

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
теоретической физики

(Фролов М.В.)

02.07.2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

*Б1.В.01 – Теоретическая механика*

*Код и наименование дисциплины в соответствии с Учебным планом*

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

*14.03.02 Ядерная физика и технологии*

2. Профиль подготовки/специализация:

*" Физика атомного ядра и частиц "*

3. Квалификация (степень) выпускника: *бакалавр*

4. Форма обучения: *очная*

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: *0802 – теоретической физики*

6. Составители программы: *Каменский Александр Анатольевич*

*ФИО*

*к.ф.-м.н.*

*–*

*ученая степень*

*ученое звание*

*san40@bk.ru*

*физический*

*e-mail*

*факультет*

*теоретической физики*

*кафедра*

7. Рекомендована: *НМС физического факультета от 27.06.2018 г., протокол № 6*

*(наименование recommending структуры, дата, номер протокола,*

*отметки о продлении вносятся вручную)*

8. Учебный год: *2019-2020*

Семестр(-ы): *4*

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целью курса является формирование представлений о лагранжевом и гамильтоновом формализмах классической механики с приложениями к решению типовых задач.

Задачи дисциплины: овладение фундаментальными понятиями, физическими моделями и методами теоретической механики, а также получение представлений о подходах к постановке и решению конкретных, с учётом особенностей специализации, физических задач.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** Входит в модуль "Вариативная часть" Б1.В. Студенты должны обладать знаниями дисциплин «Математический анализ», «Линейная алгебра», «Дифференциальные уравнения».

**11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников):**

Компетенция		Планируемые результаты обучения
Код	Название	
ОК-1	владеть культурой мышления, способен к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения;	<p>знать: основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования;</p> <p>уметь: выделить конкретное «теоретико-физическое» содержание в прикладных задачах будущей специализации, проводить анализ полученных теоретических результатов, ставить и решать конкретные, с учётом особенностей специализации, задачи механики;</p> <p>владеть (иметь навык(и)): методами классической механики, основанными на законах сохранения, изменения и преобразования физических величин, задаче двух частиц и теории малых колебаний - в формализмах Лагранжа и Гамильтона с приложениями к решению типовых задач.</p>
ОК-2	уметь логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь;	
ОПК-1	способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования;	
ПК-3	готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов.	

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах (в соответствии с учебным планом) — 3 / 108.**

**Форма промежуточной аттестации (зачет/экзамен) – экзамен.**

**13. Виды учебной работы:**

Вид учебной работы	Трудоемкость (часы)			
	Всего	По семестрам		
		4 сем.		
Аудиторные занятия	28	28		
в том числе: лекции	14	14		

практические	14	14		
контроль	36	36		
Самостоятельная работа	44	44		
Форма промежуточной аттестации	экзамен	экзамен		
Итого:	108	108		

### 13.1. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1	Основные понятия классической механики и Законы Ньютона.	Предмет и основные задачи курса. Кинематические и динамические характеристики движения. Первый, второй, третий законы Ньютона. Виды сил в механике. Работа в механике. Кинетическая и потенциальная энергии.
2	Системы со связями. Уравнения Лагранжа 1-го рода.	Понятие связи. Реакции связи. Идеальные связи. Уравнения Лагранжа 1-го рода. Пример (движение частицы на плоскости). Системы материальных точек.
3	Общее уравнение механики. Уравнения Лагранжа в независимых координатах и принцип наименьшего действия.	Общее уравнение механики (принцип Д'Аламбера -Лагранжа). Обобщённые координаты. Пример (переход к криволинейным координатам). Принцип виртуальных перемещений. Общее уравнение механики в обобщённых координатах. Уравнения Лагранжа. Действие. Принцип наименьшего действия. Вывод уравнений Лагранжа из принципа наименьшего действия. Функция Лагранжа. Свойства функции Лагранжа. Функция Лагранжа свободной частицы. Функция Лагранжа и принцип относительности Галилея.
4	Законы сохранения и преобразования механических величин.	Функция Лагранжа системы частиц. Интегралы движения. Понятие энергии. Закон сохранения энергии и однородность времени. Понятие импульса. Закон сохранения импульса и однородность пространства. Момент импульса. Закон сохранения момента импульса и изотропия пространства. Законы преобразования при переходе от одной инерциальной системы отсчёта к другой (импульс, энергия, функция Лагранжа, действие, момент импульса). Теорема о вириале. Одномерное движение. Точки останова. Одномерное финитное движение.
5	Задача двух частиц. Движение в центральном поле и задача Кеплера.	Задача двух частиц. Центральное поле. Сохранение момента импульса частицы в центральном поле. Функция Лагранжа частицы в центральном поле. Сохранение момента импульса и второй закон Кеплера. Решение задачи о движении частицы в центральном поле. "Падение" на центр. Постановка задачи Кеплера. Функция Лагранжа. Закон движения. Уравнение траектории в задаче Кеплера.
6	Свободные и вынужденные одномерные колебания.	Малые колебания. Одномерные колебания. Функция Лагранжа осциллятора. Уравнение движения осциллятора и его решение. Энергия осциллятора. Фазовый портрет осциллятора. Действие для осциллятора. Вынужденные колебания. Функция Лагранжа системы. Уравнение движения и его решение. Энергия системы. Частный случай -

