

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук

ПРИНЯТО

Ученым советом ФИАН

Протокол № 3/17 от 3 . 04 2017 г.

Ученый секретарь

Колобов А.В.

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФИАН

Колачевский Н.Н.

« 3 » 04 2017 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**«Теоретическая физика»**

*(наименование дисциплины)*

Направление подготовки:

03.06.01 - Физика и астрономия

*(указывается код и наименование направления подготовки)*

Направленность подготовки:

01.03.02 Астрофизика и звездная астрономия

01.04.02 Теоретическая физика

01.04.07 Физика конденсированного состояния

01.04.08 Физика плазмы

01.04.16 Физика атомного ядра и элементарных частиц

01.04.20 Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника

*(указывается наименование направленности)*

Квалификация: **Исследователь. Преподаватель-исследователь.**

Форма обучения: **очная**

Москва, 2017 г.

## 1. Цели и задачи дисциплины.

Опираясь на полученные ранее знания по специальным курсам в магистратуре, программа дисциплины предполагает углубленное изучение, аспирантами вопросы квантовой механики, нелинейной динамики и одного из наиболее востребованного метода обработки наблюдений.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП.

Дисциплина относится к дисциплинам по выбору программы аспирантуры. Дисциплина изучается на 2 курсе аспирантуры. Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы.

Требования к «входным» знаниям, умениям и готовности обучающегося, необходимым при освоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин: программы магистратуры по физике.

Дисциплины, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: «программы магистратуры по физике».

Актуальность курса связана с освоением наиболее востребованных методов обработки наблюдений.

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины:

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

<b>Формируемые компетенции (код и название компетенции, уровень освоения – при наличии в карте компетенции)</b>	<b>Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций</b>
<b>УК-1</b> (способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях)	<b>Знать:</b> современные научные достижения в предметной области дисциплины; основные закономерности; основные экспериментальные и теоретические методы изучения дисциплины,  <b>Уметь:</b> способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений в области дисциплины.
<b>ПК-1</b> Способность проводить исследование природы физических процессов, происходящих на космических объектах и в космических средах; происхождения, движения и эволюции космических объектов и их систем, включая эволюцию Вселенной как целого; а также к созданию и использованию новых	<b>Знать:</b> методики анализа современных физико-технических проблем, способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач астрофизики и звёздной астрономии  <b>Уметь:</b> критически анализировать современные физико-технические проблемы, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и

<p>приборов, методов наблюдений и их интерпретаций, связанных с перечисленными выше направлениями исследований.</p>	<p>теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты, исходя из тенденций развития астрофизики и звёздной астрономии. <b>Владеть:</b> приемами и технологиями целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению научных задач астрофизики и звёздной астрономии.</p>
<p><b>ПК-3</b> Способность заниматься математической формулировкой закономерностей физических явлений, наблюдаемых экспериментально. Проводить аналитические вычисления или численные расчеты и сравнивать с экспериментальными данными с целью наиболее полного описания фундаментальных физических законов</p>	<p><b>Знать:</b> методики анализа современных физико-технических проблем, способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач теоретической физики. <b>Уметь:</b> критически анализировать современные физико-технические проблемы, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты, исходя из тенденций развития теоретической физики. <b>Владеть:</b> приемами и технологиями целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению научных задач теоретической физики.</p>
<p><b>ПК-5</b> Способность проводить теоретическое и экспериментальное исследование природы кристаллических и аморфных, неорганических и органических веществ в твердом и жидком состояниях и изменение их физических свойств при различных внешних воздействиях</p>	<p><b>Знать:</b> методики анализа современных физико-технических проблем, способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач физики конденсированного состояния. <b>Уметь:</b> критически анализировать современные физико-технические проблемы, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты, исходя из тенденций развития физики конденсированного состояния. <b>Владеть:</b> приемами и технологиями целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению научных задач физики конденсированного состояния.</p>
<p><b>ПК-6</b> Способность проводить исследование процессов и явлений, протекающих с участием заряженных частиц в ионизированных и проводящих средах, в природе и в лабораторных или промышленных установках</p>	<p><b>Знать:</b> методики анализа современных физико-технических проблем, способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач физики плазмы. <b>Уметь:</b> критически анализировать современные физико-технические проблемы, ставить задачи и разрабатывать программу</p>

	<p>исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты, исходя из тенденций развития физики плазмы.</p> <p><b>Владеть:</b> приемами и технологиями целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению научных задач физики плазмы.</p>
<p><b>ПК-7</b> Способность проводить экспериментальные и теоретические исследования, посвященные изучению структуры и свойств атомных ядер, ядерным реакциям, взаимодействию ядер с пучками элементарных частиц при низких, промежуточных и высоких энергиях, а также выяснению роли ядерных взаимодействий в астрофизических явлениях.</p>	<p><b>Знать:</b> методики анализа современных физико-технических проблем, способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач физики атомного ядра и элементарных частиц.</p> <p><b>Уметь:</b> критически анализировать современные физико-технические проблемы, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты, исходя из тенденций развития физики атомного ядра и элементарных частиц.</p> <p><b>Владеть:</b> приемами и технологиями целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению научных задач физики атомного ядра и элементарных частиц.</p>

## Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы.

### Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ

Вид учебной работы	Трудоёмкость			
	зач. ед.	час.	в т.ч. по семестрам	
			№ 1	№ 2
<b>Общая трудоёмкость</b> дисциплины по учебному плану	<b>4</b>	<b>144</b>	<b>72</b>	<b>72</b>
<b>Аудиторная работа:</b>		<b>72</b>	<b>36</b>	<b>36</b>
<i>лекции (Л)</i>		40	20	20
<i>Практические занятия</i>		32	16	16
<b>Самостоятельная работа:</b>		<b>58</b>	<b>29</b>	<b>29</b>
<b>Вид контроля: Зачет</b>		14	7	7

## 4.2 Содержание дисциплины

### Тематический план учебной дисциплины

	Семестры 1 и 2	
1	Электродинамика вращающегося намагниченного шара. Квазистационарный формализм. Магнитодипольные потери и токи, их вызывающие.	
2	Аномальный момент сил, действующий на вращающийся намагниченный шар. Момент импульса и стресс электромагнитного поля. Мультипольное разложение. Тороидный (анамольный) момент.	
3	Гидродинамика. Трансзвуковое течение. Аналитичность течения вблизи особых точек. Бифуркация характеристик.	
4	Вихревые волны в гидродинамике. Волны в идеальной магнитной гидродинамике.	
5	Фазовые и групповые поляры для МГД волн. Магниторотационная неустойчивость. Шланговая и зеркальная неустойчивость.	
6	Осесимметричные стационарные течения. Метод уравнения Грэда-Шафранова. Электродинамика радиопульсаров.	
7	3+1 разложение в ОТО. Метрика Керра. "Термодинамика" черных дыр.	
8	Осесимметричная гидродинамика в метрике Керра. Особенности решения вблизи горизонта. Электродинамика магнитосферы черной дыры.	
9	Электродинамика магнитосферы черной дыры. Теорема об отсутствии волос. Процесс Блендфорда-Знайека.	
10	Сферические функции. Преобразование углового момента для $l = 1, 2$ при повороте осей. Спин как проявление неодносвязности пространства поворотов в трехмерном пространстве.	
11	Аргумент Эйнштейна-Подольского-Розена. Кошка Шредингера. Неравенства Белла. Квантовая телепортация.	
12	Самосопряженность. Определение сопряженного оператора. Симметричность и самосопряженность неограниченных операторов.	

	Исследование самосопряженности по определению. Преобразование Кэли. Индексы дефекта. Построение самосопряженных расширений симметричного оператора с помощью преобразования Кэли.	
13	Спектральная теорема в терминах умножения. Определение спектра оператора. Формулировка теоремы для ограниченных операторов. Реализация оператора с дискретным спектром как умножение на функцию в подходящем гильбертовом пространстве. Теорема о кратностях. Формулировка теоремы для неограниченных операторов. Область определения самосопряженного оператора в терминах спектральной теоремы. Распространение теоремы о кратностях на неограниченный случай. Нормировка функций непрерывного спектра. Реализация спектральной теоремы на примере оператора импульса на оси. Техническое приложение: тензорные произведения гильбертовых пространств.	
14	Применение спектральной теоремы. Соотношение неопределенностей для операторов координаты и импульса на всем гильбертовом пространстве. Пример реализации оператора в виде умножения для задачи с дельта-ямой. Представления. Реализация самосопряженного оператора как умножение на аргумент в пространстве с подходящей мерой. Полный набор наблюдаемых. Примеры. Плотность энергетических состояний. Определение функции от оператора. Исследование спектра оператора, являющегося функцией известного оператора. Трансляции и повороты. Область определения функций от операторов. Теорема Стоуна. Оператор эволюции и уравнение Шредингера.	
15	Спектральная теорема в терминах проекторнозначных мер. Определение проекторнозначных мер. Примеры в случае дискретного и непрерывного спектров. Измерения и проекторы. Определение коммутации для неограниченных операторов. Канонические коммутационные соотношения. Соотношения Вейля. Примеры.	
16	Основные понятия. Открытые системы. Неравновесность. Нелинейный осциллятор, возбудимая среда, автоволны, диссипативные структуры. Элементы качественной теории динамических систем. Диссипативные системы. Фазовый портрет, траектория, основные типы бифуркаций на плоскости. Устойчивость, характеристические показатели Ляпунова. Понятие аттрактора.	
17	Бифуркации в многомерных системах. Странные аттракторы. Отображение Пуанкаре. Теория одномерных гладких отображений. Хаос в динамических системах и сценарии (пути) его возникновения. Фрактальные структуры и их размерность.	
18	Примеры пространственно-временных структур в нелинейных распределенных системах. Автоволновые режимы в средах с диффузией. Уравнение Фишера-Колмогорова-Петровского-Пескунова. Волны перемещения. Бегущие импульсы. Спиральные волны. Ведущие центры. Стационарные неоднородные структуры, бифуркация Тьюринга.	
19	Пространственно-временные структуры в физических и химических системах и соответствующие модели. Модель Пригожина-Лефевра-Николиса («брюсселятор»). Реакция Белоусова-Жаботинского, модель Филда-Нойса («орегонатор»). Гидродинамические неустойчивости. Вихри Тейлора в круговом течении Куэтта. Ячейки Бенара. Представление о типах твердотельных автоволновых сред. Тепловые волны и неоднородные стационарные состояния в системе Fe+H <sub>2</sub> . Механизм эффекта барретирования. Самоорганизация в биологических системах.	
20	Фурье-анализ: достоинства и недостатки. Некоторые сведения из теории	

