



## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФГБОУ ВО «ИГУ»

Кафедра теоретической физики

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета

/Н.М. Буднев

«20» апреля 2024 г.



### Рабочая программа дисциплины

Наименование дисциплины: Б1.О.15.01 Теоретическая механика

Направление подготовки: 03.03.03 Радиофизика

Направленность (профиль) подготовки: Радиофизика: радиоэлектронные устройства, обработка сигналов и автоматизация

Квалификация (степень) выпускника: Бакалавр

Форма обучения: Очная

Согласовано с УМК физического факультета

Протокол №42 от «15» апреля 2024 г.

Председатель

Н.М.Буднев

Рекомендовано кафедрой:

Протокол №7

От «15» марта 2024 г.

И.о. зав. кафедрой

С.В. Ловцов

Иркутск 2024 г.

## Содержание

I. Цели и задачи дисциплины.....	3
II. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП.....	3
III. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля).....	3
IV. Содержание и структура дисциплины.....	3
4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов.....	4
4.2 План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.....	4
4.3. Содержание учебного материала.....	4
4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий, лабораторных работ.....	5
4.3.2. План самостоятельной работы студентов.....	6
4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.....	7
4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов).....	7
V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины:.....	7
а) список литературы.....	7
б) периодические издания.....	8
в) список авторских методических разработок.....	8
г) базы данных, поисково-справочные и информационные системы.....	8
VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины.....	8
VII. Образовательные технологии.....	8
VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации.....	9
Приложение: фонд оценочных средств	

## **I. Цели и задачи дисциплины**

Дисциплина «Теоретическая механика» начинает курс дисциплин по теоретической физике и предполагает знание основ механики, электродинамики, а также основ математического анализа, линейной алгебры и обыкновенных дифференциальных уравнений.

### **Цели курса**

Целью курса «Теоретическая механика» является ознакомление с основными идеями и методами, используемыми в различных областях физики и составляющими основу теоретического описания широкого круга физических явлений.

### **Задачи курса**

Выработать у специалиста навыки практического использования методов, предназначенных для математического моделирования и описания поведения механических систем, в том числе сплошной среды.

## **II. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП.**

«Теоретическая механика» является обязательной для изучения дисциплиной. Она начинает курс дисциплин по теоретической физике. В результате изучения данной дисциплины специалист должен знать основополагающие принципы, понятия и гипотезы, лежащие в основе описания механических систем; понимать приближения, заложенные при выводе соответствующих уравнений; уметь адекватно сопоставлять данную физическую систему способу его описания (выбор формализма описания, выбор переменных); владеть методами решения соответствующих уравнений.

## **III. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)**

**Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций**

Компетенция	ОПК-1: Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности
ОПК 1.1	Применяет базовые знания в области физики и радиофизики для решения научно- исследовательских задач
ОПК 1.2	Применяет базовые знания в области физики и радиофизики для решения прикладных задач профессиональной деятельности
ОПК 1.3	Представляет слушателям в доступной для восприятия форме знания в области физики и радиофизики, в том числе при выполнении задач в сфере педагогической деятельности

## **IV. Содержание и структура дисциплины**

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов, в том числе 75 часов контактной работы.

Занятия проводятся только в очной форме обучения с применением дистанционного контроля самостоятельной работы студентов через ЭИОС факультета. Электронной и дистанционной форм обучения не предусматривается.

На практическую подготовку отводится 32 аудиторных часа.

Форма промежуточной аттестации: зачет.

#### 4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов

№ п/п	Раздел дисциплины/темы	Семестр	Всего часов	Из них практическая подготовка обучающихся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся, практическую подготовку и трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости; Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
					Контактная работа преподавателя с обучающимися				
					Лекции	Семинарские /практические /лабораторные занятия	Консультации		
1	1-16	3	108	32	32	32	1	33	Практическое задание; экзаменационные билеты
Итого:			108	32	32	32	1	33	

#### 4.2 План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
3	Тема 1-18	Задание в виде задачи	После пройденных тем	33	Демонстрация готовых решений	Источники из основной и дополнительной литературы по теме практических занятий; Образовательные ресурсы, доступные по логину и паролю, предоставляемым Научной библиотекой ИГУ.