		периодическая вынуждающая сила. Резонанс.
7	Затухающие колебания и колебания систем со многими степенями свободы.	Затухающие колебания. Сила трения. Уравнения Лагранжа системы с учётом трения. Гармонический осциллятор с трением. Уравнение движения и его решение. Диссипативная функция. Физический смысл диссипативной функции. Вынужденные колебания с учётом трения. Поглощение энергии. Функция Лагранжа. Уравнения движения. Решение уравнений движения. Собственные частоты системы. Нормальные координаты. Функция Лагранжа в нормальных координатах. Вынужденные колебания системы с несколькими степенями свободы.
8	Уравнения Гамильтона.	Метод Гамильтона. Преобразование Лежандра. Функция Гамильтона и уравнения Гамильтона. Закон сохранения энергии. Циклические координаты. Вывод уравнений Гамильтона из вариационного принципа. Скобки Пуассона.

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)					Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоят. работа	Контроль самостоятельной работы	
1	Основные понятия классической механики и Законы Ньютона.	2	2		6	4	14
2	Системы со связями. Уравнения Лагранжа 1-го рода.	2	2		8	5	17
3	Общее уравнение механики. Уравнения Лагранжа в независимых координатах и принцип наименьшего действия.	2	2		8	5	17
4	Законы сохранения и преобразования механических величин.	2	2		5	4	13
5	Задача двух частиц. Движение в центральном поле и задача Кеплера.	2	2		5	5	14
6	Свободные и вынужденные одномерные колебания.	2	2		5	4	13
7	Затухающие колебания и колебания систем со многими степенями свободы.	1	1		4	5	11
8	Уравнения Гамильтона.	1	1		3	4	9
	Итого:	14	14		44	36	108

### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

(рекомендации обучающимся по освоению дисциплины: работа с конспектами лекций, презентационным материалом, выполнение практических заданий, тестов, заданий текущей аттестации и т.д.)

При освоении лекционного материала обучающимся необходимо понимать связь каждой лекции с предыдущими, ее место и роль в текущей главе; на занятиях рекомендуется задавать уточняющие вопросы преподавателю, домашние задания следует систематически выполнять.

**15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернета, необходимых для освоения дисциплины** (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Ландау Л.Д. Теоретическая физика: в 10 т. Т. I. Механика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. — 5-е изд., стер. — М.: Физматлит, 2007. — 222 с.
2	Сивухин Д. В. Общий курс физики. Учеб. пособие: Для вузов. В 5 т. Т. I. Механика. — 4-е изд., стереот. — М.: ФИЗМАТЛИТ; Изд-во МФТИ, 2014. — 560 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
3	Сборник задач по общему курсу физики. В 5 кн. Кн. I. Механика / Стрелков С. П., Сивухин Д. В., Угаров В. А., Яковлев И. А.; Под ред. И. А. Яковлева. — 5-е изд., стер. — М.: ФИЗМАТЛИТ; ЛАНЬ, 2006.
4	Коткин Г.Л. Лекции по аналитической механике: [учебное пособие] / Г.Л. Коткин, В.Г. Сербо, А.И. Черных.— Н. : Новосибирский гос. Ун-т, 2007.— 188 с.
5	Ольховский И.И. Курс теоретической механики для физиков / И.И. Ольховский. — М.: Изд-во Моск.ун-та, 1974.
6	Ольховский И.И. Задачи по теоретической механике для физиков / И.И. Ольховский, Ю.Г. Павленко, Л.С. Кузьменков. — М.: Изд-во Моск.ун-та, 1977. — 395 с.
7	Павленко Ю.Г. Лекции по теоретической механике / Ю.Г. Павленко. — М.: Изд. Моск. Ун-та, 2002. — 392 с.
8	Гантмахер Ф. Р. Лекции по аналитической механике / Ф. Р. Гантмахер; Под ред. Е. С. Пятницкого. — 3-е изд. — М.: Физматлит, 2001. — 262 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник

\* Вначале указываются ЭБС, с которыми имеются договора у ВГУ, затем открытые электронно-образовательные ресурсы

**16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы** (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных) работ и др.)

