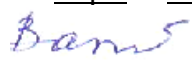



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

Утверждено  
на заседании кафедры  
протокол № 5 от «4» март 2020 г.  
Зав. кафедрой   
(Вахитов Р.М.)

Согласовано:  
Председатель УМК физико-технического института   
(Балапанов М.Х.)

### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

дисциплина Необратимые процессы в динамических системах  
(наименование дисциплины)

вариативная

(Цикл дисциплины и его часть (базовая, вариативная, дисциплина по выбору))

#### Программа магистратуры

Направление подготовки (специальность)

**03.04.02 Физика**

(указывается код и наименование направления подготовки (специальности))

Направленность (профиль) подготовки


**Физика конденсированного состояния вещества**

(указывается наименование направленности (профиля) подготовки)

Квалификация

**Магистр**

(указывается квалификация)


Разработчик (составитель) к.ф.-м.н., доцент Закирьянов Ф.К (должность, ученая степень, ученое звание)	 Закирьянов Ф.К (подпись, Фамилия И.О.)
---	---

Для приема: 2020 г.

Уфа 2020 г.

Составитель / составители: Закирьянов Ф.К

Рабочая программа дисциплины рассмотрена и одобрена на заседании кафедры теоретической физики протокол № 5 от 04.03.2020 г.

Заведующий кафедрой  Вахитов Р.М. / Ф.И.О

## Список документов и материалов

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы	
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы	
3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)	
4. Фонд оценочных средств по дисциплине	
4.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания	
4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций	
<i>4.3. Рейтинг-план дисциплины (при необходимости)</i>	
5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	
5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	
5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины	
6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине	

# 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы (с ориентацией на карты компетенций)

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Результаты обучения		Формируемая компетенция (с указанием кода)	Примечание
Знания	1. Знать основные точно интегрируемые модели, описывающие эволюцию нелинейных волн	ПК-2, ОК-1	Полученные компетенции позволяют исследовать аналогичные нелинейные явления возникающие не только в других областях физики (магнитные вихри, скирмионы, волны Россби, динамика дефектов и т.д., но и в смежных науках: в химии (Жаботинского – Белоусова), в биологии (динамика ДНК), в экологии(экологические системы «хищник-жертва», «хозяин-паразит» и т.д. Кроме того, они могут быть использованы в научно-инновационных, задачах, касающихся способов распространения различных типов волн (в линиях электропередачи, в дальней космической связи без потери энергии).
	2. Знать основные методы анализа нелинейных эволюционных уравнений	ПК-2, ОК-1	
	3. Знать закономерности распространения нелинейных волн.	ПК-2, ОК-1	
Умения	1. Производить расчеты по нахождению мультисолитонных решений методом Хироты	ПК-2, ОК-1, ПК-1	
	2. Пользоваться техникой Лэмба для анализа нелинейных эволюционных уравнений с помощью преобразований Бэклунда	ПК-2, ОК-1	
	3. Применять полученные знания для анализа нелинейных волновых процессов в научно-исследовательской работе в своей области	ПК-2, ОК-1, ПК-1	
Владения (навыки / опыт деятельности)	1. Владеть методикой нахождения мультисолитонных решений с помощью прямых методов.	ПК-2, ПК-1	
	2. Владеть техникой интегрирования нелинейных эволюционных уравнений на основе метода обратной задачи рассеяния.	ПК-2, ПК-1	
	3. Владеть навыками и приемами использования наработанного математического аппарата (метод операторных пар Лакса, АКНЗС и др.) анализа нелинейных эволюционных уравнений на предмет их интегрируемости с помощью метода обратной задачи рассеяния.	ПК-2, ОК-1, ПК-3	

## 2. Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Нелинейные волны» относится к вариативной части.

Дисциплина изучается на 1 курсе в 1 семестре.

Цели изучения дисциплины: Представляет собой отрасль знаний в физике, сформировавшейся в отдельное направление в науке в конце 70-х годов прошлого столетия. Для её освоения студенту необходимо следующие «входные» знания из соответствующих разделов теоретической механики (Теория колебаний, «Функции Лагранжа и Гамильтона»), теории упругости, квантовой механики, математической физики, линейной алгебры, теории дифференциальных операторов и т.д.

## 3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)

Содержание рабочей программы представлено в Приложении № 1.