#### 4.3. Содержание учебного материала

##### Содержание разделов и тем дисциплины

##### Раздел 1. МЕХАНИКА НЬЮТОНА. ЦЕНТРАЛЬНОЕ ПОЛЕ

**Тема 1.** Ньютоновская механика. Законы сохранения. Одномерное движение.

**Тема 2.** Центральное-симметричное поле. Задача Кеплера. Законы Кеплера.

**Тема 3.** Вектор Лапласа. Изотропный осциллятор. Задача двух тел.

**Тема 4.** Задача рассеяния.

## Раздел 2. МЕХАНИКА ЛАГРАНЖА

**Тема 5.** Принцип наименьшего действия. Уравнения Лагранжа.

**Тема 6.** Интегралы движения. Теорема Нетер.

**Тема 7.** Неинерциальные системы отсчета. Виды связей. Теорема вириала.

## Раздел 3. МАЛЫЕ КОЛЕБАНИЯ

**Тема 8.** Свободные линейные колебания.

**Тема 9.** Вынужденные колебания. Резонансы. Нормальные координаты.

**Тема 10.** Параметрический резонанс.

**Тема 11.** Колебания линейных цепочек, акустические и оптические моды.

## Раздел 4. МЕХАНИКА ГАМИЛЬТОНА

**Тема 12.** Гамильтонов подход. Законы сохранения.

**Тема 13.** Скобки Пуассона. Теорема Пуассона.

**Тема 14.** Канонические преобразования. Теорема Лиувилля.

**Тема 15.** Вариационный принцип. Гамильтониан частицы в электромагнитном поле.

**Тема 16.** Действие как функция координат и времени. Уравнение Гамильтона – Якоби.

## Раздел 5. ДВИЖЕНИЕ ТВЕРДОГО ТЕЛА

**Тема 17.** Кинетическая энергия твердого тела, импульс, момент импульса. Тензор инерции, углы Эйлера.

**Тема 18.** Уравнения движения твердого тела. Уравнения Эйлера, симметричный волчок.

### 4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий, лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1.	Раздел 1, Тема 1	Одномерное движение.	2	Задание на семинаре в виде задачи	ОПК-1
2.	Раздел 1, Тема 2	Движение в центрально-симметричном поле.	2	Задание на семинаре в виде задачи	ОПК-1
3.	Раздел 1, Тема 3	Движение в центрально-симметричном поле.	2	Задание на семинаре в виде задачи	ОПК-1
4.	Раздел 1, Тема 4	Задача рассеяния	2	Задание на семинаре в виде задачи	ОПК-1
5.	Раздел 2, Тема 5	Контрольная работа	2	Задание на семинаре в виде задачи	ОПК-1
6.	Раздел 2, Тема 6	Уравнения Лагранжа, законы сохранения.	2	Задание на семинаре в виде задачи	ОПК-1
7.	Раздел 2, Тема 7	Идеальные голономные связи	2	Задание на семинаре в виде задачи	ОПК-1
8.	Раздел 3, Тема 8	Одномерные свободные колебания.	2	Задание на семинаре в виде задачи	ОПК-1
9.	Раздел 3, Тема 9	Многомерные свободные колебания.	2	Задание на семинаре в виде задачи	ОПК-1
10.	Раздел 3, Тема 10	Вынужденные колебания	2	Задание на семинаре в виде задачи	ОПК-1

11.	Раздел 3, Тема 11	Контрольная работа.	2	Задание на семинаре в виде задачи	ОПК-1
12.	Раздел 4, Тема 12	Гамильтоновы уравнения, законы сохранения	2	Задание на семинаре в виде задачи	ОПК-1
13.	Раздел 4, Тема 13	Скобки Пуассона	2	Задание на семинаре в виде задачи	ОПК-1
14.	Раздел 4, Тема 14	Канонические преобразования.	2	Задание на семинаре в виде задачи	ОПК-1
15.	Раздел 4, Тема 15	Частица в электромагнитном поле, гамильтоновы уравнения.	1	Задание на семинаре в виде задачи	ОПК-1
16.	Раздел 4, Тема 16	Уравнения Гамильтона-Якоби.	1	Задание на семинаре в виде задачи	ОПК-1
17.	Раздел 5, Тема 17	Движение твердого тела.	1	Задание на семинаре в виде задачи	ОПК-1
18.	Раздел 5, Тема 18	Контрольная работа.	1	Задание на семинаре в виде задачи	ОПК-1

