

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ  
КАФЕДРА ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

ОДОБРЕНО

УМС ИЯФИТ Протокол №01/423-573.1 от 20.04.2023 г.

НТС ЛАПЛАЗ Протокол №1/04-577 от 27.04.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**АНАЛИТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА**

Направление подготовки  
(специальность)

- [1] 12.03.01 Приборостроение
- [2] 14.03.02 Ядерная физика и технологии
- [3] 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов
- [4] 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экс./зач./КР/КП	
4	3-4	108- 144	30	30	0		12-39	0	Э
Итого	3-4	108- 144	30	30	0	0	12-39	0	

## АННОТАЦИЯ

Учебная дисциплина входит в состав цикла «Теоретическая физика». Рабочая программа учебной дисциплины предусматривает профессионально-ориентированное углублённое изучение методов теоретического описания механических систем, в том числе сложных систем со многими степенями свободы. В рамках учебной дисциплины последовательно изучаются подходы к решению задач аналитической механики, основанные на уравнениях Лагранжа, Гамильтона, Гамильтона-Якоби. Программа отражает современные тенденции и требования к обучению и практическому владению математическим аппаратом аналитической механики, формированию необходимых умений и навыков для теоретического анализа и моделирования поведения классических механических систем.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины – существенно расширить понимание закономерностей классической механики, познакомиться с физическими подходами и математическими методами, значительно упрощающими решение задач классической механики.

Задачи освоения дисциплины состоят в овладении методами Лагранжа, Гамильтона, Гамильтона-Якоби, позволяющими находить наиболее адекватные теоретические подходы к описанию поведения сложных механических систем, в том числе со многими степенями свободы.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина базируется на курсах - математический анализ: многомерный анализ, интегралы и ряды, гармонический анализ; линейная алгебра; дифференциальные уравнения; теория функций комплексного переменного; общая физика: механика, термодинамика и молекулярная физика.

Дисциплина предшествует изучению дисциплин, относящихся к циклу «Теоретическая физика»: теория поля; квантовая механика, статистическая физика.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ОПК-1 [2] – Способен использовать базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	З-ОПК-1 [2] – Знать базовые законы естественнонаучных дисциплин; основные математические законы; основные физические явления, процессы, законы и границы их применимости; сущность основных химических законов и явлений; методы математического моделирования, теоретического и экспериментального исследования У-ОПК-1 [2] – Уметь выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе

	<p>профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат</p> <p>В-ОПК-1 [2] – Владеть математическим аппаратом для разработки моделей процессов и явлений, решения практических задач профессиональной деятельности; навыками использования основных общефизических законов и принципов</p>
<p>ОПК-1 [3] – Способен решать задачи профессиональной деятельности, применяя методы моделирования, математического анализа, естественнонаучные и общеинженерные знания</p>	<p>З-ОПК-1 [3] – знать фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы;</p> <p>У-ОПК-1 [3] – уметь применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера;</p> <p>В-ОПК-1 [3] – владеть навыками моделирования, математического анализа, а также решать задачи в области естественнонаучных и общеинженерных знаний.</p>
<p>ОПК-1 [1] – Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с проектированием и конструированием, технологиями производства приборов и комплексов широкого назначения</p>	<p>З-ОПК-1 [1] – знать методы математического анализа и моделирования; знать фундаментальные законы и понятия естественнонаучных дисциплин; знать основные тенденции развития техники и технологий в области приборостроения.</p> <p>У-ОПК-1 [1] – уметь применять методы математического анализа и моделирования для решения практических задач; уметь применять методы теоретического и экспериментального исследования для проектирования и конструирования приборов и комплексов широкого назначения.</p> <p>В-ОПК-1 [1] – владеть навыками применения знаний математического анализа в инженерной практике при моделировании; владеть навыками применения знаний естественнонаучных дисциплин в инженерной практике; владеть навыками применения общеинженерных знаний в инженерной деятельности.</p>
<p>ОПК-1 [4] – Способен использовать базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования</p>	<p>З-ОПК-1 [4] – Знать базовые законы естественнонаучных дисциплин; основные математические законы; основные физические явления, процессы, законы и границы их применимости; сущность основных химических законов и явлений; методы математического моделирования, теоретического и экспериментального исследования</p> <p>У-ОПК-1 [4] – Уметь выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат</p> <p>В-ОПК-1 [4] – Владеть математическим аппаратом для разработки моделей процессов и явлений, решения практических задач профессиональной деятельности; навыками использования основных общефизических законов и принципов</p>

