральных классов.
- 8.4. Уравнение состояния вырожденного электронного газа с произвольной степенью релятивизма. Теория холодных белых карликов.

8.5. Основы теории электрослабых взаимодействий. Скорость бета-распада нейтрона.

8.6. Основные реакции излучения нейтрино на Солнце. Нейтринные детекторы как инструмент исследования физики Солнца и физики нейтрино.

8.7. Теория собственных колебаний Солнца. Гелиосеймология как инструмент для изучения внутреннего строения Солнца.

8.8. Перенос излучения в атмосферах звезд. Спектр излучения; спектральные линии и континуум. Профили спектральных линий.

8.9. Ударные волны в межзвездной среде. Остатки сверхновых и их эволюция.

8.10. Основные теоретические модели сферически симметричной и дисковой акреции.

8.11. Метрика пространства-времени вблизи сферически-симметричных тяготеющих масс. Метрика Шварцшильда. Черные дыры.

8.12. Уравнения Толмена—Оппенгеймера—Волкова для описания равновесия сферической звезды в общей теории относительности.

8.13. Фазовая плотность и уравнение Больцмана для звездных систем. Интегралы движения. Теорема вириала и ее применение. Регулярные и иррегулярные силы. Время релаксации. Интеграл столкновений.

8.14. Тесные двойные системы из двух нейтронных звезд как лаборатории общей теории относительности. Пульсар Халса-Тейлора и двойной радиопульсар.

8.15. Модель горячей расширяющейся Вселенной. Основные этапы расширения. Первичный нуклеосинтез и реликтовое излучение.

8.16. Флуктуации температуры реликтового излучения. Теория и наблюдения. Барационная материя, темная материя и темная энергия во Вселенной.

8.17. Гравитационная неустойчивость Джинса в нестационарной Вселенной

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1. Основная литература

1. Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшиц Курс Теоретической физики, том 1-10, ФИЗМАТЛИТ, 2005.
2. Ч. Киттель Квантовая теория твердых тел., МИР, 1980, стр. 355.
3. Д. Пайнс . Элементарные возбуждения в твердых телах, Мир, 1965, стр.379.
4. А.В. Засов, К.А. Постнов. Общая Астрофизика, Век2, 2006, 496 с.

7.2. Дополнительная литература

1. Spin Physics in Semiconductors, Editors: M.I. Dyakonov, 2008, Springer, pp. 431.
2. E.L. Ivchenko, G.E. Pikus. Superlattices and Other Heterostructures, Symmetry and Optical Phenomena, 1997, Springer, pp.390.
3. Д.С. Горбунов, В.А. Рубаков. Введение в теорию ранней Вселенной. ЛКИ, 2008, 552 с.

7.3. Интернет-ресурсы

1. ЖТФ (<http://journals.ioffe.ru/jtf/>);
2. Письма в ЖТФ (<http://journals.ioffe.ru/pjtf/>);
3. ЖЭТФ (<http://www.jetp.ac.ru/cgi-bin/r/index/>);
4. Письма в ЖЭТФ (<http://www.jetpletters.ac.ru/ps/>);
5. Физика и техника полупроводников (доступ с 1988 года по текущий год: http://journals.ioffe.ru/ftp/_).
6. Известия РАН. Сер. физическая (<http://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7832>);
7. Теоретическая и математическая физика (<http://www.mathnet.ru/tmf>);
8. Успехи физических наук (УФН) (<http://www.ufn.ru/>);
9. Вестник Московского Университета. Серия 3. Физика. Астрономия (<http://vmu.phys.msu.ru/ru/>);
10. Физика горения и взрыва (<http://sibran.ru/journals/FGV/>;
<http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1014985>);
11. Журнал нано- и электронной физики (<http://jnep.sumdu.edu.ua/ru/>);
12. Электронный физико-технический журнал (<http://eftj.secna.ru/>);
13. Физика низких температур (<http://fntr.ilt.kharkov.ua/>);

Отечественные журналы в переводе:

1. Bulletin of the Lebedev Physics Institute (<http://link.springer.com/journal/11953>);
2. Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics (<http://link.springer.com/journal/11954>);
3. Combustion, Explosion and Shock Waves (<http://link.springer.com/journal/105>);
4. Journal of Experimental and Theoretical Physics (<http://link.springer.com/journal/volumesAndIssues/11447>);
5. JETP Letters (<http://link.springer.com/journal/11448>);
6. Moscow University Physics Bulletin (<http://www.springer.com/physics/theoretical%2C+mathematical+%26+computational+physics/journal/11972>);

7. Physics-Uspekhi (<http://iopscience.iop.org/1063-7869>;
8. Russian Physics Journal - (<http://link.springer.com/journal/volumesAndIssues/11182>;
9. Theoretical and Mathematical Physics (<http://link.springer.com/journal/11232>;
10. Technical Physics (<http://link.springer.com/journal/11454>;
11. Technical Physics Letters (<http://link.springer.com/journal/11455>.

Иностранные журналы:

1. Advances in Physics (<http://www.tandfonline.com/toc/tadp20/current>;
<http://arch.neicon.ru/xmlui/handle/123456789/1563997/browse?value=Advances+in+Physics&type=source> ;
2. Advances in Physics Theories and Applications
3. Annales Henri Poincaré : A Journal of Theoretical and Mathematical Physics (<http://link.springer.com/journal/23>;
4. Annals of Physics (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/00034916>;
5. Communications in Mathematical Physics (<http://link.springer.com/journal/220>;
6. Communications in Theoretical Physics (<http://iopscience.iop.org/0253-6102/>;
7. Electronic Journal of Theoretical Physics (<http://www.ejtp.com/>;
8. EPL (Europhysics Letters) (<http://iopscience.iop.org/0295-5075/>;
9. Foundations of Physics (<http://link.springer.com/journal/10701>;
10. Fortschritte der Physik
(<http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1002/%28ISSN%291521-3978>;
11. Journal of Mathematical Physics (<http://scitation.aip.org/content/aip/journal/jmp>;
12. Journal of Nonlinear Science (<http://link.springer.com/journal/332>;
13. Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical (<http://iopscience.iop.org/1751-8121/>;
14. Journal of Statistical Physics (<http://link.springer.com/journal/10955>;
15. Journal of Theoretical and Applied Physics (<http://link.springer.com/journal/40094>;
16. Nonlinear Dynamics: (<http://link.springer.com/journal/11071>;
17. Physical Review Letters (<http://journals.aps.org/prl/>;
18. Physics Letters A (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/03759601>);
19. Progress of Theoretical and Experimental Physics (<http://ptp.oxfordjournals.org/>);
20. Progress of Theoretical & Experimental Ph (<http://ptep.oxfordjournals.org/>:
21. Reports on Progress in Physics (<http://iopscience.iop.org/0034-4885/>;
22. Reviews of Modern Physics (<http://journals.aps.org/rmp/>);
23. The European Physical Journal Plus (<http://link.springer.com/journal/13360>;

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Лекционная аудитория
2. Мультимедийный проектор
3. Персональный компьютер
4. Компьютерный класс

Программу разработал:

г.н.с., заведующий сектором теории оптических и
электрических явлений в полупроводниках,
д-р физ.-мат. наук, Аверкиев Н.С.