	дискретных сигналов: частота Найквиста, теорема отсчетов Котельникова-Шеннона, колебания Гиббса. Быстрое преобразование Фурье. Оконное преобразование Фурье и принцип неопределенности. Краткая история возникновения теории вейвлетов. Кратно-масштабный анализ (КМА). Удаление шумов и сжатие сигналов с помощью вейвлетов. Оценка дисперсии белого шума по коэффициентам вейвлет-разложения сигнала. Пороговая обработка. Жесткий и мягкий выбор порога.	
21	Ортонормированный базис вейвлетов с компактным носителем (вейвлеты Добеши). Вычисление коэффициентов Добеши $h_k$ вейвлетов с компактным носителем. Упрощенный алгоритм вычисления $h_k$ для вейвлетов с малым количеством нулевых моментов. Метод спектральной факторизации.	
22	Квадратурные формулы для вейвлет-разложений гладких функций. Обобщение вейвлет-преобразования на многомерный случай: преобразование изображений. Две возможные схемы построения базиса. Тензорное произведение двух КМА. Вейвлеты и операторы. Вычисление матричных элементов оператора дифференцирования в ортонормированном базисе вейвлетов с компактным носителем.	
23	Расширения стандартной схемы: симметрия, улучшение временного и частотного разрешения. Биортогональные вейвлеты. Симметричные биортогональные базисы. Лифтинг-схема. Сложность вычисления нормы. Неинвариантность ортонормированного вейвлет-преобразования относительно сдвига. Сдвигово-инвариантная схема Бейлкина (алгоритм $\hat{a}$ trous). Вейвлет-пакеты. Энтропийный критерий выбора оптимального базиса.	

### 4.3. Практические занятия (ПР)

	Наименование
1	Электродинамика вращающегося намагниченного шара. Квазистационарный формализм. Магнитодипольные потери и токи, их вызывающие.
2	Аномальный момент сил, действующий на вращающийся намагниченный шар. Момент импульса и стресс электромагнитного поля. Мультипольное разложение. Тороидный (анамольный) момент.
3	Гидродинамика. Трансзвуковое течение. Аналитичность течения вблизи особых точек. Бифуркация характеристик.
4	Вихревые волны в гидродинамике. Волны в идеальной магнитной гидродинамике.
5	Фазовые и групповые поляры для МГД волн. Магниторотационная неустойчивость. Шланговая и зеркальная неустойчивость.
6	Осесимметричные стационарные течения. Метод уравнения Грэда-Шафранова. Электродинамика радиопульсаров.
7	3+1 разложение в ОТО. Метрика Керра. "Термодинамика" черных дыр.
8	Осесимметричная гидродинамика в метрике Керра. Особенности решения вблизи горизонта. Электродинамика магнитосферы черной дыры.
9	Электродинамика магнитосферы черной дыры. Теорема об отсутствии волос. Процесс Блендфорда-Знайека.
10	Сферические функции. Преобразование углового момента для $l = 1, 2$ при повороте осей. Спин как проявление неоднозначности пространства поворотов в трехмерном пространстве.
11	Аргумент Эйнштейна-Подольского-Розена. Кошка Шредингера. Неравенства