<p>УКЕ-1 [1, 2, 3, 4] – Способен использовать знания естественнонаучных дисциплин, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в поставленных задачах</p>	<p>З-УКЕ-1 [1, 2, 3, 4] – знать: основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования  У-УКЕ-1 [1, 2, 3, 4] – уметь: использовать математические методы в технических приложениях, рассчитывать основные числовые характеристики случайных величин, решать основные задачи математической статистики; решать типовые расчетные задачи  В-УКЕ-1 [1, 2, 3, 4] – владеть: методами математического анализа и моделирования; методами решения задач анализа и расчета характеристик физических систем, основными приемами обработки экспериментальных данных, методами работы с прикладными программными продуктами</p>
--	---

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (В18)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (В19)	1. Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для: - формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований. 2. Использование воспитательного потенциала

		<p>дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед;</li> <li>- формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.</li> </ul>
--	--	---

## 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практик. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>4 Семестр</i>						
1	Первый раздел	1-8	16/16/0		25	КИ-8	3-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, 3-ОПК-1, У-



							1, У- ОПК- 1, В- ОПК- 1, 3- ОПК- 1, У- ОПК- 1, В- ОПК- 1, 3- УКЕ- 1, У- УКЕ- 1, В- УКЕ- 1
	<i>Итого за 4 Семестр</i>		30/30/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 4 Семестр</b>				50	Э	3- ОПК- 1, У- ОПК- 1, В- ОПК- 1, 3- ОПК- 1, У- ОПК- 1, В- ОПК- 1, 3- ОПК- 1, У- ОПК- 1, В- ОПК-

							1, 3- ОПК- 1, У- ОПК- 1, В- ОПК- 1, 3- УКЕ- 1, У- УКЕ- 1, В- УКЕ- 1
--	--	--	--	--	--	--	---

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>4 Семестр</i>	30	30	0
<b>1-8</b>	<b>Первый раздел</b>	16	16	0
1 - 3	<b>Движение в потенциальном поле. Одномерное движение</b> Движение частицы в потенциальном поле. Уравнения Ньютона, функция Лагранжа, действие, уравнения Лагранжа. Циклические координаты и интегралы движения. Одномерное движение: финитное и инфинитное. Период финитного движения. Движение частицы в центральном поле. Отделение радиального движения, эффективная потенциальная энергия. Задача Кеплера. Классификация орбит. Интегралы движения. Период движения по эллиптической орбите. Вектор Лапласа-Рунге-Ленца.	Всего аудиторных часов		
		6	6	0
		Онлайн		
		0	0	0
4 - 5	<b>Рассеяние частиц</b> Задача рассеяния. Рассеяние под действием кулоновской и	Всего аудиторных часов		
		4	4	0

