

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования_
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ННГУ
протокол № 6 от 31.05.2023 г.

Рабочая программа дисциплины

Теоретическая механика

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Направление подготовки / специальность
09.03.02 - Информационные системы и технологии

Направленность образовательной программы
Информационные системы и технологии в физических исследованиях

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2023 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.11 Теоретическая механика относится к обязательной части образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

| Формируемые компетенции (код, содержание компетенции) | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции | | Наименование оценочного средства | |
|--|--|--|-------------------------------------|--|
| | Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора) | Результаты обучения по дисциплине | Для текущего контроля успеваемости | Для промежуточной аттестации |
| ПК-4: Способен применять фундаментальные представления о физических явлениях и процессах, лежащих в основе работы приборов и функциональных устройств информационных систем; | ПК-4.1: Знать современные методы описания физических явлений и процессов ПК-4.2: Уметь применять фундаментальные представления о физических явлениях и процессах, лежащих в основе работы приборов и функциональных устройств информационных систем ПК-4.3: ПК-4.3. Иметь навыки использования приборов и функциональных устройств в информационных измерительных системах | ПК-4.1: Знать основные модели теоретической механики и алгоритмы их формулирования на основе сопоставления с экспериментальными данными. ПК-4.2: Уметь решать основные задачи теоретической механики и сопоставлять результаты с экспериментальными данными. ПК-4.3: Владеть навыками решения основных задач теоретической механики и сопоставления результатов с экспериментальными данными. | Индивидуальное устное собеседование | Экзамен: Контрольные вопросы Практическая задача |

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

| | |
|---------------------------------|--------------|
| | очная |
| Общая трудоемкость, з.е. | 5 |
| Часов по учебному плану | 180 |
| в том числе | |

| | |
|--|-----------------------------|
| аудиторные занятия (контактная работа): | |
| - занятия лекционного типа | 48 |
| - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы) | 32 |
| - КСР | 2 |
| самостоятельная работа | 62 |
| Промежуточная аттестация | 36 экзамен |

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

| Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины | Всего (часы) | в том числе | | | |
|---|-----------------|--|--|-------------|---|
| | | Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них | | | Самостоятельная работа обучающегося, часы |
| | | Занятия лекционного типа | Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы | Всего | |
| | о ф о | о ф о | о ф о | о ф о | о ф о |
| Тема 1. Уравнения движения. Взаимодействия в природе. Механическое движение. Система отсчета. Силы. Законы Ньютона. Законы сохранения в ньютоновской механике. Прямая и обратная задачи механики. Пределы применимости классической механики. Функция Лагранжа системы материальных точек в декартовых координатах. Обобщенные координаты и скорости. Функция Лагранжа в обобщенных координатах. Принцип наименьшего действия. Уравнения Лагранжа. Обобщенный импульс. Свойства ковариантности уравнений Лагранжа. Свойства функции Лагранжа. Функция Лагранжа незамкнутой системы. | 18 | 6 | 4 | 10 | 8 |
| Тема 2. Законы сохранения. Интегралы движения механических систем. Интегралы движения, связанные с симметрией пространства: механическая энергия, импульс, момент импульса. Законы преобразования интегралов движения (механическая энергия, импульс, момент импульса) при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой инерциальной системе отсчета. Центр инерции. Формулировка и смысл теоремы Нётер. | 18 | 6 | 4 | 10 | 8 |
| Тема 3. Интегрирование уравнений движения. Принцип относительности Галилея. Обратимость механического движения. Механическое подобие. Теорема о средних энергиях (теорема вириала). Одномерное движение. Движение вблизи точки поворота. Период колебаний для финитного движения, его зависимость от полной механической энергии. | 18 | 6 | 4 | 10 | 8 |
| Тема 4. Распады и столкновения частиц. Задача о движении двух тел. Приведенная масса. Центральные силовые поля. Эффективная потенциальная энергия. Падение частиц на центр поля. Движение в кулоновском поле. Законы Кеплера. Интегрирование уравнений движения в центральном поле. Траектория частицы, свойства траектории. Самопроизвольный распад частиц. Рассеяние частиц на неподвижном силовом центре. Дифференциальное эффективное сечение рассеяния. Рассеяние в кулоновском поле. Формула Резерфорда. | 14 | 4 | 2 | 6 | 8 |
| Тема 5. Малые колебания. Линейные колебания систем с одной степенью свободы: свободные, вынужденные, колебания при наличии сил вязкого трения. Элементы теории ангармонических колебаний системы с одной | 18 | 6 | 4 | 10 | 8 |