#### 4.3.2. План самостоятельной работы студентов

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
1	Одномерное движение	Внеаудиторная, решение задач	Малое возмущение потенциала.	Источники из основной и дополнительной литературы по теме практических занятий;  Образовательные ресурсы, доступные по логину и паролю, предоставляемым Научной библиотекой ИГУ и Сторонние сайты	2
2	Центрально-симметричное поле	Внеаудиторная, решение задач	Условие существования замкнутых траекторий.		2
3	Центрально-симметричное поле	Внеаудиторная, решение задач	Кулоновское поле + $1/r^2$ потенциал.		2
4	Задача рассеяния	Внеаудиторная, решение задач	Сечение падения частицы на центр.		2
5	Уравнения Лагранжа.	Внеаудиторная, решение задач	Лагранжианы и уравнения движения для набора простых механических задач.		2
6	Интегралы движения	Внеаудиторная, решение задач	Вектор Лапласа для кулоновского потенциала.		2
7	Учет связей	Внеаудиторная, решение задач	Идеальные голономные связи и исключение переменных.		2
8	Свободные колебания	Внеаудиторная, решение задач	Многомерные колебания и нормальные координаты.		2
9	Свободные колебания	Внеаудиторная, решение задач	Многомерные колебания симметричных систем		2
10	Вынужденные колебания	Внеаудиторная, решение задач	Резонанс		2
11	Колебания линейных цепочек	Внеаудиторная, решение задач	Типы дисперсионных уравнений.		2

12	Гамильтонов подход	Внеаудиторная, решение задач	Гамильтонова форма уравнений, законы сохранения.	2
13	Скобки Пуассона	Внеаудиторная, решение задач	Дополнительные законы движения.	2
14	Канонические преобразования	Внеаудиторная, решение задач	Производящие функции, условия каноничности.	2
15	Гамильтонов подход	Внеаудиторная, решение задач	Частица в электромагнитном поле.	2
16	Уравнение Гамильтона-Якоби	Внеаудиторная, решение задач	Разделение переменных в уравнении Гамильтона-Якоби	1
17	Движение твердого тела	Внеаудиторная, решение задач	Свойства тензора инерции	1
18	Движение твердого тела	Внеаудиторная, решение задач	Законы сохранения	1

#### 4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

В разделе 4.3.2 студентам для самостоятельного углубленного изучения дисциплины (параллельно с лекциями) предлагаются задачи по изучаемым разделам. Предполагается, что студент самостоятельно изучит дополнительные параграфы по пройденной теме, представленные в литературе из п. 5, а затем решит предложенные задачи. Оценка самостоятельной работы студентов проводится на практических занятиях.

#### 4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Учебным планом не предусмотрено написание курсовых работ (проектов).

#### V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины:

##### а) список литературы

##### основная литература

1. [Коткин, Г. Л.](#) Лекции по аналитической механике: учеб. пособие / Г. Л. Коткин, В. Г. Сербо, А. И. Черных. - Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2010. - 235 с. - ISBN 978-5-93972-849-2 (10 экз).
2. [Стрелков, С. П.](#) Механика [Электронный ресурс] / С. П. Стрелков. - Москва: Лань, 2005. - 560 с. - Режим доступа: ЭБС "Издательство "Лань". - Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-8114-0622-7

##### дополнительная литература:

1. [Голдстейн, Г.](#) Классическая механика / Г. Голдстейн. - 2-е изд. - М. : Наука, 1975. - 415 с. (22 экз.)
2. [Коткин, Г. Л.](#) Сборник задач по классической механике: методические указания / Г. Л. Коткин, В.Г. Сербо. - 3-е изд., испр. и доп. - Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2001. - 352 с. - ISBN 5-93972-058-7 (34 экз.)
3. [Вильке, В. Г.](#) Теоретическая механика: учебник / В. Г. Вильке. - СПб. : Лань, 2003. - 301 с. - ISBN 5-8114-0520-0 (50 экз.)

##### б) периодические издания

- нет

## в) список авторских методических разработок

- нет

## г) базы данных, поисково-справочные и информационные системы

<http://library.isu.ru/> - Научная библиотека ИГУ;

Образовательные ресурсы, доступные по логину и паролю, предоставляемым Научной библиотекой ИГУ:

- <https://isu.bibliotech.ru/> - ЭЧЗ «БиблиоТех»;
- <http://e.lanbook.com> - ЭБС «Издательство «Лань»;
- <http://rucont.ru> - ЭБС «Руконт» - межотраслевая научная библиотека, содержащая оцифрованные книги, периодические издания и отдельные статьи по всем отраслям знаний, а также аудио-, видео-, мультимедиа софт и многое другое;
- <http://ibooks.ru/> - ЭБС «Айбукс» - интернет ресурсы в свободном доступе;

## VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Учебная аудитория для проведения занятий. Для проведения занятий лекционного типа в качестве демонстрационного оборудования используется меловая доска. Наглядность обеспечивается путем изображения схем, диаграмм и формул с помощью мела. Использование глобальной компьютерной сети позволяет обеспечить доступность Интернет-ресурсов и реализовать самостоятельную работу студентов. На лекциях могут использоваться мультимедийные средства: проектор, переносной экран, ноутбук. На факультете имеется компьютеризированная аудитория, предназначенная для самостоятельной работы, с неограниченным доступом в Интернет.