№ п/п	Источник
1	Манаков Н.Л. Задачи по теоретической механике. Методические указания к практическим занятиям. / Н.Л.Манаков, А.А.Некипелов, В.Д.Овсянников. // Воронеж. - Издательско-полиграфический центр ВГУ. - 2002. — 104 с.

**17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)**

**18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

(при использовании лабораторного оборудования указывать полный перечень, при большом количестве оборудования можно вынести данный раздел в приложение к рабочей программе)

Лекционная аудитория, аудитории для лабораторных работ, доска (мел, маркеры), электронные средства презентации.

## 19. Фонд оценочных средств:

### 19.1. Перечень компетенций с указанием этапов формирования и планируемых результатов обучения

Код и содержание компетенции (или ее части)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции посредством формирования знаний, умений, навыков)	Этапы формирования компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наименование)	ФОС* (средства оценивания)
ОК-1 Владеть культурой мышления, способен к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения ОК-2 Уметь логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь ОПК-1 Способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования ПК-3 Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов.	<b>Знать:</b> основные положения и методы теоретической механики	Разделы 1-2	Текущая аттестация №1 (собеседование)
	<b>Уметь:</b> выделить конкретное «теоретико-физическое» содержание в прикладных задачах будущей специализации, проводить анализ полученных теоретических результатов, ставить и решать конкретные, с учётом особенностей специализации, задачи механики	Разделы 3-4	Текущая аттестация №2 (собеседование)
	<b>Владеть:</b> методами классической механики, основанными на законах сохранения, изменения и преобразования физических величин, задаче двух частиц и теории малых колебаний - в формализмах Лагранжа и Гамильтона с приложениями к решению типовых задач	Разделы 5-8	Практическое задание
<b>Промежуточная аттестация</b>			КИМ

\* В графе «ФОС» в обязательном порядке перечисляются оценочные средства текущей и промежуточной аттестаций.

### 19.2 Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

*В результате изучения курса студенты должны знать фундаментальные понятия, физические модели, принципы и математические методы формализма классической механики, а также границы их применимости и связь с прикладными науками. Уметь выделить конкретное «теоретико-физическое» содержание в прикладных задачах будущей*

специализации, проводить анализ полученных теоретических результатов, ставить и решать конкретные, с учётом особенностей специализации, задачи механики. Владеть методами классической механики, основанными на законах сохранения, изменения и преобразования физических величин, задаче двух частиц и теории малых колебаний - в формализмах Лагранжа и Гамильтона с приложениями к решению типовых задач.

Критерии оценок:

Отлично – знание и понимание всех уравнений и доказательств теорем курса.

Хорошо – понимание основных формул и определений курса, ответы на поставленные вопросы с мелкими ошибками.

Удовлетворительно – понимание большинства уравнений курса, ответы на поставленные вопросы с подсказками преподавателя.

Неудовлетворительно – непонимание уравнений и теорем курса, неспособность ответить на вопросы, даже используя конспекты.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
<i>Знание и понимание всех уравнений и доказательств теорем курса, безошибочные ответы на вопросы.</i>	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Отлично</i>
<i>Понимание основных формул и определений курса, ответы на поставленные вопросы с мелкими ошибками</i>	<i>Базовый уровень</i>	<i>Хорошо</i>
<i>Понимание большинства уравнений курса, ответы на вопросы КИМа с подсказками преподавателя</i>	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Удовлетворительно</i>
<i>Непонимание уравнений и теорем курса, неспособность ответить на вопросы КИМа, используя конспекты</i>	<i>–</i>	<i>Неудовлетворительно</i>

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

#### **19.3.1 Перечень вопросов к экзамену:**

1. Законы изменения импульса и момента импульса системы материальных точек. Разделение сил на внутренние и внешние. Центр масс.
2. Интегралы движения. Потенциальные силовые поля. Закон сохранения энергии системы.
3. Одномерное движение материальной точки. Точки остановки. Период одномерного финитного движения.
4. Системы со связями. Реакция связи. Уравнение для виртуальных перемещений.
5. Идеальные связи. Уравнение Лагранжа первого рода. Уравнение Даламбера–Лагранжа.
6. Обобщенные координаты, обобщенные скорости, обобщенные силы. Уравнение Лагранжа второго рода: вывод из общих уравнений механики.
7. Законы сохранения в формализме Лагранжа. Их связь со свойствами пространства и времени.
8. Вывод уравнения Лагранжа второго рода из принципа наименьшего действия.
9. Задача двух тел. Использование радиус-вектора центра масс в качестве обобщенной координаты. Приведенная масса.
10. Центральное поле. Интегралы движения в центральном поле. Второй закон Кеплера.
11. Уравнение траектории и закон движения частицы в центральном поле. Угол поворота траектории.
12. Задача Кеплера. Первый и третий законы Кеплера.
13. Кинетическая энергия твердого тела (поступательное и вращательное движение).