| | | | | | |
|---|-----|----|----|----|----|
| степенью свободы. Понятие о параметрическом резонансе. Лагранжиан системы с несколькими степенями свободы в линейной теории колебаний. Классификация состояний равновесия системы. Уравнения движения в режиме малых колебаний и их решение. Собственные частоты. Нормальные колебания и нормальные координаты. Функция Лагранжа многомерной колебательной системы в нормальных координатах. Вынужденные колебания систем с несколькими степенями свободы. Колебания линейных цепочек: линейные и нелинейные. Комбинационные частоты. | | | | | |
| Тема 6. Движение твердого тела. Кинематика твёрдого тела. Мгновенная ось вращения. Кинетическая энергия твердого тела. Тензор инерции. Момент импульса твёрдого тела. Функция Лагранжа и уравнения движения твёрдого тела. Функция Лагранжа и уравнения движения материальной точки в неинерциальной системе отсчета. Силы инерции. Законы преобразования импульса, момента импульса и механической энергии при переходе от инерциальной системы отсчета к равномерно вращающейся. | 18 | 6 | 4 | 10 | 8 |
| Тема 7. Канонические уравнения. Функция Гамильтона. Канонические уравнения Гамильтона. Интегралы движения в гамильтоновской механике. Скобки Пуассона и их свойства. Действие механической системы как функция координат и времени. Уравнение Гамильтона-Якоби. Фазовое пространство и фазовые траектории. Теорема Лиувилля. Адиабатические инварианты. | 16 | 6 | 4 | 10 | 6 |
| Тема 8. Специальная теория относительности. Релятивистская кинематика. Принцип относительности Эйнштейна. 4-интервал, его инвариантность при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой. Классификация событий: времени- и пространственноподобные интервалы. Преобразования Лоренца. Лоренцево сокращение длины. Лоренцево замедление. Собственное время. Релятивистское сложение скоростей. 4-векторы, 4-тензоры. | 16 | 6 | 4 | 10 | 6 |
| Тема 9. Релятивистская динамика. Принцип наименьшего действия для свободной частицы в релятивистской механике. Функции Лагранжа и Гамильтона свободной релятивистской частицы. Энергия и импульс релятивистской частицы. Четырехмерная форма релятивистской механики. 4-скорость, 4-ускорение, 4-сила. Законы сохранения энергии и импульса в четырехмерном виде. Столкновения релятивистских частиц. | 6 | 2 | 2 | 4 | 2 |
| Аттестация | 36 | | | | |
| КСР | 2 | | | 2 | |
| Итого | 180 | 48 | 32 | 82 | 62 |

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

А.А. Перов, А.В. Тележников, Д.В. Хомицкий, Сборник задач по теоретической механике: учебно-методическое пособие, Н.Новгород, изд-во ННГУ, 2017, 78 с. Открытый доступ: http://www.unn.ru/books/met_files/TeorMex_Perov.rtf.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Индивидуальное устное собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-4

1. Интегрирование одномерных уравнений движения.
2. Движение твердого тела.
3. Колебательная динамика линейных одномерных и многомерных систем.
4. Интегрирование канонических уравнений Гамильтона.
5. Преобразования Лоренца.
6. Интегрирование релятивистских уравнений движения.

Критерии оценивания (оценочное средство - Индивидуальное устное собеседование)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|---|
| зачтено | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок |
| не зачтено | Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки |

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

| Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций) | плохо | неудовлетворительно | удовлетворительно | хорошо | очень хорошо | отлично | превосходно |
|--|---|--|--|--|--|---|--|
| | не зачтено | | | зачтено | | | |
| <u>Знания</u> | Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа | Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки | Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет. | Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. |
| <u>Умения</u> | Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа | При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки | Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме | Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые | Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами | Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными недочетами и, | Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов |

| | | | | | | | |
|---------------|--|---|--|--|--|--|---|
| | | | | с недочетами | | выполнены все задания в полном объеме | |
| <u>Навыки</u> | Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа | При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки | Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами | Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами | Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов | Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов | Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач |

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

| Оценка | | Уровень подготовки |
|------------|---------------------|--|
| зачтено | превосходно | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой |
| | отлично | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично». |
| | очень хорошо | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо» |
| | хорошо | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо». |
| | удовлетворительно | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно» |
| не зачтено | неудовлетворительно | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно». |
| | плохо | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо» |

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации

5.3.1 Типовые задания, выносимые на промежуточную аттестацию:

Оценочное средство - Контрольные вопросы

Экзамен

Критерии оценивания (Контрольные вопросы - Экзамен)

| Оценка | Критерии оценивания |
|---------------------|---|
| превосходно | Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. |
| отлично | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. |
| очень хорошо | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок |
| хорошо | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок |
| удовлетворительно | Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки. |
| неудовлетворительно | Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки |
| плохо | Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа |

Типовые задания (Контрольные вопросы - Экзамен) для оценки сформированности компетенции ПК-4 (Способен применять фундаментальные представления о физических явлениях и процессах, лежащих в основе работы приборов и функциональных устройств информационных систем;)

1. Обобщенные координаты и скорости. Вариационный принцип наименьшего действия.
2. Параметрический резонанс.
3. Функция Лагранжа механической системы. Уравнения Лагранжа.
4. Твёрдое тело. Кинематика твердого тела.
5. Функция Лагранжа и её свойства.
6. Тензор инерции твердого тела.
7. Интегралы движения механических систем, связанные с симметрией внешних полей.
8. Момент импульса твердого тела.
9. Преобразования Галилея. Преобразование интегралов движения механических систем.
10. Уравнения движения твердого тела.
11. Инвариантность уравнений движения относительно преобразований Галилея.
12. Углы Эйлера.
13. Теорема вириала.
14. Уравнения Эйлера.
15. Одномерное движение. Общие свойства одномерного движения.
16. Функция Гамильтона механической системы. Канонические уравнения Гамильтона.
17. Положения равновесия и их устойчивость.
18. Скобки Пуассона и их свойства.
19. Центр инерции. Задача «двух тел».
20. Действие механической системы как функция координат и времени.
21. Движение в центральном поле. Интегралы движения.

22. Канонические преобразования в гамильтоновой механике.
23. Центральное поле: уравнение траектории частицы, финитное и инфинитное движение, условие замкнутости траектории финитного движения частицы в центральном поле.
24. Теорема Лиувилля.
25. Падение частиц на центр поля.
26. Постулаты Эйнштейна в специальной теории относительности.
27. Движение частиц в кулоновском поле (Кеплерова задача).
28. Преобразования Лоренца для координат и времени.
29. Рассеяние частицы на неподвижном силовом центре. Угол рассеяния.
30. Преобразования Лоренца и их следствия. Собственная длина и собственное время.
31. Рассеяние частиц неподвижным силовым центром. Сечение рассеяния.
32. Релятивистский закон сложения скоростей.
33. Формула Резерфорда в теории рассеяния.
34. Четырехмерный интервал. Времени- и пространственно подобные интервалы.
35. Рассеяние частицы на подвижном силовом центре.
36. Световой конус.
37. Распад частиц.
38. Функция Лагранжа и функция Гамильтона свободной релятивистской частицы.
39. Свободные малые одномерные колебания.
40. Пространство-время Минковского. Четыре-векторы и четыре-тензоры. Метрический тензор.
41. Малые колебания систем с несколькими степенями свободы. Нормальные колебания.
42. Четыре-векторы скорости, ускорения и импульса релятивистской частицы.
43. Колебания при наличии трения. Диссипативная функция.
44. Уравнения движения релятивистской частицы.
45. Вынужденные колебания при наличии трения.
46. Распады в релятивистской механике.
47. Нелинейные колебания. Движение нелинейного осциллятора.
48. Упругие столкновения релятивистских частиц. Эффект Комптона.