	Белла. Квантовая телепортация.
12	Самосопряженность. Определение сопряженного оператора. Симметричность и самосопряженность неограниченных операторов. Исследование самосопряженности по определению. Преобразование Кэли. Индексы дефекта. Построение самосопряженных расширений симметричного оператора с помощью преобразования Кэли.
13	Спектральная теорема в терминах умножения. Определение спектра оператора. Формулировка теоремы для ограниченных операторов. Реализация оператора с дискретным спектром как умножение на функцию в подходящем гильбертовом пространстве. Теорема о кратностях. Формулировка теоремы для неограниченных операторов. Область определения самосопряженного оператора в терминах спектральной теоремы. Распространение теоремы о кратностях на неограниченный случай. Нормировка функций непрерывного спектра. Реализация спектральной теоремы на примере оператора импульса на оси. Техническое приложение: тензорные произведения гильбертовых пространств.
14	Применение спектральной теоремы. Соотношение неопределенностей для операторов координаты и импульса на всем гильбертовом пространстве. Пример реализации оператора в виде умножения для задачи с дельта-ямой. Представления. Реализация самосопряженного оператора как умножение на аргумент в пространстве с подходящей мерой. Полный набор наблюдаемых. Примеры. Плотность энергетических состояний. Определение функции от оператора. Исследование спектра оператора, являющегося функцией известного оператора. Трансляции и повороты. Область определения функций от операторов. Теорема Стоуна. Оператор эволюции и уравнение Шредингера.
15	Спектральная теорема в терминах проекторнозначных мер. Определение проекторнозначных мер. Примеры в случае дискретного и непрерывного спектров. Измерения и проекторы. Определение коммутации для неограниченных операторов. Канонические коммутационные соотношения. Соотношения Вейля. Примеры.
16	Основные понятия. Открытые системы. Неравновесность. Нелинейный осциллятор, возбудимая среда, автоволны, диссипативные структуры. Элементы качественной теории динамических систем. Диссипативные системы. Фазовый портрет, траектория, основные типы бифуркаций на плоскости. Устойчивость, характеристические показатели Ляпунова. Понятие аттрактора.
17	Бифуркации в многомерных системах. Странные аттракторы. Отображение Пуанкаре. Теория одномерных гладких отображений. Хаос в динамических системах и сценарии (пути) его возникновения. Фрактальные структуры и их размерность.
18	Примеры пространственно-временных структур в нелинейных распределенных системах. Автоволновые режимы в средах с диффузией. Уравнение Фишера-Колмогорова-Петровского-Пескунова. Волны перемещения. Бегущие импульсы. Спиральные волны. Ведущие центры. Стационарные неоднородные структуры, бифуркация Тьюринга.
19	Пространственно-временные структуры в физических и химических системах и соответствующие модели. Модель Пригожина-Лефевра-Николиса («брюсселятор»). Реакция Белоусова-Жаботинского, модель Филда-Нойса («орегонатор»). Гидродинамические неустойчивости. Вихри Тейлора в круговом течении Куэтта. Ячейки Бенара. Представление о типах твердотельных автоволновых сред. Тепловые волны и неоднородные стационарные состояния в системе Fe+H <sub>2</sub> . Механизм эффекта барретирования. Самоорганизация в биологических системах.
20	Фурье-анализ: достоинства и недостатки. Некоторые сведения из теории

	дискретных сигналов: частота Найквиста, теорема отсчетов Котельникова-Шеннона, колебания Гиббса. Быстрое преобразование Фурье. Оконное преобразование Фурье и принцип неопределенности. Краткая история возникновения теории вейвлетов. Кратно-масштабный анализ (КМА). Удаление шумов и сжатие сигналов с помощью вейвлетов. Оценка дисперсии белого шума по коэффициентам вейвлет-разложения сигнала. Пороговая обработка. Жесткий и мягкий выбор порога.
21	Ортонормированный базис вейвлетов с компактным носителем (вейвлеты Добеши). Вычисление коэффициентов Добеши $h_k$ вейвлетов с компактным носителем. Упрощенный алгоритм вычисления $h_k$ для вейвлетов с малым количеством нулевых моментов. Метод спектральной факторизации.
22	Квадратурные формулы для вейвлет-разложений гладких функций. Обобщение вейвлет-преобразования на многомерный случай: преобразование изображений. Две возможные схемы построения базиса. Тензорное произведение двух КМА. Вейвлеты и операторы. Вычисление матричных элементов оператора дифференцирования в ортонормированном базисе вейвлетов с компактным носителем.
23	Расширения стандартной схемы: симметрия, улучшение временного и частотного разрешения. Биортогональные вейвлеты. Симметричные биортогональные базисы. Лифтинг-схема. Сложность вычисления нормы. Неинвариантность ортонормированного вейвлет-преобразования относительно сдвига. Сдвиго-инвариантная схема Бейлкина (алгоритм $\lambda$ trous). Вейвлет-пакеты. Энтропийный критерий выбора оптимального базиса.

## 5. Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Виды самостоятельной работы обучающегося, порядок и сроки ее выполнения:

- 1) подготовка к лекциям с использованием материалов приведенных ниже (п 8.1 и 8.2) источников;
- 2) перечень вопросов для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации – в соответствии с тематикой дисциплины.

## 6. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

**Перечень компетенций**, на освоение которых направлено изучение дисциплины «Оптика», с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы, представлен в п.3 настоящей рабочей программы. Карты компетенций приведены в ООП.

### 6.2.1. Показатели и критерии оценивания компетенций, используемые шкалы оценивания

Элементы компетенций (знания,	Показатели оценивания	Критерии оценивания	Средства оценивания	Шкалы оценивания
-------------------------------	-----------------------	---------------------	---------------------	------------------

умения, владения)				
<b>Знать (УК-1)</b>	<b>Знание:</b> современные научные достижения в предметной области дисциплины; основные закономерности; основные экспериментальные и теоретические методы изучения дисциплины,	Правильность и полнота ответов, глубина понимания вопроса	<i>Текущий контроль:</i> Устное собеседование; выполнение практического задания, выполнение домашнего задания <i>Промежуточная аттестация:</i> зачет	Шкала 1
<b>Уметь (УК-1)</b>	<b>Умение</b> анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов	Правильность выполнения учебных заданий, аргументированность выводов	<i>Текущий контроль:</i> Устное собеседование; выполнение практического задания, выполнение домашнего задания <i>Промежуточная аттестация:</i> зачет	Шкала 2
<b>Знать (ПК-1) (ПК-3) (ПК-5) (ПК-6) (ПК-7)</b>	<b>Знание</b> методики анализа современных физико-технических проблем, способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач дисциплины	Правильность и полнота ответов, глубина понимания вопроса	<i>Текущий контроль:</i> Устное собеседование; выполнение практического задания, выполнение домашнего задания <i>Промежуточная аттестация:</i> зачет	Шкала 1
<b>Уметь (ПК-1) (ПК-3) (ПК-5) (ПК-6) (ПК-7)</b>	<b>Умение</b> критически анализировать современные физико-технические проблемы, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты, исходя из тенденций развития задач дисциплины	Правильность выполнения учебных заданий, аргументированность выводов	<i>Текущий контроль:</i> Устное собеседование; выполнение практического задания, выполнение домашнего задания <i>Промежуточная аттестация:</i> зачет	Шкала 2