14. Тензор инерции твердого тела. Главные моменты инерции. Классификация твердых тел.
15. Момент импульса и уравнения движения твердого тела. Прецессия твердого тела.
16. Свободные одномерные колебания.
17. Малые колебания в случае периодической вынуждающей силы. Закон движения при резонансе.
18. Затухающие колебания и аperiodическое затухание. Закон вынужденных колебаний при наличии трения и гармонической внешней силы.
19. Ангармонические колебания в первом приближении.
20. Функция Гамильтона. Уравнения Гамильтона. Зависимость физической величины от времени. Скобки Пуассона.
21. Уравнение Гамильтона–Якоби и метод разделения переменных.

### 19.3.2 Перечень практических заданий

1. По заданному выражению для силы и начальным условиям найти закон движения материальной точки.
2. По заданной потенциальной энергии и начальному положению материальной точки найти закон одномерного движения.
3. В определенных условиях движения материальной точки доказать закон сохранения заданной функции координат и скоростей точки.
4. Для системы с заданной связью найти реакцию связи как функцию координат и скоростей частицы.
5. Для заданной системы записать функцию Лагранжа и законы сохранения.
6. В заданном центральном поле найти уравнение траектории частицы.
7. В заданном центральном поле найти время падения частицы на центр поля.
8. Вычислить моменты инерции для заданных твердых тел, состоящих из точек.
9. Вычислить моменты инерции для заданных сплошных твердых тел.
10. Найти закон вынужденных колебаний при заданной внешней силе.
11. Для заданной системы записать функцию Гамильтона и канонические уравнения.
12. Вычислить скобки Пуассона.

### 19.3.4 Тестовые задания

#### 19.3.4 Перечень заданий для контрольных работ

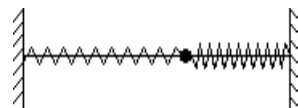
##### Вариант 1

**Задача 1.** Частица массы  $m$  движется между обкладками конденсатора под действием силы  $\vec{F}(t) = e\vec{E}_0 \sin(\omega t)$ . Найти закон движения, если в начальный момент времени:  $\vec{r}(0) = \vec{r}_0$ ,  $\vec{v}(0) = \vec{v}_0$ .

**Задача 2.** Определить закон вынужденных колебаний  $x(t)$  осциллятора (массы  $m$  частоты  $\omega$ ) под действием постоянной силы  $F_0$ . Начальные координата и скорость равны нулю:  $x_0=0$ ,  $v_0=0$ .

##### Вариант 2

**Задача 1.** Материальная точка массы  $m$  может двигаться по горизонтали и соединена пружинами с неподвижными стенками, как показано на рисунке. Жесткость пружин  $k$ , их собственная длина



$l_0 = l$ , а расстояние между стенками  $2l$ . Составить функцию Лагранжа и уравнения движения.



**Задача 2.** В предыдущей задаче с помощью уравнения Лагранжа II рода получить уравнение движения.

### Вариант 3

**Задача 1.** Частица массы  $m$  движется вдоль оси  $x$  в поле с потенциальной энергией  $U(x) = U_0 / \sin^2(\alpha x)$ . Найти закон движения  $x(t)$ , если в начальный момент времени:  $x(0) = x_0$ , а полная энергия частицы  $E = 0$ .

**Задача 2.** Известна функция Лагранжа физического маятника:

$L(\varphi, \dot{\varphi}) = \frac{(ml^2 + J)\dot{\varphi}^2}{2} + mgl \cos \varphi$ . Записать функцию Гамильтона и канонические уравнения.

### Вариант №4

**Задача 1.** Дана функция Лагранжа частицы в сферической системе координат:

$$L(r, \theta, \varphi, \dot{r}, \dot{\theta}, \dot{\varphi}) = \frac{m}{2} (\dot{r}^2 + r^2 \dot{\theta}^2 + r^2 \dot{\varphi}^2 \sin^2 \theta) - mgr \cos \theta.$$

Записать функцию Гамильтона и канонические уравнения.

**Задача 2.** Найти главные моменты инерции  $I_1, I_2, I_3$  однородного параллелепипеда массы  $m$ , длины сторон которого равны  $a, b, c$ .

## 19.3.5 Темы курсовых работ

## 19.3.6 Темы рефератов

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

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме(ах): **устного опроса (индивидуальный опрос); письменных работ (контрольные)**; Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний и практическое задание, позволяющее оценить степень умения решать практические задачи. Критерии оценивания приведены выше.