## 4. Фонд оценочных средств по дисциплине

### 4.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их

**формирования, описание шкал оценивания**

Код и формулировка компетенции:

ОПК-1 – способность к абстрактному мышлению, анализу, синтезу;

Этап (уровень) освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 («Не удовлетворительно»)	3 («Удовлетворительно»)	4 («Хорошо»)	5 («Отлично»)
Первый этап (уровень)	Знать основные точно интегрируемые модели, описывающие эволюцию нелинейных волн, основные методы анализа нелинейных эволюционных уравнений	не знает основные точно интегрируемые модели, описывающие эволюцию нелинейных волн, основные методы анализа нелинейных эволюционных уравнений	знает в целом основные точно интегрируемые модели, описывающие эволюцию нелинейных волн, основные методы анализа нелинейных эволюционных уравнений и, но допускает грубые ошибки	знает основные точно интегрируемые модели, описывающие эволюцию нелинейных волн, основные методы анализа нелинейных эволюционных уравнений, но допускает незначительные ошибки	знает основные точно интегрируемые модели, описывающие эволюцию нелинейных волн, основные методы анализа нелинейных эволюционных уравнений
Второй этап (уровень)	Уметь производить расчеты по нахождению мультисолитонных решений методом Хироты, пользоваться техникой Лэмба для анализа нелинейных эволюционных уравнений с помощью преобразований Бэклунда	не умеет производить расчеты по нахождению мультисолитонных решений методом Хироты, пользоваться техникой Лэмба для анализа нелинейных эволюционных уравнений с помощью преобразований Бэклунда	умеет производить расчеты по нахождению мультисолитонных решений методом Хироты, пользоваться техникой Лэмба для анализа нелинейных эволюционных уравнений с помощью преобразований Бэклунда	умеет производить расчеты по нахождению мультисолитонных решений методом Хироты, пользоваться техникой Лэмба для анализа нелинейных эволюционных уравнений с помощью преобразований Бэклунда, но допускает незначительные ошибки	умеет производить расчеты по нахождению мультисолитонных решений методом Хироты, пользоваться техникой Лэмба для анализа нелинейных эволюционных уравнений с помощью преобразований Бэклунда
Третий этап (уровень)	Владеть навыками и приемами использования наработанного математического аппарата (метод операторных пар Лакса, АКНЗС и др.) анализа нелинейных эволюционных уравнений на предмет их интегрируемости с помощью метода обратной задачи рассеяния.	не владеет навыками и приемами использования наработанного математического аппарата (метод операторных пар Лакса, АКНЗС и др.) анализа нелинейных эволюционных уравнений на	владеет навыками и приемами использования наработанного математического аппарата (метод операторных пар Лакса, АКНЗС и др.) анализа нелинейных эволюционных уравнений на предмет их интер-	владеет навыками и приемами использования наработанного математического аппарата (метод операторных пар Лакса, АКНЗС и др.)	владеет навыками и приемами использования наработанного математического аппарата (метод операторных пар Лакса, АКНЗС и др.) анализа нелинейных эволю-

		предмет их интергируемости с помощью метода обратной задачи рассеяния	гируемости с помощью метода обратной задачи рассеянияно допускает грубые ошибки.	анализа нелинейных эволюционных уравнений на предмет их интергируемости с помощью метода обратной задачи рассеяния, но допускает незначительные ошибки	ционных уравнений на предмет их интергируемости с помощью метода обратной задачи рассеяния
--	--	---	--	--	--

ПК-1 - способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта;

Этап (уровень) освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 («Не удовлетворительно»)	3 («Удовлетворительно»)	4 («Хорошо»)	5 («Отлично»)
Первый этап (уровень)	Знать основные точно интегрируемые модели, описывающие эволюцию нелинейных волн, основные методы анализа нелинейных эволюционных уравнений	не знает основные точно интегрируемые модели, описывающие эволюцию нелинейных волн, основные методы анализа нелинейных эволюционных уравнений	знает в целом основные точно интегрируемые модели, описывающие эволюцию нелинейных волн, основные методы анализа нелинейных эволюционных уравнений и, но допускает грубые ошибки	знает основные точно интегрируемые модели, описывающие эволюцию нелинейных волн, основные методы анализа нелинейных эволюционных уравнений, но допускает незначительные ошибки	знает основные точно интегрируемые модели, описывающие эволюцию нелинейных волн, основные методы анализа нелинейных эволюционных уравнений
Второй этап (уровень)	Уметь производить расчеты по нахождению мультисолитонных решений методом Хироты, пользоваться техникой Лэмба для анализа нелинейных эволюционных уравнений с помощью преобразований Бэклунда	не умеет производить расчеты по нахождению мультисолитонных решений методом Хироты, пользоваться техникой Лэмба для анализа нелинейных эволюционных уравнений с помощью преобразований Бэклунда	умеет производить расчеты по нахождению мультисолитонных решений методом Хироты, пользоваться техникой Лэмба для анализа нелинейных эволюционных уравнений с помощью преобразований Бэклунда	умеет производить расчеты по нахождению мультисолитонных решений методом Хироты, пользоваться техникой Лэмба для анализа нелинейных эволюционных уравнений с помощью преобразований Бэклунда, но допускает незначительные ошибки	умеет производить расчеты по нахождению мультисолитонных решений методом Хироты, пользоваться техникой Лэмба для анализа нелинейных эволюционных уравнений с помощью преобразований Бэклунда
Третий этап (уровень)	Владеть навыками и приемами использования наработанного математического аппарата (метод операторных пар Лакса, АКНЗС и др.) анализа нелинейных эволюционных уравнений на предмет их интегрируемости с помощью метода обратной задачи рассеяния.	не владеет навыками и приемами использования наработанного математического аппарата (метод операторных пар Лакса, АКНЗС и др.) анализа нелинейных эволюционных уравнений на предмет их интегрируемости с помощью метода обратной задачи	владеет навыками и приемами использования наработанного математического аппарата (метод операторных пар Лакса, АКНЗС и др.) анализа нелинейных эволюционных уравнений на предмет их интегрируемости с помощью метода обратной задачи рассеяния до	владеет навыками и приемами использования наработанного математического аппарата (метод операторных пар Лакса, АКНЗС и др.) анализа нелинейных эволюционных уравнений	владеет навыками и приемами использования наработанного математического аппарата (метод операторных пар Лакса, АКНЗС и др.) анализа нелинейных эволюционных уравнений на предмет их интегрируемости с