### 6.2.2. Описание шкал оценивания степени сформированности элементов компетенций

**Шкала 1. Оценка сформированности отдельных элементов компетенций**

Обозначения		Формулировка требований к степени сформированности компетенции		
Цифр.	Оценка	Знать	Уметь	Владеть
1	Неудовлетворительно	Отсутствие знаний	Отсутствие умений	Отсутствие навыков
2	Неудовлетворительно	Фрагментарные знания	Частично освоенное умение	Фрагментарное применение
3	Удовлетворительно	Общие, но не структурированные знания	В целом успешное, но не систематически осуществляемое умение	В целом успешное, но не систематическое применение
4	Хорошо	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания	В целом успешное, но содержащие отдельные пробелы умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков
5	Отлично	Сформированные систематические знания	Сформированное умение	Успешное и систематическое применение навыков

**Шкала 2. Комплексная оценка сформированности знаний, умений и владений**

Обозначения		Формулировка требований к степени сформированности компетенции
Цифр.	Оценка	
1	Неудовлетворительно	Не имеет необходимых представлений о проверяемом материале
2	Удовлетворительно или неудовлетворительно (по усмотрению преподавателя)	Знать на уровне <b>ориентирования</b> , представлений. Субъект учения знает основные признаки или термины изучаемого элемента содержания, их отнесенность к определенной науке, отрасли или объектам, узнает их в текстах, изображениях или схемах и знает, к каким источникам нужно обращаться для более детального его усвоения
3	Удовлетворительно	Знать и уметь на <b>репродуктивном</b> уровне. Субъект учения знает изученный элемент содержания репродуктивно: произвольно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях
4	Хорошо	Знать, уметь, владеть на <b>аналитическом</b> уровне. Зная на репродуктивном уровне, указывать на особенности и взаимосвязи изученных объектов, на их достоинства, ограничения, историю и перспективы развития и особенности для разных объектов усвоения
5	Отлично	Знать, уметь, владеть на <b>системном</b> уровне. Субъект учения знает изученный элемент содержания системно, произвольно и доказательно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях, учитывая и указывая связи и зависимости между этим элементом и другими элементами содержания учебной

		дисциплины, его значимость в содержании учебной дисциплины
--	--	--

### Итоговая оценка по дисциплине – зачет.

Шкала оценивания			
Не удовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	отлично
«Не зачтено»	«Зачтено»		

**6.3. Типовые контрольные задания или иные материалы,** необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы.

**Типовые вопросы и задания для текущего контроля** (оценка сформированности элементов (знаний, умений) компетенций УК-1, ПК-1, ПК-3, ПК-5, ПК-6, ПК-7 в рамках текущего контроля по дисциплине) по разделам дисциплины:

1. На  $n$ -том уровне энергии  $E_n = \epsilon_n$  находится  $N_n \gg 1$  частиц. Возьмем из ячейки  $n = k$  три частицы, одну переместим в ячейку  $k+2$ , а остальные две – в ячейку  $k-1$  (при этом ни число частиц, ни полная энергия не изменятся). Поскольку в равновесном состоянии статвес распределения максимален, нужно получить распределение Гиббса, приравняв вероятности этих двух распределений и считая, что числа заполнения зависят только от энергии уровня:  $N_n = N_n(\epsilon_n)$ .
2. Воспользовавшись решением Ландау-Лифшица [2] для полей вращающегося магнитного диполя, найти решение, соответствующее опережающему потенциалам (сходящаяся электромагнитная волна).

$$\begin{aligned}
 B_r^\perp &= \frac{|m|}{r^3} \sin \theta \operatorname{Re} \left( 2 - 2i \frac{\Omega r}{c} \right) \exp \left( i \frac{\Omega r}{c} + i\varphi - i\Omega t \right), \\
 B_\theta^\perp &= \frac{|m|}{r^3} \cos \theta \operatorname{Re} \left( -1 + i \frac{\Omega r}{c} + \frac{\Omega^2 r^2}{c^2} \right) \exp \left( i \frac{\Omega r}{c} + i\varphi - i\Omega t \right), \\
 B_\varphi^\perp &= \frac{|m|}{r^3} \operatorname{Re} \left( -i - \frac{\Omega r}{c} + i \frac{\Omega^2 r^2}{c^2} \right) \exp \left( i \frac{\Omega r}{c} + i\varphi - i\Omega t \right), \\
 E_r^\perp &= 0, \\
 E_\theta^\perp &= \frac{|m|\Omega}{r^2 c} \operatorname{Re} \left( -1 + i \frac{\Omega r}{c} \right) \exp \left( i \frac{\Omega r}{c} + i\varphi - i\Omega t \right), \\
 E_\varphi^\perp &= \frac{|m|\Omega}{r^2 c} \cos \theta \operatorname{Re} \left( -i - \frac{\Omega r}{c} \right) \exp \left( i \frac{\Omega r}{c} + i\varphi - i\Omega t \right).
 \end{aligned}$$

1. Найти потери энергии от электрического дипольного момента  $\mathbf{d}$ , вращающегося параллельно себе вокруг оси на расстоянии  $r$  с частотой  $\Omega$ .