	гравитационной сил. Формула Резерфорда. Рассеяние на малые углы. Задача двух тел и её сведение к задаче о движении в центральном поле. Центр инерции замкнутой системы частиц. Упругие столкновения в лабораторной системе и в системе центра инерции.	Онлайн		
		0	0	0
6 - 8	<b>Функция Лагранжа</b> Функция Лагранжа системы взаимодействующих частиц. Голономные связи. Обобщённые координаты и обобщённые скорости. Принцип наименьшего действия (принцип Гамильтона). Симметрии и законы сохранения. Однородность времени, однородность и изотропность пространства и законы сохранения энергии, импульса и момента импульса. Неинерциальные системы отсчёта.	Всего аудиторных часов		
		6	6	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-15	<b>Второй раздел</b>	14	14	0
9	<b>Малые колебания</b> Малые одномерные колебания (свободные и вынужденные). Малые колебания системы со многими степенями свободы. Собственные частоты и нормальные координаты.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
10	<b>Уравнения Гамильтона</b> Уравнения Гамильтона (канонические уравнения). Функция Гамильтона. Уравнения Гамильтона и принцип наименьшего действия.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
11 - 12	<b>Скобки Пуассона</b> Скобки Пуассона и их свойства. Скобки Пуассона и интегралы движения. Теорема Пуассона. Векторы и тензоры в 3-мерном пространстве. Канонические преобразования. Производящие функции. Инвариантность скобок Пуассона относительно канонических преобразований.	Всего аудиторных часов		
		4	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
13	<b>Фазовое пространство</b> Временная эволюция механической системы как каноническое преобразование. Фазовое пространство и фазовые траектории. Инвариантность фазового объема относительно канонических преобразований. Теорема Лиувилля.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
14 - 15	<b>Уравнение Гамильтона-Якоби</b> Действие как функция координат и времени. Уравнение Гамильтона-Якоби. Решение задач механики методом Гамильтона-Якоби. Переменные «действие – угол». Адиабатические инварианты.	Всего аудиторных часов		
		4	4	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации

Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

## ТЕМЫ СЕМИНАРОВ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>4 Семестр</i>
1 - 3	<b>Движение в потенциальном поле. Одномерное движение</b> Движение частицы в потенциальном поле. Уравнения Ньютона, функция Лагранжа, действие, уравнения Лагранжа. Циклические координаты и интегралы движения. Одномерное движение: финитное и инфинитное. Период финитного движения. Движение частицы в центральном поле. Отделение радиального движения, эффективная потенциальная энергия. Задача Кеплера. Классификация орбит. Интегралы движения. Период движения по эллиптической орбите. Вектор Лапласа-Рунге-Ленца.
4 - 5	<b>Рассеяние частиц</b> Задача рассеяния. Рассеяние под действием кулоновской и гравитационной сил. Формула Резерфорда. Рассеяние на малые углы. Задача двух тел и её сведение к задаче о движении в центральном поле. Центр инерции замкнутой системы частиц. Упругие столкновения в лабораторной системе и в системе центра инерции.
6 - 8	<b>Функция Лагранжа</b> Функция Лагранжа системы взаимодействующих частиц. Голономные связи. Обобщённые координаты и обобщённые скорости. Принцип наименьшего действия (принцип Гамильтона). Симметрии и законы сохранения. Однородность времени, однородность и изотропность пространства и законы сохранения энергии, импульса и момента импульса. Неинерциальные системы отсчёта.
9	<b>Малые колебания</b> Малые одномерные колебания (свободные и вынужденные). Малые колебания системы со многими степенями свободы. Собственные частоты и нормальные координаты.
10	<b>Уравнения Гамильтона</b> Уравнения Гамильтона (канонические уравнения). Функция Гамильтона. Уравнения Гамильтона и принцип наименьшего действия.
11 - 12	<b>Скобки Пуассона</b> Скобки Пуассона и их свойства. Скобки Пуассона и интегралы движения. Теорема Пуассона. Векторы и тензоры в 3-мерном пространстве. Канонические преобразования. Производящие функции. Инвариантность скобок Пуассона относительно канонических преобразований.
13	<b>Фазовое пространство</b>

	Временная эволюция механической системы как каноническое преобразование. Фазовое пространство и фазовые траектории. Инвариантность фазового объема относительно канонических преобразований. Теорема Лиувилля.
14 - 15	<b>Уравнение Гамильтона-Якоби</b> Действие как функция координат и времени. Уравнение Гамильтона-Якоби. Решение задач механики методом Гамильтона-Якоби. Переменные «действие – угол». Адиабатические инварианты.