		рассеяния	пускает грубые ошибки.	ний на предмет их интегрируемости с помощью метода обратной задачи рассеяния, но допускает незначительные ошибки	помощью метода обратной задачи рассеяния
--	--	-----------	------------------------	--	--

ПК-2 - способностью свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности работ;

Этап (уровень) освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 («Не удовлетворительно»)	3 («Удовлетворительно»)	4 («Хорошо»)	5 («Отлично»)
Первый этап (уровень)	Знать основные точно интегрируемые модели, описывающие эволюцию нелинейных волн, основные методы анализа нелинейных эволюционных уравнений	не знает основные точно интегрируемые модели, описывающие эволюцию нелинейных волн, основные методы анализа нелинейных эволюционных уравнений	знает в целом основные точно интегрируемые модели, описывающие эволюцию нелинейных волн, основные методы анализа нелинейных эволюционных уравнений, но допускает грубые ошибки	знает основные точно интегрируемые модели, описывающие эволюцию нелинейных волн, основные методы анализа нелинейных эволюционных уравнений, но допускает незначительные ошибки	знает основные точно интегрируемые модели, описывающие эволюцию нелинейных волн, основные методы анализа нелинейных эволюционных уравнений
Второй этап (уровень)	Уметь производить расчеты по нахождению мультисолитонных решений методом Хироты, пользоваться техникой Лэмба для анализа нелинейных эволюционных уравнений с помощью преобразований Бэклунда	не умеет производить расчеты по нахождению мультисолитонных решений методом Хироты, пользоваться техникой Лэмба для анализа нелинейных эволюционных уравнений с помощью преобразований Бэклунда	умеет производить расчеты по нахождению мультисолитонных решений методом Хироты, пользоваться техникой Лэмба для анализа нелинейных эволюционных уравнений с помощью преобразований Бэклунда	умеет производить расчеты по нахождению мультисолитонных решений методом Хироты, пользоваться техникой Лэмба для анализа нелинейных эволюционных уравнений с помощью преобразований Бэклунда, но допускает незначительные ошибки	умеет производить расчеты по нахождению мультисолитонных решений методом Хироты, пользоваться техникой Лэмба для анализа нелинейных эволюционных уравнений с помощью преобразований Бэклунда
Третий этап (уровень)	Владеть навыками и приемами использования наработанного математического аппарата (метод операторных пар Лакса, АКНЗС и	не владеет навыками и приемами использования наработанного математического	владеет навыками и приемами использования наработанного математического аппарата	владеет навыками и приемами использования нарабо-	владеет навыками и приемами использования нарабо-



	др.) анализа нелинейных эволюционных уравнений на предмет их интегрируемости с помощью метода обратной задачи рассеяния.	аппарата (метод операторных пар Лакса, АКНЗС и др.) анализа нелинейных эволюционных уравнений на предмет их интегрируемости с помощью метода обратной задачи рассеяния	та (метод операторных пар Лакса, АКНЗС и др.) анализа нелинейных эволюционных уравнений на предмет их интегрируемости с помощью метода обратной задачи рассеянияно допускает грубые ошибки.	танного математического аппарата (метод операторных пар Лакса, АКНЗС и др.) анализа нелинейных эволюционных уравнений на предмет их интегрируемости с помощью метода обратной задачи рассеяния, но допускает незначительные ошибки	тематического аппарата (метод операторных пар Лакса, АКНЗС и др.) анализа нелинейных эволюционных уравнений на предмет их интегрируемости с помощью метода обратной задачи рассеяния
--	--	--	---	--	--

ПК- 3- способностью принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности

Этап (уровень) освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 («Не удовлетворительно»)	3 («Удовлетворительно»)	4 («Хорошо»)	5 («Отлично»)
Первый этап (уровень)	Знать основные точно интегрируемые модели, описывающие эволюцию нелинейных волн, основные методы анализа нелинейных эволюционных уравнений	не знает основные точно интегрируемые модели, описывающие эволюцию нелинейных волн, основные методы анализа нелинейных эволюционных уравнений	знает в целом основные точно интегрируемые модели, описывающие эволюцию нелинейных волн, основные методы анализа нелинейных эволюционных уравнений и, но допускает грубые ошибки	знает основные точно интегрируемые модели, описывающие эволюцию нелинейных волн, основные методы анализа нелинейных эволюционных уравнений, но допускает незначительные ошибки	знает основные точно интегрируемые модели, описывающие эволюцию нелинейных волн, основные методы анализа нелинейных эволюционных уравнений
Второй этап (уровень)	Уметь производить расчеты по нахождению мультисолитонных решений методом Хироты, пользоваться техникой Лэмба для анализа нелинейных эволюционных уравнений с помощью преобразований Бэклунда	не умеет производить расчеты по нахождению мультисолитонных решений методом Хироты, пользоваться техникой Лэмба для анализа нелинейных эволюционных уравнений с помощью преобразований Бэклунда	умеет производить расчеты по нахождению мультисолитонных решений методом Хироты, пользоваться техникой Лэмба для анализа нелинейных эволюционных уравнений с помощью преобразований Бэклунда	умеет производить расчеты по нахождению мультисолитонных решений методом Хироты, пользоваться техникой Лэмба для анализа нелинейных эволюционных уравнений с помощью преобразований	умеет производить расчеты по нахождению мультисолитонных решений методом Хироты, пользоваться техникой Лэмба для анализа нелинейных эволюционных уравнений с помощью преобразований

				щью преобразований Бэклунда, но допускает незначительные ошибки	Бэклунда
Третий этап (уровень)	Владеть навыками и приемами использования наработанного математического аппарата (метод операторных пар Лакса, АКНЗС и др.) анализа нелинейных эволюционных уравнений на предмет их интегрируемости с помощью метода обратной задачи рассеяния.	не владеет навыками и приемами использования наработанного математического аппарата (метод операторных пар Лакса, АКНЗС и др.) анализа нелинейных эволюционных уравнений на предмет их интегрируемости с помощью метода обратной задачи рассеяния	владеет навыками и приемами использования наработанного математического аппарата (метод операторных пар Лакса, АКНЗС и др.) анализа нелинейных эволюционных уравнений на предмет их интегрируемости с помощью метода обратной задачи рассеянияно допускает грубые ошибки.	владеет навыками и приемами использования наработанного математического аппарата (метод операторных пар Лакса, АКНЗС и др.) анализа нелинейных эволюционных уравнений на предмет их интегрируемости с помощью метода обратной задачи рассеяния, но допускает незначительные ошибки	владеет навыками и приемами использования наработанного математического аппарата (метод операторных пар Лакса, АКНЗС и др.) анализа нелинейных эволюционных уравнений на предмет их интегрируемости с помощью метода обратной задачи рассеяния

Показатели сформированности компетенции:

Критериями оценивания являются баллы, которые выставляются преподавателем за виды деятельности (оценочные средства) по итогам изучения модулей (разделов дисциплины), перечисленных в рейтинг-плане дисциплины (для экзамена: текущий контроль – максимум 40 баллов; рубежный контроль – максимум 30 баллов, поощрительные баллы – максимум 10; для зачета: текущий контроль – максимум 50 баллов; рубежный контроль – максимум 50 баллов, поощрительные баллы – максимум 10).

Шкалы оценивания:

(для экзамена:

от 45 до 59 баллов – «удовлетворительно»;

от 60 до 79 баллов – «хорошо»;

от 80 баллов – «отлично».

**4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

Результаты обучения		Формируемая компетенция (с указанием кода)	Примечание
Знания	1. Знать основные точно интегрируемые модели, описывающие эволюцию нелинейных волн	ПК-2, ОК-1	решение задач, реферат, экзамен
	2. Знать основные методы анализа нелинейных эволюционных уравнений	ПК-2, ОК-1	решение задач, реферат, экзамен
	3. Знать основные свойства точно интегрируемых моделей	ПК-2, ОК-1	решение задач, реферат, экзамен