2. Экстраполировав трехмерную дельта-функцию  $d(\mathbf{r})$  гауссовым распределением, найти распределение магнитного поля и токов у точечного анапольного момента в случае, если  $\mathbf{j} = \text{rot rot} [\mathbf{T} \delta(\mathbf{r})]$ .
3. Для потенциального осесимметричного течения  $\mathbf{v} = \text{grad } \phi$ , где  $\phi$  задается формулой (65) из [3]

$$\phi(x, y) = c_* x + \frac{kx^2}{2} + \frac{k^2(\Gamma + 1)}{2c_*} xy^2 + \frac{k^3(\Gamma + 1)^2}{24c_*^2} y^4 + \dots$$

---

найти первые члены разложения для концентрации  $n$  и продольного потока  $n v_x$ .

4. Найти положение звуковой поверхности и сепаратрисной характеристики для этого течения.
5. Найти первые члены разложения для потенциала  $\Phi(r, \theta)$ , соответствующие задаче 1 Занятия 3.
6. Перейдя в сферической метрике от угла  $\varphi$  к углу  $\varphi - \Omega t$  (т.е. перейдя во вращающуюся систему отсчета), найдите гравитомагнитное поле (1.216) и покажите, что ‘сила Лоренца’ (1.215) совпадает с силой Кориолиса.
7. Показать, что в метрике Керра любая функция  $\Phi = \Phi(\theta)$  является решением для аккреции холодного газа ( $\mu = \text{const}$ ,  $s = 0$ ) без углового момента ( $L = 0$ ) из состояния покоя на бесконечности ( $E = \mu$ ), см. (1.249)-(1.250).
8. В монопольном поле для матрицы Шварцшальда найти положение поверхности, где гольдрайховская плотность (3.57) меняет знак.  $\Omega_F = \Omega_H / 2$ .
9. Из  $\varphi$ -компоненты уравнения (1.232) для тензора энергии-импульса (1.230) получите релятивистский интеграл углового момента  $L$  (1.241).
10. В какие волны переходят две вихревые гидродинамические волны при включении магнитного поля?
11. Воспользовавшись матрицей (4.19) из [1], получить выражение для магниторотационной частоты. Плазма движется по круговым орбитам с угловой скоростью, зависящей от  $r$ . Внешнее магнитное поле и волновой вектор возмущения направлены по оси  $z$ .
12. Получить выражение для альфвеновской волны для случая анизотропного давления в модели (4.106).
13. Найти матрицу поворота коэффициентов разложения волновой функции по состояниям с определенной проекцией на ось  $z$  вокруг оси  $x$  для углового момента  $s = 2$ .
14. Проверьте, что сумма квадратов по одному из столбцу (строке) равны 1, а усредненные по углу квадраты равны  $1/5$ .

15. Записать неравенства Белла для смешанной ЭПР-пары с полным нулевым спином, если анализаторы А, В и С для одной частицы противоположны по направлению анализаторам А', В' и С' для второй частицы. При каких углах это неравенство будет нарушаться?
16. Провести бифуркационный анализ модели «Брюсселтор».
17. Доказать, что сумма показателей Ляпунова равна усреднённой по траектории дивергенции векторного поля.
18. Построить канторово множество, имеющее фрактальную размерность  $\log_7 4$ .  
 Ответ: например, делим исходный отрезок на 7 частей и выбрасываем 2-ю, 4-ю и 6-ю части, поступаем также с оставшимися отрезками и так далее.
19. Чему равна фрактальная размерность трёхмерного ковра Серпинского? Ответ:  
 $\log_3 26$
20. Вычислить два первых бифуркационных параметра последовательности Фейгенбаума для логистического отображения. Ответ:  $\frac{3}{4}$  и  $(1+6\frac{1}{2})/4$
21. Найти скорость установившейся волны (автомодельного решения) для уравнения  $\nabla_x \nabla_t = \alpha(a-x)(b-x)(c-x) + \nabla_x^2$ , где  $a < b < c$ . Ответ:  $(\alpha/2)^{1/2}(a-2b+c)$
22. Вывести условия бифуркации Тьюринга для распределённой модели «Брюсселятор». Ответ:  $B > (1+D \frac{1}{2}A)^2$
23. В чём суть эффекта баретирования? Оценить диапазон напряжения, в котором ток, протекающий через баретор, остаётся постоянным.
24. Найти коэффициенты фильтров  $h_n$  ортонормированного вейвлет базиса с  $M = 4$  нулевыми моментами методом спектральной факторизации.