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Занятия проводятся в интерактивной форме. Во время лекции лектор следит за аудиторией, оценивает, насколько внимательно и заинтересовано студенты воспринимают материал, обращается к аудитории с вопросами как на знание пройденного материала, так и на понимание обсуждаемой темы, при необходимости даёт дополнительные объяснения. По материалу, представленному на лекциях, составляются тестовые вопросы, призванные помочь студентам оценить, насколько они поняли материал лекции. На семинарах, следующих за лекциями, проводятся проверки ответов студентов на эти вопросы. При проведении семинаров основная часть работы по решению задач выполняется студентами самостоятельно, полученные результаты воспроизводятся на доске и обсуждаются всей группой. По каждой теме выдаются домашние задания, чтобы каждый студент мог проверить, понял ли он материал, разбиравшийся на семинаре, и имел возможность улучшить навыки решения задач. В середине и в конце семестра проводится проверка, насколько полно и успешно студенты решили задачи задания. В состав задания включается некоторое число задач повышенной сложности, выходящие за рамки программы, решения этих задач не спрашиваются при приёме заданий. Но студент, заинтересовавшийся определённым разделом курса, может, решая эти задачи, улучшить своё понимание предмета. В середине и в конце семестра проводятся две контрольные работы, на которых предлагаются задачи, аналогичные тем, которые разбирались на семинарах и включались в состав домашних заданий.

## 7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ОПК-1	З-ОПК-1	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ОПК-1	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ОПК-1	Э, КИ-8, КИ-15
УКЕ-1	З-УКЕ-1	Э, КИ-8, КИ-15
	У-УКЕ-1	Э, КИ-8, КИ-15
	В-УКЕ-1	Э, КИ-8, КИ-15

ОПК-1	З-ОПК-1	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ОПК-1	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ОПК-1	Э, КИ-8, КИ-15
	З-ОПК-1	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ОПК-1	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ОПК-1	Э, КИ-8, КИ-15
	З-ОПК-1	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ОПК-1	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ОПК-1	Э, КИ-8, КИ-15

### Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – <i>«отлично»</i>	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – <i>«хорошо»</i>	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – <i>«удовлетворительно»</i>	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – <i>«неудовлетворительно»</i>	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по

## **8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ N74 Theoretical Physics 2 : Analytical Mechanics, Cham: Springer International Publishing, 2016
2. 53 Л22 Теоретическая физика Т.1 Механика, Москва: Физматлит, 2017
3. 531 А47 Техника вычислений в классической механике : учебное пособие, А. И. Алексеев, Москва: МИФИ, 2002

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 531 Г60 Классическая механика : , Г. Голдстейн; Пер.с англ., М.: Наука, 1975
2. 531 К73 Сборник задач по классической механике : учебное пособие для университетов, Г. Л. Коткин, В. Г. Сербо, Москва: Наука, 1977

### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

## **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

## **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

Для успешного освоения курса студенты должны посещать лекции и семинары, а также работать самостоятельно. К формам самостоятельной работы относится в первую очередь решение задач, входящих в задания. Самостоятельные занятия включают в себя также повторение материала лекций, семинарских занятий и подготовку к промежуточным тестированиям, которые проводятся для текущего контроля за усвоением материала. Для лучшего понимания разделов курса рекомендуется также самостоятельно изучать соответствующие разделы учебных пособий из списков основной и дополнительной литературы, включенных в программу курса.

## **11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

При чтении лекций и проведении семинаров преподавателям рекомендуется поддерживать непрерывную связь с аудиторией, отвечать на возникающие вопросы, при необходимости разъяснять трудные места. При проведении семинаров рекомендуется давать краткое теоретическое пояснение к каждой поставленной задаче. После того, как в общем обсуждении намечены способы решения задачи, важно организовать работу так, чтобы каждый студент мог выполнить часть вычислений самостоятельно, и помочь студентам, у которых возникают затруднения, их преодолеть. В итоге решение задачи должно быть представлено на доске и обсуждено с необходимой подробностью. Преподавателям, читающим лекции, рекомендуется составлять для студентов вопросы по изложенному материалу. Отвечая на эти вопросы, студенты могут понять, насколько полно они поняли раздел курса, изложенный на лекции.

Автор(ы):

Барabanов Алексей Леонидович