	4. Знать закономерности распространения нелинейных волн.	ПК-2, ОК-1	мен Контрольная работа, решение задач, реферат, экзамен
Умения	1. Производить расчеты по получению мультисолитонных решений методом Хироты	ПК-2, ОК-1, ПК-1	Контрольная работа, решение задач, реферат, экзамен
	2. пользоваться техникой Лэмба для анализа нелинейных эволюционных уравнений с помощью преобразований Бэклунда	ПК-2, ОК-1	Контрольная работа, решение задач, реферат, экзамен
	3. применять полученные знания для анализа нелинейных волновых процессов в научно-исследовательской работе в своей области	ПК-2, ОК-1, ПК-1	Контрольная работа, решение задач, реферат, экзамен
Владения (навыки / опыт деятельности)	1. Владеть методикой нахождения мультисолитонных решений с помощью прямых методов.	ПК-2, ПК-1	Контрольная работа, решение задач, реферат, экзамен
	2. Владеть техникой интегрирования нелинейных эволюционных уравнений на основе метода обратной задачи рассеяния.	ПК-2, ПК-1	Контрольная работа, решение задач, реферат, экзамен
	3. Владеть навыками и приемами использования наработанного математического аппарата (метод операторных пар Лакса, АКНЗС и др.) анализа нелинейных эволюционных уравнений на предмет их интергируемости с помощью метода обратной задачи рассеяния.	ПК-2, ОК-1, ПК-3	Контрольная работа, решение задач, реферат, экзамен

## Примерная тематика рефератов

1. Эволюция ограниченного возмущения с профилем типа «гауссиана» в среде, описываемой уравнением Бюргера (аналитическое и численное исследование с последующей графической иллюстрацией).
2. Сценарий взаимодействия двух солитонов в среде, описываемой уравнением а) Кортевега-де-Фриза, б) Буссинеска, в) модифицированным уравнением Кортевега-де-Фриза (теория процесса и его графическая иллюстрация).
3. Нахождение методом Хироты многосолитонных решений уравнения 1) Буссинеска, б)  $\sin$ -Гордона, в) нелинейного уравнения Шредингера, г) модифицированных уравнений Кортевега-де-Фриза высших порядков, д) уравнения, описывающего цепочку Тоды.
4. Стационарные решения двойного уравнения  $\sin$ -Гордона (полный анализ и графическая иллюстрация соответствующих решений).
5. Получение многосолитонных решений а) модифицированного уравнения Кортевега-де-Фриза, б) уравнения Буссинеска с помощью преобразования Бэклунда.
6. Нахождение полиномиальных сохраняющихся плотностей (первых шести) исходя из преобразования Бэклунда для уравнения  $\sin$ -Гордона.
7. Нахождение полиномиальных сохраняющихся плотностей для уравнения Кортевега-де-Фриза, используя преобразования Миуры.

### Критерии оценки:

«**Отлично**» ставится, если выполнены все требования к написанию и защите реферата: обозначена проблема и обоснована её актуальность, сделан краткий анализ различных точек зрения на рассматриваемую проблему и логично изложена собственная позиция, сформулированы выводы, тема раскрыта полностью, выдержан объём, соблюдены требования к внешнему оформлению, даны правильные ответы на дополнительные вопросы.

«**Хорошо**» ставится, если основные требования к реферату и его защите выполнены, но при этом допущены недочёты. В частности, имеются неточности в изложении материала; отсутствует логическая последовательность в суждениях; не выдержан объём реферата; имеются упущения в оформлении; на дополнительные вопросы при защите даны неполные ответы.

«**Удовлетворительно**» ставится, если имеются существенные отступления от требований к реферированию. В частности: тема освещена лишь частично; допущены фактические ошибки в содержании реферата или при ответе на дополнительные вопросы; во время защиты отсутствует вывод.

«**Неудовлетворительно**» ставится, если тема реферата не раскрыта, обнаруживается существенное непонимание проблемы.

### Вопросы к зачету:

1. Распространение простой волны. Эффект нелинейности.
2. Линейные волны: основные понятия и характеристики, классификация волн.
3. Диссипативные и диспергирующие волны.
4. Качественные методы исследования нелинейных динамических систем. Фазовое пространство, фазовые траектории и особые точки.

5. Диссипативные солитоны. Уравнение Бюргера.
6. Диспергирующие волны. Уравнение Кортевега-де-Фриза.
7. Метод обратной задачи рассеяния. Свойство одномерного уравнения Шредингера. Полиномиальные законы сохранения. Преобразование Миуры. Эволюция данных рассеяния. Уравнение Гельфанда-Левитана-Марченко. Одно – двух – и многосолитонные решения. Особенности взаимодействия солитонов.
8. Уравнение  $\sin$ -Гордона. Физические ситуации, описываемые уравнением  $\sin$ -Гордона. Стационарные решения. Двухканальные уравнения Шредингера.
9. Преобразование и автопреобразование Бэклунда. Теорема перестановочности. Диаграмма и пирамида Лэмба: построение многосолитонных решений на примере уравнения  $\sin$ -Гордона.
10. Нелинейное уравнение Шредингера. Стационарные решения. Многоамплитудные двухпараметрические солитоны бийонного типа уравнения  $\sin$ -Гордона. Анзац Лэмба. Резонанс Захарова-Бени.
11. Прямой метод нахождения многосолитонных решений (Метод Хироты). Билинейные уравнения. Дифференциальные операторы Хироты. Нахождение многосолитонных решений на примере уравнения Кортевега-де-Фриза.
12. Солитоны в магнетизме. Модель непрерывной спиновой цепочки Гейзенберга. Топологические солитоны. Кинки и Бризеры. Взаимодействие спиновых волн с доменной границей. Распространение слаболинейных волн вектора намагниченности в ферро – и антиферромагнетиках.

