

**Белорусский государственный университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе

Белорусского государственного университета

А.Л. Толстик

(подпись)

08.06.2017

(дата утверждения)

Регистрационный № УД-4354 /уч.

**ФИЗИКА ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ**

**Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальностей:**

**1-31 80 05 – Физика;**

**1-31 81 01 - Физика конденсированного состояния;**

**1-31 81 02 – Фотоника;**

**1-31 81 03 Функциональные наноматериалы;**

**1-31 81 04 Современные методы и аппаратура физических измерений**

Минск 2017 г.

Учебная программа составлена на основе Образовательных стандартов ОСВО 1-31 80 05-2012, ОСВО 1-31 81 01-2012, ОСВО 1-31 81 02-2012, ОСВО 1-31 81 03-2012, ОСВО 1-31 81 04-2012, утвержденных и введенных в действие постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 24.08.2012 № 108; учебных планов №G31-238/уч., №G31-239/уч., №G31-240/уч., №G31-241/уч., №G31-242/уч., утвержденных 26.05.2017.

### **СОСТАВИТЕЛИ:**

**А.В. Леонов** – доцент кафедры теоретической физики и астрофизики Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент;

**В.В. Жилко** – доцент кафедры теоретической физики и астрофизики Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

### **РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

**Ю.А. Курочкин** – заведующий лабораторией теоретической физики Государственного научного учреждения «Институт физики имени Б.И. Степанова Национальной академии наук Беларусь», доктор физико-математических наук, доцент.

**В.В. Углов** – заведующий кафедрой физики твердого тела физического факультета Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор.

### **РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ**

Кафедрой теоретической физики и астрофизики Белорусского государственного университета (протокол № 8 от 02.05.2017 г.);

Советом физического факультета Белорусского государственного университета (протокол № 11 от 08.06.2017 г.);

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Целью учебной дисциплины является рассмотрение общих закономерностей и методов исследования колебательных и волновых процессов, широко распространенных в различных областях современной науки (физике, химии, биологии, общественных отношениях). При освоении курса студенты должны получить более глубокое представление о единстве физической картины мира и установить внутренние связи между весьма разнородными, на первый взгляд, явлениями.

Задачи учебной дисциплины состоят в демонстрации эффективности общих принципов и методов теории колебаний, являющихся неотъемлемой частью общефизического образования; описании основных математических моделей, иллюстрирующих поведение волн, и сопоставлении этих моделей с реальными физическими явлениями; изучении продвинутых методов математической и теоретической физики при исследовании нелинейных волновых задач.

Математической и методической базой курса являются все разделы цикла дисциплин высшей математики и теоретической физики, изученные студентами на предыдущих курсах, и, прежде всего, такие разделы, как «Дифференциальные и интегральные уравнения» и «Методы математической физики».

В результате изучения учебной дисциплины «Физика волновых процессов» студент должен:

- **знать:** основные положения теории колебаний и волн, универсальные методы исследования колебательных и волновых процессов;
- **уметь:** применять их к анализу колебательных и волновых явлений различной природы;
- **владеть** навыками аналитического и численного исследования уравнений движения в фазовом пространстве и построения фазового портрета колебательной системы, методикой получения стационарных волновых решений и использования метода обратной задачи рассеяния для аналитического решения нелинейных волновых задач

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Академические компетенции:

- Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.
- Владеть системным и сравнительным анализом.
- Владеть исследовательскими навыками.
- Уметь работать самостоятельно.
- Быть способным порождать новые идеи (обладать креативностью).
- Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.
- Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.
- Обладать навыками устной и письменной коммуникации.

- Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

Социально-личностные компетенции:

- Обладать качествами гражданственности.
- Быть способным к социальному взаимодействию.
- Обладать способностью к межличностным коммуникациям.
- Владеть навыками здорового образа жизни.
- Быть способным к критике и самокритике (критическое мышление).
- Уметь работать в команде.

Профессиональные компетенции:

- Применять знания теоретических и экспериментальных основ физики и математики, современных технологий и материалов, наноматериалов и нанотехнологий, методы исследования физических объектов, методы измерения физических величин, методы автоматизации эксперимента, методов планирования, организации и ведения научно-производственной, научно-педагогической, производственно-технической, опытно-конструкторской работы.
- Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационные образовательные технологии, физические основы современных технологических процессов, научное оборудование и аппаратуру.
- Проводить планирование и реализацию физического эксперимента, оценивать функциональные возможности сложного физического оборудования.
- Пользоваться глобальными информационными ресурсами, компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, системами автоматизированного программирования, научно-технической и патентной литературой.
- Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования, планирования, организации и ведения научно-исследовательской, научно-производственной и научно-педагогической работы.
- Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационно-образовательные технологии, физические основы современных технологических процессов.
- Оценивать конкурентоспособность и экономическую эффективность разрабатываемого программного обеспечения.
- Разрабатывать новые технологии и осуществлять оценку проектных и технологических решений с учетом принципов рационального природопользования и конъюнктуры рынка.
- Осуществлять на основе методов математического моделирования оценку эксплуатационных параметров оборудования и технологических процессов, эффективности разрабатываемых технологий.
- Реализовывать методы защиты производственного персонала и населения в условиях возникновения аварий, катастроф, стихийных бедствий.