Оценочное средство - Практическая задача

Экзамен

Критерии оценивания (Практическая задача - Экзамен)

| Оценка | Критерии оценивания |
|-------------------|---|
| превосходно | Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач. |
| отлично | Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов. |
| очень хорошо | Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. |
| хорошо | Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами |
| удовлетворительно | Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами |

| Оценка | Критерии оценивания |
|---------------------|--|
| неудовлетворительно | При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки. |
| плохо | Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа |

Типовые задания (Практическая задача - Экзамен) для оценки сформированности компетенции ПК-4 (Способен применять фундаментальные представления о физических явлениях и процессах, лежащих в основе работы приборов и функциональных устройств информационных систем;)

1. Определить период одномерного движения частицы массы m с энергией E в потенциальном поле вида $U(x) = -U_0 / \cosh^2(\alpha x)$, $(-U_0 < E < 0)$.
2. Два математических маятника одинаковой длины связаны между собой пружиной с жесткостью k , укрепленной на расстоянии a от точки подвеса. Определить частоты малых колебаний, а также найти нормальные колебания системы.
3. Найти главные значения тензора инерции и главные оси инерции однородного кругового конуса высоты h и радиуса основания R .
4. Определить закон движения однородного цилиндра радиуса a , катящегося по внутренней стороне цилиндрической поверхности радиуса R .
5. Найти интегралы движения для частицы, движущейся: а). в поле $U(\vec{r}) = -\vec{F} \cdot \vec{r}$; б). в постоянном однородном магнитном поле напряженности $\vec{H} \parallel 0z$, если векторный потенциал \vec{A} магнитного поля выбран в виде $\vec{A} = \{0, H \cdot x, 0\}$, $\vec{H} = \text{rot } \vec{A}$.
6. Найти дифференциальное эффективное сечение рассеяния частиц, скорость которых до рассеяния параллельна оси $0z$, на гладкой упругой поверхности вращения $\rho(z) = a\sqrt{z}$.
7. Найти функцию Лагранжа системы, если её функция Гамильтона равна $H = \frac{\vec{p}^2}{2m} - \vec{p} \cdot \vec{a}$, где \vec{a} – постоянный вектор.
8. Вычислить скобки Пуассона $\{\vec{M}, \vec{r} \cdot \vec{p}\}$, \vec{M} – вектор момента импульса.
9. Определить траекторию частицы в поле $U(r) = -\alpha/r$, используя интеграл движения $\vec{A} = [\vec{r}, \vec{M}] - \alpha^2/r$.
10. При каких значениях момента импульса \vec{M} возможно финитное движение частицы в поле $U(r) = -U_0 \exp(-k^2 r^2)$?
11. Определить закон движения релятивистской заряженной частицы в постоянном однородном электрическом поле напряженности $\vec{E} \parallel 0x$, если в начальный момент времени частица находилась в точке пространства с координатой $\vec{r}_0 = \{x_0, 0\}$ и имела импульс $\vec{p}_0 \parallel 0y$.
12. Найти угол, который будет образовывать стержень длины l с осью $0x$ лабораторной системы отсчета, если в движущейся со скоростью $\vec{V} \parallel 0x$ системе отсчета стержень параллелен оси абсцисс и движется против оси ординат со скоростью v_0 .
13. Найти скорость релятивистской частицы, если известны её кинетическая энергия и импульс.
14. Свет массы μ падает на неподвижное тело массы покоя m_0 и полностью отражается в обратном направлении (т.е., масса покоя тела не меняется). Найти скорость тела после отражения и массу μ_1 отраженного света.
15. Свет массы μ падает на неподвижное тело массы покоя m_0 и отражается в обратном направлении с той же массой μ . Найти массу покоя и скорость тела после отражения.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Теоретическая физика. Том I. Механика / Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. - Москва : Физматлит, 2012., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=639819&idb=0>.

2. Теоретическая физика. Теория упругости / Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. - Москва : Физматлит, 2007., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=634780&idb=0>.
3. Перов Анатолий Александрович. Сборник задач по теоретической механике : учебно-методическое пособие / А. А. Перов, А. В. Тележников, Д. В. Хомицкий ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2017. - 79 с. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=823511&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Ольховский И. И. Курс теоретической механики для физиков : [учеб. для вузов по специальности "Физика"]. - 3-е изд., доп. и перераб. - М. : Изд-во МГУ, 1978. - 574 с. : ил. - 1.30., 1 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

Интернет-ресурсы Фундаментальной библиотеки ННГУ <http://www.lib.unn.ru>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению 09.03.02 - Информационные системы и технологии.

Автор(ы): Перов Анатолий Александрович, кандидат физико-математических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Фидельман Владимир Романович, доктор технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 20.05.2023, протокол № б/н.