## **5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

#### **Основная литература:**

1. Карлов Н.В., Кириченко Н.А. Колебания, волны, структуры. М.: Физматлит, 2001, 496с.
2. Полянин А.Д., Зайцев В.Ф., Журов А.И. Методы решения нелинейных уравнений математической физики и механики : учеб. пособие для вузов.- М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005.- 256 с.
3. Скотт Э. Нелинейная наука: рождение и развитие когерентных структур. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 560 с.

#### **Дополнительная литература:**

1. Додд Р., Эйлбек Дж., Гиббон Дж., Моррис Х. Солитоны и нелинейные волновые уравнения. М.: Мир, 1988.- 694с.
2. Бхатнагар П. Нелинейные волны в одномерных дисперсных системах. М.: Мир, 1983.- 136с.
3. Солитоны. Под редакцией Буллафа Р., Кодри Ф. М.: Мир, 1983.- 408с.
4. Вахитов Р.М. Прямые методы нахождения частотных решений нелинейных эволюционных уравнений. Уфа: РИЦ БашГУ, 2011.- 42 с.
5. Косевич А.М., Ковалев А.С. Введение в нелинейную физическую механику. Киев: Наукова думка, 1989.- 304с.

6. Инфельд Э., Роуландс Дж. Нелинейные волны, солитоны и хаос. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 480с.
7. Рыскин Н.М., Трубецков Д.И. Нелинейные волны. М.: Наука. Физматлит, 2000. -272 с.

**5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины**

1. <http://www.nature.ru>
2. <http://eqworld.ipmnet.ru/indexr.htm>
3. <http://fim.samara.ws/section>
4. <http://www.elmagn.chamers.se/~igor/>
5. <http://www.n-t.org/nl/>

**6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплин**

<i>Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий</i>	<i>Вид занятий</i>	<i>Наименование оборудования, программного обеспечения</i>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<i>Аудитория 224</i>	<i>Лекции</i>	<i>Доска, мел.</i>
<i>учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа: аудитории № 224 (физмат корпус)</i>	<i>Практические занятия</i>	<i>Доска, мел, сборники задач, калькулятор</i>
<i>Читальный зал №1 (главный корпус, 1 этаж)</i>	<i>Самостоятельная работа</i>	<i>Научный и учебный фонд, научная периодика, ПК (моноблок) - 3 шт, Wi-Fi доступ для мобильных устройств, неограниченный доступ к ЭБС и БД; количество посадочных мест – 76.</i>
<i>Читальный зал №2 (корпус физмата, 2 этаж)</i>	<i>Самостоятельная работа</i>	<i>Научный и учебный фонд, научная периодика, Wi-Fi доступ для мобильных устройств, неограниченный доступ к ЭБС и БД; количество посадочных мест – 50.</i>

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

дисциплины Нелинейные волны на 1 семестр  
(наименование дисциплины)

очная  
форма обучения

<b>Вид работы</b>	<b>Объем дисциплины</b>
Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов)	4/144
Учебных часов на контактную работу с преподавателем:	
лекций	18
практических/ семинарских	
лабораторных	
других (групповая, индивидуальная консультация и иные виды учебной деятельности, предусматривающие работу обучающихся с преподавателем) (ФКР)	1,2
Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СР)	69,8
Учебных часов на подготовку к экзамену/зачету/дифференцированному зачету (Контроль)	27