Материалы: учебно-методические пособия, задания для аудиторной и самостоятельной работы студентов.

## VII. Образовательные технологии

Задачи изложения и изучения дисциплины реализуются в следующих формах деятельности:

- лекции, нацеленные на получение необходимой информации, и ее использование при решении практических задач;
- практические занятия, направленные на активизацию познавательной деятельности студентов и приобретения ими навыков решения практических и проблемных задач;
- консультации –еженедельно для всех желающих студентов;
- самостоятельная внеаудиторная работа направлена на приобретение навыков самостоятельного решения задач по дисциплине;
- текущий контроль за деятельностью студентов осуществляется на лекционных и практических занятиях в ходе самостоятельного решения задач.

## VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации

Фонд оценочных средств представлен в приложении.

Оценочные средства текущего контроля — контрольные работы.

### Вариант контрольной работы

1. При каких значениях момента импульса возможно финитное движение в поле  $U(r)$ ?

2. Найти сечение падения частиц на Землю.

Форма проведения промежуточной аттестации — зачет с оценкой.

### **Примерный перечень вопросов и заданий к зачету**

#### МЕХАНИКА НЬЮТОНА. ЦЕНТРАЛЬНОЕ ПОЛЕ

- Основные понятия и принципы классической механики. Приближение инерциальной системы отсчета (ИСО), принцип относительности и преобразования Галилея. Свойства пространства и времени. Основная задача механики.



- Законы Ньютона. Механика материальной точки, потенциал, энергия, импульс, момент импульса. Консервативная система, законы сохранения. Интегрирование одномерных уравнений движения. Приближенное решение задачи движения частицы под влиянием возмущения, вызванного малой добавкой  $\delta U$  к потенциалу  $U$ .
- Задача двух тел. Уравнения движения частицы в центральном поле, интегралы движения, метод эффективного потенциала. Общее решение задачи движения частицы в центральном поле. Исследование траекторий движения. Условие замкнутости траекторий движения при финитном движении. Падение на центр.
- Кеплерова задача. Законы Кеплера. Интегралы движения в кулоновском поле.
- Рассеяние частиц, эффективное сечение рассеяния. Рассеяние частиц в поле кулоновского потенциала  $U(r) = \alpha / r$ , формула Резерфорда.
- Теорема вириала, примеры применения - изотропный осциллятор  $U(r) = kr^2 / 2$ , кулоновское поле  $U(r) = -\alpha / r$ .

### МЕХАНИКА ЛАГРАНЖА

- Дифференциальные (кинематические)  $f(r, \dot{r}, t) = 0$  и конечные (геометрические)  $f(r, t) = 0$  связи. Голономные и неголономные системы. Две трудности механики Ньютона. Обобщенные координаты и число степеней свободы, переход от декартовых к обобщенным координатам. Реакции связей. Примеры. Основная задача динамики системы со связями. Идеальные связи.
- Функция Лагранжа (кинетический потенциал), действие. Вариационный принцип Гамильтона (принцип стационарного действия), уравнения Лагранжа 2-го рода. Ковариантность уравнений Лагранжа. Циклические переменные и интегралы движения. Теорема об изменении обобщенной энергии. Функция Лагранжа и уравнения Лагранжа для гармонического осциллятора, частицы в центральном поле.
- Симметрии и законы сохранения, теорема Нётер. Законы сохранения импульса, момента импульса и энергии системы материальных точек, как следствие однородности пространства, изотропности пространства, однородности времени.
- Потенциал, зависящий от скоростей, обобщенно-консервативная система. Функция Лагранжа заряженной частицы в электромагнитном поле, уравнения движения, сила Лоренца, законы сохранения.
- Движение в неинерциальных системах отсчета, силы инерции. Функция Лагранжа и уравнения Лагранжа для материальной точки в системе отсчета, вращающейся относительно ИСО. Кориолисова сила на Земле.

### МАЛЫЕ КОЛЕБАНИЯ

- Свободные малые колебания систем с одной степенью свободы. Исследование движения материальной точки в потенциальном поле в окрестности положения устойчивого равновесия. Вынужденные колебания и резонанс. Затухающие колебания.
- Малые колебания систем со многими степенями свободы. Функция Лагранжа и уравнения движения в нормальных координатах. Колебания трехатомной молекулы.