вий и обеспечения безопасности при осуществлении научной, производственной и педагогической деятельности.

- Владеть знаниями о структурной организации материи, о современных физических методах познания природы.
- Использовать концептуальные положения педагогики и методики преподавания физики и информатики, методики воспитательной работы, технические средства обучения.
- Применять психолого-педагогические знания, эффективные формы и методы обучения, новые технологии обучения.
- Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиям, проектам и решениям.
- Определять цели инноваций и способы их достижения.
- Применять знания физических основ современных технологий, средств автоматизации, методов планирования и организации производства, методы анализа и организации внедрения инноваций в научно-производственной, научно-педагогической и научно-технической деятельности, правового обеспечения хозяйственной деятельности и налоговой системы, современного предпринимательства, государственного регулирования экономики и экономической политики.
- Пользоваться государственными языками Республики Беларусь и иными иностранными языками как средством делового общения.

Общее количество часов, отводимое на изучение учебной дисциплины — 150, из них количество аудиторных часов — 40.

Форма получения высшего образования — очная, дневная.

Аудиторные занятия проводятся в виде лекций и УСР. На лекции отводится 30 часов, на УСР — 10 часов.

Формы текущей аттестации по учебной дисциплине — экзамен.

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### **1. Простейшие колебательные системы.**

Введение, примеры простейших колебательных систем. Основные характеристики колебательного движения. Гармонический осциллятор. Свободные и вынужденные колебания. Колебания при наличии трения. Амплитудно-частотная характеристика. Резонанс. Связанные осцилляторы. Сложение колебаний.

### **2. Основные понятия теории колебаний.**

Фазовое пространство, фазовая точка, фазовая траектория. Динамические системы (ДС) и их классификация. ДС 1-ого и 2-ого порядка. Автономные ДС. Особые точки ДС. Устойчивость состояния равновесия ДС. Гамильтоновские системы. Фазовый портрет.

### **3. Линейные системы общего типа.**

Общая характеристика линейных ДС. Классификация особых точек линейных ДС 2-ого порядка. Диаграмма зависимости типа особой точки от параметров линейной системы.

### **4. Нелинейные системы.**

Топологическая эквивалентность линейных и нелинейных систем. Исследование фазовой плоскости вблизи состояния равновесия. Индексы Пуанкаре, существование особых точек на фазовой плоскости. Диссипативные системы. Предельные циклы, автоколебания. Системы без замкнутых траекторий.

### **5. Основы теории катастроф.**

Бифуркации. Элементы негрубой природы. Сложные состояния равновесия. Бифуркации в нелинейных ДС 1-ого порядка. Бифуркационная диаграмма. Примеры простейших бифуркаций.

### **6. Количественное рассмотрение колебательных систем.**

Линейная система с отталкивающей силой. Движение тяжелой точки по окружности, вращающейся вокруг вертикальной оси. Ламповый генератор в случае ступенчатой вольт-амперной характеристики. Осциллятор Ван-дер-Поля.

### **7. Основные понятия физики волновых процессов.**

Понятие волны. Линейные и нелинейные волны. Гиперболические волны. Принцип суперпозиций. Волновое уравнение и его факторизация. Диспергирующие волны. Групповая и фазовая скорость волны. Физическая природа дисперсии. Уравнения звуковых и электромагнитных волн.

### **8. Нелинейные волны.**

Квазилинейные волновые уравнения. Метод характеристик и примеры его применения. Волны Римана. Укручение и опрокидывание волн. Уравнение Бюргерса, замена Хопфа-Коула. Стационарные волны. Ударная волна. Понятие о солитоне.