Ответ: два решения (набора)

$h[0] = -0.075765714789502213228;$   
 $h[1] = -0.029635527646002491764;$   
 $h[2] = 0.49761866763277498998;$   
 $h[3] = 0.80373875180513208088;$   
 $h[4] = 0.2978577956053060514;$   
 $h[5] = -0.099219543576633532585;$   
 $h[6] = -0.012603967262031303754;$   
 $h[7] = 0.032223100604051467872;$

и

$h[0] = 0.23037781330889650086;$   
 $h[1] = 0.71484657055291564709;$   
 $h[2] = 0.63088076792985890788;$   
 $h[3] = -0.027983769416859854211;$   
 $h[4] = -0.18703481171909308408;$   
 $h[5] = 0.030841381835560763627;$   
 $h[6] = 0.032883011666885199735;$   
 $h[7] = -0.010597401785069032105;$

14. Построить график вейвлета, определяемого фильтрами  $h[0]=0.33267$ ,  $h[1]=0.80689$ ,  $h[2]=0.45987$ ,  $h[3]=-0.13501$ ,  $h[4]=-0.08544$ ,  $h[5]=0.03522$ . Ответ: провести 10 шагов обратного преобразования, начиная с вектора, содержащего 1 в качестве коэффициента при  $\psi_{10_k}(x)$  и остальные 0. Результат отмасштабировать по  $x$  на размер носителя 5 и по  $y$  на  $2^5=32$ .

15. Найти коэффициенты фильтров  $h[n]$  ортонормированного вейвлет-базиса с  $M = 3$ , используя соотношения ортогональности.

Ответ:  $h[0]=0.33267$ ,  $h[1]=0.80689$ ,  $h[2]=0.45987$ ,  $h[3]=-0.13501$ ,  $h[4]=-0.08544$ ,  $h[5]=0.03522$ .

16. Провести вейвлет-разложение произвольного сигнала до масштаба  $j = 5$ . По значениям вейвлет-коэффициентов найти  $L_2$  норму сигнала.

Ответ:  $L_2$ -норма сигнала это сумма квадратов вейвлет-коэффициентов ( $s$  и  $d$  коэффициентов).

17. Провести Фурье и вейвлет-преобразование пика треугольной формы. Отсортировать коэффициенты в порядке убывания модуля и сравнить скорость убывания этих последовательностей.

Ответ: Вейвлет-коэффициенты быстро обращаются в точный 0, тогда как фурье-коэффициенты, изначально меньшие по амплитуде, спадают существенно медленнее

18. Вычислить вейвлет-преобразование до 7-го уровня и построить графики вейвлет-коэффициентов для функции

$$\left[ \begin{array}{l} f(i)=\left\{ \begin{array}{l} \sin(\omega_0 i), \text{ \& } 0 \leq i < N/2 \\ \sin(4\omega_0 i), \text{ \& } N/2 \leq i < N \end{array} \right. \\ \right. \\ \left. \right.$$

где  $\omega_0 = \frac{2\pi}{N}$ ,  $N=8192$ ,  $i$ -целое от 0 до  $N-1$

Ответ: график вейвлет-коэффициентов позволяет определить где изменилась частота анализируемого сигнала и определить интервал, которому принадлежала эта частота.

4) Найти характерный масштаб вейвлет-преобразования сигнала  $f(n) = e^{-\frac{(n-\mu)^2}{2\sigma^2}} \cos(\omega n)$ ,

где  $\mu = N/2$ ,  $N=1024$  -- длина сигнала,  $\sigma=100$ ,  $\omega=5$ .

Ответ: Построить график суммы квадратов вейвлет-коэффициентов для каждого уровня преобразования в зависимости от номера уровня. Характерные масштабы - максимумы на этом графике.

8) Получить фильтры для 1-ой производной для  $M=4$ .

Ответ:

hdx[1]=-0.7930095049744718

hdx[2]= 0.1919989707989425,

hdx[3]=-0.0335802070510363,

hdx[4]= 0.0022240496707229,

hdx[5]= 0.0001722061900053,

hdx[6]=-0.0000008408505371

hdx[-i]=-hdx[i]

#### **6.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.**

Процедуры и средства оценивания элементов компетенций по дисциплине

Процедура проведения	Средство оценивания			
	Текущий контроль			Промежуточный контроль
	Выполнение устных заданий	Выполнение письменных заданий	Выполнение домашних заданий	Зачет
Продолжительность контроля	По усмотрению преподавателя	По усмотрению преподавателя	По усмотрению преподавателя	В соответствии с принятыми нормами времени
Форма проведения контроля	Устный опрос	Письменный опрос	Письменный опрос	В письменной форме
Вид проверочного задания	Устные вопросы	Письменные задания	Письменные задания	Письменное задание
Форма отчета	Устные ответы	Ответы в письменной форме	Ответы в письменной форме	Ответы в письменной форме
Раздаточный материал	Лекционный материал	Лекционный материал Справочная литература	Лекционный материал Справочная литература	Лекционный материал Справочная литература

#### **7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Дисциплина «Оптика» предусматривает лекции и самостоятельные занятия. Успешное изучение дисциплины требует посещения лекций, активной самостоятельной работы, выполнения учебных заданий преподавателя, ознакомления с основной и дополнительной литературой.

В ходе лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы, дает рекомендации на практическое занятие и

указания на самостоятельную работу.