Форма контроля:  
Экзамен 1 семестр

## Лекционный курс

Табл. 3

№№ п. п.	Тема и содержание	Форма изучения материалов (лекции, практические занятия, семинарские занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа)	Кол-во часов	Основная и дополнительная литература (с указанием номеров глав и параграфов), рекомендуемая студентам	Задания по самостоятельной работе студентов с указанием литературы, номеров задач с указанием литературы, номеров задач	Кол-во часов	Формы контроля самостоятельной работы студентов (коллоквиумы, контрольные работы, компьютерные тесты и т.п.)
1	2	3	4	5	6	7	8
1	История открытия солитона. Основные понятия и характеристики волны. Общий метод решения уравнений, описывающих линейные волны. Дисперсионное соотношение. Классификация волн. Диссипативные и диспергирующие среды. Эволюция простой волны. Эффект нелинейности: укручение и опрокидывание волны.	ЛК	2	2. 7.1; 3. 7.1-7.4; 7. 1.1-1.7; 10. 1.1;	1. Решить задачу о наложении двух близких по частоте и длине волны гармонических волн одинаковой амплитуды. 7. 1.4 2. Получить общее решение уравнения теплопроводности. 5.1.5, 7.1.7.	5	Собеседование
2	Качественные методы исследования нелинейных динамических систем. Фазовое пространство. Фазовые траектории. Фазовый портрет. Особые точки.	ЛК	1	1. гл. IV, 4.1-4.3; 2. 1.3, 1.4 (а,б) 6. 1.1, 1.2; 11. гл. I, §1, §2	1. Изучить качественными методами движение ангармонического осциллятора Дюффинга. 6. 1.3 2. Построить фазовый портрет для простейших динамических систем.	5	Собеседование
3	Диссипативные солитоны. Уравнение Бюргерса. Стационарные решения. Ударные волны. Преобразование Хопфа-Коула.	ЛК	1	1. 13.1, - 13.4; 2. 7.2; 3. 1.3, 5.1-5.7, 8.1; 5. 1.7, 1.8;	Исследовать (численно и аналитически) расплывание ограниченного в	5	Прием и проверка рефератов, выступление на семинаре.



	Общее решение уравнения Бюргерса. Интегралы движения.			7. 2.3-2.5; 11. гл.8 §1, §2	пространстве возмущения в среде, описываемой уравнением Бюргерса. 5. 1.7, 1.8		
4	Диспергирующие волны. Уравнение Кортевега-де Фриза. Стационарные решения. Кноидальные волны. Уединенная волна (динамический солитон).	ЛК	1	1. 13.3, 13.4; 2. 7.2; 3. 8.1;	1. Повторить основные свойства эллиптических функций. 2. ; 15. гл.16 2. Получить все стационарные решения уравнения КдФ. 7. 2.4, 2.5	5	Собеседование
5	Метод интегрирования нелинейных эволюционных уравнений с помощью метода обратной задачи рассеяния (на примере уравнения Кортевега- де Фриза). « $\hat{L} - \hat{A}$ » пара Лакса. Свойства одномерного уравнения Шредингера. Данные рассеяния. Уравнение Рикатти (преобразование Миуры). Полиномиальные законы сохранения. Эволюция параметров рассеяния. Уравнение Гельфанда-Левитана-Марченко и соотношение между его решением и потенциалом. Обратная задача рассеяния. Одно-, двух- и многосолитонные решения. Особенности взаимодействия солитонов. Законы сохранения и интегрируемость задачи. Гамильтонов формализм, переменные «действие-угол» в терминах данных рассеяния.	ЛК	3	1. 13.5, П.2; 2. 7.2 (г)-7.2 (е). 7.3, 7.4, 7.6(a), 7.6(б); 3. 10.1-10.5; 5. 2.1, 2.3-2.5, 3.2, 3.3; 6. гл. 9. 1-4; 7. 3.1-3.7; 8. 6.1-6.9, 7.1-7.10, 11.1; 10. 1.1-1.4, 1.6;	1.Повторить свойства гипергеометрической функции. 15. гл.15 2.Написать программу и получить трехмерный график, описывающий взаимодействие двух солитонов в рамках уравнения КдФ. 3.Изучить вклад непрерывной части спектра в решение уравнения КдФ. 4.Получить асимптотику двухсолитонного решения уравнения КдФ.	5	Прием и проверка рефератов. Выступление на семинарских занятиях Собеседование.
6	Уравнение sin-Гордона. Физические задачи, в которых возникает уравнение sin-Гордона. Стационарные решения. Метод обратной задачи рассеяния. Обобщенная u, v- пара для уравнения sin-Гордона. Двухканальное уравнение Шредингера. Эволюция параметров рассеяния.	ЛК	2	1. П. 2.4; 2. 7.5(б); 3. 8.5; 5. 1.5. 1.10; 6. гл. 4.1, гл.6.4	1.Вывести двухканальное уравнение Шредингера из уравнения sin-Гордона. 5. 1.5 2.Получить все решения двойного и тройного sin-Гордона для стационарного случая.	5	Прием и проверка рефератов. Выступление на семинарских занятиях.