### МЕХАНИКА ГАМИЛЬТОНА

- Построение функции Гамильтона из функции Лагранжа. Канонические уравнения Гамильтона. Получение уравнений Гамильтона из вариационного принципа. Теорема сохранения и физический смысл гамильтониана. Гамильтониан частицы в электромагнитном поле, решение задачи о движении заряженной частицы в однородном магнитном поле.
- Скобки Пуассона, их свойства. Запись уравнения Гамильтона через скобки Пуассона. Интегралы движения и скобки Пуассона. Теорема Пуассона и получение новых интегралов движения. Фундаментальные скобки Пуассона.
- Канонические преобразования. Производящие функции и индуцированные ими канонические преобразования. Примеры канонических преобразований. Действие как производящая функция канонического преобразования. Теорема Лиувилля. Действие как функция координат и времени. Уравнение Гамильтона – Якоби.

## ДВИЖЕНИЕ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Импульс, момент импульса и кинетическая энергия твердого тела. Тензор инерции, примеры вычисления главных моментов инерции симметрического волчка. Уравнения движения твердого тела. Уравнения Эйлера, их решение для симметрического волчка.

**Пример тестовых заданий для проверки сформированности компетенций, указанных выше п.3:**

1. При движении частицы в центральном (радиально-симметричном) потенциальном поле:

- а) Сила направлена по радиус-вектору, момент импульса сохраняется, а орбита частицы лежит в плоскости, перпендикулярной моменту импульса
- б) Сила направлена перпендикулярно радиус-вектору, момент импульса изменяется со временем, орбита частицы произвольна
- в) Сила направлена по радиус-вектору, момент импульса изменяется со временем, а орбита частицы лежит в плоскости, перпендикулярной вектору силы

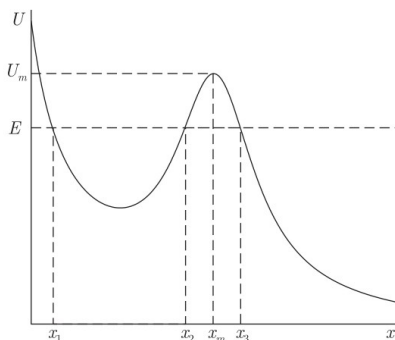
2. Принцип наименьшего действия Лагранжевой механики можно сформулировать следующим образом: Движение системы частиц между точками А, В происходит таким образом, чтобы... :

- а) ... действие  $S$  принимало экстремальное значение, а его вариация  $\delta S$  обращалась в нуль
- б) ... действие  $S$  принимало наибольшее возможное значение, а его вариация  $\delta S$  была ненулевой
- в) ... и действие  $S$ , и его вариация  $\delta S$  были равны нулю

3. Согласно теореме Нётер, величина  $E\delta t - \sum p_i \delta x_i$  (здесь  $E$  - энергия системы,  $p_i$  - обобщенные импульсы, соответствующие координатам  $x_i$ ) ... :

- а) ... сохраняется, если при бесконечно малых преобразованиях времени и координат  $x_i \rightarrow x_i + \delta x_i$ ,  $t \rightarrow t + \delta t$ ,  $\delta x_i \rightarrow 0$ ,  $\delta t \rightarrow 0$  вид действия не меняется с точностью до слагаемых, пропорциональных  $\delta x_i$ ,  $\delta t$  включительно
- б) ... сохраняется, если при любом преобразовании времени и координат  $x_i$ ,  $t$  вид действия не меняется
- в) ... всегда точно равна нулю при бесконечно малом преобразовании времени и координат  $x_i \rightarrow x_i + \delta x_i$ ,  $t \rightarrow t + \delta t$

4. Опишите качественно характер движения в потенциальном поле, указанном на рисунке, при максимальной энергии частицы  $E$ :



- а) финитное движение в области  $(x_1, x_2)$ , инфинитное в области  $(x_3, +\infty)$
- б) финитное движение в области  $(0, x_m)$ , инфинитное в области  $(x_3, +\infty)$
- в) инфинитное движение в области  $(0, +\infty)$

Разработчики:




доцент кафедры теоретической физики

А.А. Шишмарев

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.03 Радиофизика.

Программа рассмотрена на заседании кафедры теоретической физики «15» марта 2024 г.

Протокол №7 И.о. зав. кафедрой  С.В. Ловцов

**Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.**