При подготовке к лекционным занятиям аспирантам необходимо: перед очередной лекцией необходимо просмотреть конспект материала предыдущей лекции. При затруднениях в восприятии материала следует обратиться к основным литературным источникам.

Виды самостоятельной работы: в домашних условиях, в читальном зале библиотеки, на компьютерах с доступом к базам данных и ресурсам Интернет, в лабораториях с доступом к лабораторному оборудованию и приборам.

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций, учебное и научное программное обеспечение, ресурсы Интернет.

Практические занятия завершают изучение наиболее важных тем учебной дисциплины. Они служат для закрепления изученного материала, развития умений и навыков подготовки докладов, сообщений, приобретения опыта устных публичных выступлений, ведения дискуссии, аргументации и защиты выдвигаемых положений, а также для контроля преподавателем степени подготовленности аспирантов по изучаемой дисциплине.

При подготовке к практическому занятию аспиранты имеют возможность воспользоваться консультациями преподавателя.

При подготовке к практическим занятиям аспирантам необходимо: до очередного практического занятия по рекомендованным литературным источникам проработать теоретический материал, соответствующей темы занятия;

в начале занятий задать преподавателю вопросы по материалу, вызвавшему затруднения в его понимании и освоении при решении задач, заданных для самостоятельного решения;

в ходе семинара давать конкретные, четкие ответы по существу вопросов;

на занятии доводить каждую задачу до окончательного решения.

## **8. Ресурсное обеспечение:**

### **8.1. ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. В.С.Бескин. Осесимметричные стационарные течения в астрофизике. М.:ФИЗМАТЛИТ. 2005.
2. Ю.А. Данилов. Лекции по нелинейной динамике. М.: Либроком, 2013.
3. Н.А. Магницкий. Теория динамического хаоса. М.: Ленанд, 2011.
4. Д.И. Трубецков. Введение в синергетику. Хаос и структуры. М.: Либроком, 2014.
5. Н.А. Борисенко, В. А. Нечитайло. Обработка цифровых сигналов и
6. изображений с помощью вейвлетов. Москва : НИЯУ МИФИ, 2011. - 259 с.

7. Teschl G. Mathematical Methods in Quantum Mechanics with Applications to Schrodinger Operators. Graduate Studies in Mathematics, Volume 157, Amer. Math. Soc., Providence, 2014.
8. Moretti V. Spectral Theory and Quantum Mechanics. Springer, 2013.

### **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Рид М., Саймон Б. Методы современной математической физики. Том 1. Функциональный анализ. Москва: Издательство Мир, 1977. 359 с.
2. Березин Ф. А., Шубин М. А. Уравнение Шредингера. Москва: Издательство Московского Университета, 1983. 392 с.
3. Рудин У. Функциональный анализ. Москва, Издательство Мир, 1975. 447 с.
4. Rudin W. Real and complex analysis. McGraw-Hill, 1987. 415 P.
5. С. Малла, Вейвлеты в обработке сигналов, М.: Мир, 2005.
6. И. Добеши, Десять лекций по вейвлетам, Москва-Ижевск: РХД, 2004
7. К. Блаттер, Вейвлет-анализ. Основы теории, М.: Техносфера, 2004
8. И.М. Дремин, О.В. Иванов, В.А. Нечитайло, Вейвлеты и их использование, УФН, т.171(5), с.465-501, 2001
9. А.Ю. Лоскутов, А.С. Михайлов. Введение в синергетику.- М.: Наука, 1990.
10. А.И. Чуличков. Математические методы нелинейной динамики.- М.: Физматлит, 2000
11. А. Лихтенберг, М. Либерман. Регулярная и стохастическая динамика. М.: Мир, 1984.

### **8.2. Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимые для освоения дисциплины**

1. [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com) – ведущая информационная платформа издательства Elsevier для ученых, преподавателей, аспирантов, студентов, специалистов;
2. [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru) – проект Научная электронная библиотека.
3. <http://scholar.google.com> – поиск с использованием Google Scholar.
4. SCOPUS ([www.scopus.com](http://www.scopus.com))
4. <https://webofknowledge.com> - Web of Science на платформе Web of Knowledge.
5. Доступ к полным текстам патентов:  
<http://ep.espacenet.com> – Европейское патентное ведомство;  
<http://www.uspto.gov/main/sitesearch.htm> – Американское патентное ведомство;  
[www.fips.ru](http://www.fips.ru) – Российская библиографическая патентная база данных.
6. Полный список ресурсов приведен в ООП.

**8.3. Информационные технологии**, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем  
 – Программные средства Microsoft Office.

## **9. Материально-техническое обеспечение дисциплины.**

- 1) Учебная аудитория, оснащенная мультимедийным презентационным оборудованием;
- 2) Библиотека с читальным залом, книжный фонд которой составляет специализированная методическая и учебная литература, журналы.

## **10. Образовательные технологии.**

Обучение по дисциплине ведется с применением как традиционных методов, так и с использованием инновационных подходов: активное участие аспирантов в научных семинарах, представление докладов на научные конференции, подготовка научных статей, подготовка презентаций по литературе и по теме диссертации, освоение новых средств автоматизации и компьютеризации выполняемых научных исследований.

### **Разработчик:**

д.ф.-м.н.

Бескин В. С.