7	Преобразование Бэклунда. Автопреобразование Бэклунда (на примере уравнения $\sin$ -Гордона). Соотношение перестановочности. Диаграмма и пирамида Лэмба. Одно и двухсолитонные решения. Взаимодействие кинка с антикинком. Построение $N$ -солитонных решений. Автопреобразование Бэклунда для других нелинейных эволюционных уравнений. МОЗР, как преобразование Бэклунда.	ЛК	2	3. 10.7; 5. 1.5, 3.1; 6. гл. 8.3; 8. 1.3, 4.5; 10. 4.3.1	1.Получить посредством автопреобразований Бэклунда для уравнений КдФ и Буссинеска теорему перестановочности, а также одно- и двухсолитонные решения .16. § 2. 2.Найти полиномиальные законы сохранения уравнения $\sin$ -Гордона с помощью преобразования Бэклунда. 16. § 2, зад. 2.	5	Прием и проверка рефератов. Выступление на семинарских занятиях.
8	Нелинейное уравнение Шредингера и его физические приложения. Стационарные решения. Двухпараметрические солитоны бийонного типа. Мало-амплитудные двухпараметрические солитоны уравнения $\sin$ -Гордона. Анзац Лэмба. Эволюция данных рассеяния и применение МОЗР Захарова-Шабата к нелинейному уравнению Шредингера. Резонанс Захарова-Бенни.	ЛК	2	2. 7.5(в), 7.6(в); 3. 11.3, 11.5; 5. 1.6, 8.2; 6. гл. 4.3, гл. 5.5, гл. 6.2, гл.7.2, гл.9.5	1.Построить трехмерный график двухсолитонного решения нелинейного уравнения Шредингера. 2. Получить с помощью анзаца Лэмба точные решения уравнения $\sin$ -Гордона бийонного типа.	5	Прием и проверка рефератов. Выступление на семинарских занятиях.
9	Метод Хироты для нахождения солитонных решений (на примере уравнения КдФ). Основная идея метода. Замена полевых переменных и приведение уравнения к билинейной форме. Аппроксимация Паде. Формальная теория возмущений. Дифференциальные операторы Хироты и их свойства. Методика нахождения многосолитонных решений.	ЛК	2	3. 10.6; 6. гл. 8.4; 8. 5.1-5.5, 3.2 10. 3.3	1.Получить методом Хироты одно- и двухсолитонные решения уравнений $\sin$ -Гордона, мКдФ, Буссинеска, Шредингера. 16. § 1, зад. 2,4. 2.Графически описать лобовое столкновение кинка с антикинком.	5	Прием и проверка рефератов. Выступление на семинарских занятиях.
10	Магнетизм и солитоны. Изотропный ферромагнетик Гейзенберга. Вихреподобные решения. Модель непрерывной спиновой цепочки Гейзенберга. Топологические солитоны. Кинки и бризеры. Распространение слабонелинейных волн вектора намагниченности в ферро- и антиферромагнетиках. Резонанс Захарова-Бени.	ЛК	2	5. 7.7; 12.	1. Получить возможные типы нелинейных магнитоупругих волн произвольной амплитуды для некоторых видов плоскостных ферромагнетиков. 2. Аналитически описать	5	Прием и проверка рефератов. Выступление на семинарских занятиях.

					взаимодействие спиновых волн с доменной границей.		
	<b>ИТОГО: лекций</b>		<b>18</b>			<b>50</b>	

## Практический курс

Табл. 4

№ п. п.	Тема и содержание	Форма изучения материалов (лекции, практические занятия, семинарские занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа)	Кол-во часов	Основная и дополнительная литература (с указанием номеров глав и параграфов), рекомендуемая студентам	Задания по самостоятельной работе студентов с указанием литературы, номеров задач с указанием литературы, номеров задач	Кол-во часов	Формы контроля самостоятельной работы студентов (коллоквиумы, контрольные работы, компьютерные тесты и т.п.)
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Методы решения дифференциальных уравнений (уравнения теплопроводности, волновое уравнение).	ПР	4	1. 1.7. 2. 1.5;		5	Собеседование
2.	Стационарные решения уравнения Кортевега – де Фриза, $\sin$ -Гордона и двойной $\sin$ -Гордона.	ПР	6	2. 2.3, 2.4		5	Собеседование
3.	Двухсолитонное решение уравнения Кортевега – де Фриза (метод обратной задачи рассеяния)	ПР	6	2. 3.6	презентация	3	собеседование
4.	Нахождение одно- и двухсолитонных Кортевега – де Фриза и $\sin$ -Гордона с помощью преобразования Бэклунда. Теорема перестановочности.	ПР	6	3. 1.3, 4.5 4. §2	Решить задачи из [4] §2	3	Проверка решения задач
5.	Прямые методы нахождения многосолитонных решений нелинейных эволюционных уравнений (Цепочка Тоды, нелинейное уравнение Шредингера, модифицированные уравнения Кортевега – де Фриза более высокого порядка).	ПР	6	3. 3.2, 5.1 -5.5 4. §1	Решить задачи из [4] §1, 1-5	3	Проверка решения задач
<b>Итого практических занятий</b>			<b>28</b>			<b>19</b>	