### **9. Специальные методы теории волн**

Переход "дискретность-непрерывность" и проблема Ферми-Паста-Улама. Метод обратной задачи рассеяния в теории солитонов. Операторная пара Лакса. Интегрирование уравнения Кортевега-де Фриза. Безотражательные потенциалы. Солитонные решения. Интегрируемость нелинейных волновых задач и законы сохранения.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов						Литература	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное	Количество часов УСР		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Простейшие колебательные системы	2					2	[2], [3]	Тесты
2	Основные понятия теории колебаний	2						[1], [2], [3]	
3	Линейные системы общего типа	2					2	[1]	Тесты
4	Нелинейные системы	4						[1], [3]	
5	Основы теории катастроф	2						[1], [3]	
6	Количественное рассмотрение колебательных систем	4					2	[1]	Коллоквиум
7	Основные понятия физики волновых процессов	4					2	[3], [4]	Рефераты
8	Нелинейные волны	6						[3], [5]	
9	Специальные методы теории волн	4					2	[3], [5]	Коллоквиум
	<b>Всего</b>	30					10		Экзамен

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### **Перечень основной литературы**

1. Андронов, А.А. Теория колебаний / А.А. Андронов, А.А. Витт, С.Э. Хайкин. – М.: Наука, 1981. – 568 с.
2. Мандельштам, Л.И. Лекции по теории колебаний / Л.И. Мандельштам. – М.: Наука, 1972. – 384 с.
3. Карлов, Н.В. Колебания, волны, структуры / Н.В. Карлов, Н.А. Кириченко. – М.: Физмат, 2003. – 496 с.
4. Уизем, Дж. Линейные и нелинейные волны / Дж. Уизем. – М.: Мир, 1977. – 622 с.
5. Заславский, Г.М. Введение в нелинейную физику / Г.М. Заславский, Р.Э. Сагдеев. – М.: Наука, 1988. – 368 с.

### **Перечень дополнительной литературы**

1. Мигулин, В.В. Основы теории колебаний / В.В. Мигулин, В.И. Медведев, Е.Р. Мустель, В.Н. Парыгин. – М.: Наука, 1988. – 392 с.
2. Виноградова, М.Б. Теория волн / М.Б. Виноградова, О.В. Руденко, А.П. Сухоруков. – М.: Наука, 1979. – 384 с.
3. Рабинович, М.И. Введение в теорию колебаний и волн / Рабинович М.И., Трубецков Я.И. – М.: Наука, 1984. – 432 с.
4. Пейн, Г. Физика колебаний и волн / Г. Пейн. – М.: Мир, 1979. – 389 с.
5. Ньюэлл, А. Солитоны в математике и физике / А. Ньюэлл. – М: Мир, 1989. – 326 с.

### **Перечень используемых средств диагностики результатов учебной деятельности**

1. Коллоквиумы.
2. Тестовые задания.
3. Реферативные работы

### **Мероприятия для контроля управляемой самостоятельной работой**

Для контроля УСР используются коллоквиумы, которые проводятся в письменной форме, и тестовые задания, размещенные на образовательном онлайн-ресурсе БГУ.

Письменная работа №1 проводится в форме решения задачи, письменная работа №2 – в форме ответа на теоретические вопросы.

## *Варианты проведения коллоквиумов*

**Коллоквиум № 1.** Количественное исследование нелинейной колебательной системы.

Примерный перечень вопросов: дана нелинейная динамическая система второго порядка (механическая или электрическая). Необходимо построить для нее уравнение движения, найти положение особых точек и определить их тип, нарисовать фазовый портрет динамической системы.

**Коллоквиум № 2.** Линейные и нелинейные волны.

Примерный перечень вопросов:

- 1) Определение волны, общий вид уравнения, описывающего волновой процесс произвольной природы.
- 2) Каноническое волновое уравнение и его факторизация.
- 3) Линейные и нелинейные волны. Принцип суперпозиции волн.
- 4) Гиперболические и диспергирующие волны.
- 5) Определение и физический смысл фазовой и групповой скорости.
- 6) Определение и основные типы дисперсии волн.
- 7) Модель Друде-Лоренца.
- 8) Простейшее обобщение факторизованного волнового уравнения.
- 9) Волна Римана (простая волна)
- 10) Укручение и опрокидывание волны.
- 11) Уравнение Бюргерса, замена Хопфа-Коула
- 12) Уравнение Кортевега-де Фриза.
- 13) Уравнение Клейна-Гордона и  $\sin$ -Гордона.
- 14) Стационарные волны.
- 15) Обратная задача рассеяния в теории волновых процессов.
- 16) Уравнение Гельфанд-Левитана-Марченко.
- 17) Безотражательные потенциалы. N-солитонное решение.
- 18) Интегрируемость дифференциального уравнения.
- 19) Проблема Ферми-Паста-Улама.
- 20) Метод Уизема.

### *Темы реферативных работ*

- 1.** Фазовые портреты динамических систем.
- 2.** Предельные циклы и автоколебания.
- 3.** Бифуркации в физике.
- 4.** Уравнение Ван-дер-Поля.
- 5.** Нелинейный резонанс в динамических системах.
- 6.** Теория КАМ.
- 7.** Классификация волн по Уизему.
- 8.** Линейные волны в сложных средах.
- 9.** Укручение и опрокидывание нелинейных волн.
- 10.** Примеры стационарных решений нелинейных уравнений.

- 11.** Волны в слабо неоднородных и медленно нестационарных средах.
- 12.** Резонансное взаимодействие волн и параметрический резонанс.
- 13.** Дискретные и непрерывные нелинейные уравнения.
- 14.** Метод обратной задачи рассеяния.
- 15.** Примеры самоорганизации в естествознании.

### **Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы студентов**

Основой методики организации самостоятельной работы студентов по курсу является предоставление студентам необходимой для работы информации, а также обеспечение регулярных консультаций преподавателя и периодичной отчетности по различным видам учебной и самостоятельной деятельности.

В открытом доступе для студентов размещается следующая информация:

- программа курса с указанием основной и дополнительной литературы;
- учебно-методические материалы;
- график консультаций преподавателя;
- вопросы для проведения экзамена;
- сроки проведения контрольных мероприятий по различным видам учебной деятельности;
- для дополнительного развития творческих способностей одаренных студентов организуются:
  - студенческие научно-практические конференции, конкурсы;
  - студенческие олимпиады.

### **Рекомендации по контролю качества усвоения знаний и проведению аттестации**

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать тестовые задания по разделам дисциплины, коллоквиумы и рефераты. Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольные мероприятия, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно.

Коллоквиумы проводятся в письменной форме, на выполнение каждого коллоквиума отводится 45 мин. Коллоквиум №1 проводится в форме решения (исследования) задачи, состоящей из нескольких блоков. По согласованию с преподавателем разрешается использовать справочные, научные и учебные печатные издания. Каждый блок в соответствии с его сложно-

стью оценивается от 1 до 3 баллов (максимальная сумма баллов за все блоки в коллоквиуме равна 10). Количество баллов за каждый блок выставляется в зависимости от правильности и полноты его решения. Нерешенный или решённый полностью неправильно блок оценивается в 0 баллов. Оценка за коллоквиум рассчитывается как сумма баллов, полученных за каждый блок задачи. Коллоквиум №2 проводится в форме ответа на два теоретических вопроса. При этом использование справочных, научных и учебных печатных изданий не разрешается. Каждый ответ оценивается в 5 баллов (максимальная сумма баллов за оба вопроса равна 10). Количество баллов за ответ на теоретический вопрос выставляется в зависимости от правильности и полноты его изложения. Отсутствие ответа, а также полностью неправильный ответ на теоретический вопрос оценивается в 0 баллов. Оценка за коллоквиум рассчитывается как сумма баллов, полученных за ответ на каждый теоретический вопрос.

Защита реферативных работ проводится в форме индивидуальных выступлений-презентаций с последующей дискуссией. Оценка рефераторов проводится по десятибалльной шкале.

Оценка текущей успеваемости рассчитывается как среднее оценок за коллоквиумы, тестовые задания и реферат. При оценке текущей успеваемости 4 балла и более студенты допускаются к экзамену. При оценке ниже 4 баллов решением кафедры студенты не допускаются к экзамену, и им назначается срок выполнения контрольных мероприятий.

Итоговая аттестация по учебной дисциплине проводится в форме экзамена. Экзаменационная оценка и оценка текущей успеваемости служат для определения рейтинговой оценки по дисциплине, которая рассчитывается как средневзвешенная оценка текущей успеваемости и экзаменационной оценки. Весовой коэффициент для оценки текущей успеваемости — 0,3; для экзаменационной оценки — 0,7.

**ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ  
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ  
С ДРУГИМИ ДИСЦИПЛИНАМИ СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Теоретическая механика	Кафедра теоретической физики и астрофизики	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол №10 от 23.05.2016)
Электродинамика	Кафедра теоретической физики и астрофизики	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол №10 от 23.05.2016)
Дифференциальные и интегральные уравнения	Кафедра высшей математики и математической физики	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол №10 от 23.05.2016)
Методы математической физики	Кафедра высшей математики и математической физики	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол №10 от 23.05.2016)

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ  
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**  
на 2018/2019 учебный год

№№ пп	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры  
теоретической физики астрофизики  
(протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2018 г.)

Заведующий кафедрой  
теоретической физики и астрофизики  
д.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_ А.Н. Фурс

УТВЕРЖДАЮ  
Декан физического факультета  
д.ф.-м.н., профессор

\_\_\_\_\_ В.М. Анищик