МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»

Физический факультет
(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДАЮ:

и.о. декана _____ Малышев А.И.

« 30 » августа 2017 г.

Рабочая программа дисциплины

Теоретическая механика
(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования
бакалавриат
(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность
03.03.02 Физика
(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы
профиль "Теоретическая физика"
(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)
бакалавр
(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения
очная
(очная / очно-заочная / заочная)

Год набора
2015
(для обучающихся какого года набора разработана Рабочая программа)

Нижний Новгород – 2017

1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Теоретическая механика» относится к базовой части Б1.Б блока Б1 «Дисциплины (модули)», является обязательной для освоения, преподается на втором году обучения, в четвертом семестре. Освоению дисциплины предшествует освоение дисциплин (модулей) «Математический анализ», «Аналитическая геометрия», «Дифференциальные уравнения», «Механика», «Общий физический практикум (механика)».

Целями освоения дисциплины «Теоретическая механика» являются:

- овладение методами исследования математических и физических моделей объектов и процессов в окружающем мире, основанных на принципах аналитической механики, состоящих в применении методов Ньютона, Лагранжа и Гамильтона при описании динамики классических механических систем;
- изучение фундаментальных законов и положений, определяющих движение классических релятивистских и нерелятивистских механических систем;
- выработка у студентов практических навыков описания сложных процессов и закономерностей физики на языке адекватных обобщенных механических моделей.

2. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины «Теоретическая механика» составляет 4 зачетных единицы, всего 144 часа, из которых 83 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (3 часа – мероприятия промежуточной аттестации; 48 часов занятия лекционного типа, 32 часа занятия семинарского типа (практические занятия), в том числе 2 часа – мероприятия текущего контроля успеваемости), 61 час составляет самостоятельная работа обучающегося (25 часов самостоятельная работа в течение семестра, 36 часов самостоятельная работа при подготовке к промежуточной аттестации).

Содержание дисциплины «Теоретическая механика»

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе				
		контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) в течение семестра, часы, из них				Самостоятельная работа в течение семестра, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
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.	12	5	4	–	9	3
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.	12	5	4	–	9	3
3. Интегрирование уравнений движения. Принцип относительности Галилея. Обратимость механического движения. Механическое подобие.	12	5	4	–	9	3

Теорема о средних энергиях (теорема вириала). Одномерное движение. Движение вблизи точки поворота. Период колебаний для финитного движения, его зависимость от полной механической энергии.						
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.	12	5	4	–	9	3
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 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.	13	6	4	–	10	3
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.	12	6	3	–	9	3

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.						
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.	12	6	3	–	9	3
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.	10	5	3	–	8	2
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.	10	5	3	–	8	2
В т.ч. текущий контроль	2	2				–
Промежуточная аттестация – **зачет и экзамен**						

3. Образовательные технологии

1) Чтение лекций;

2) сопровождение лекций написанием и выводом формул, построением графиков, изображением рисунков на доске;

3) методика «вопросы и ответы»;

4) выполнение практического задания у доски;

5) индивидуальная работа над практическим заданием;

6) работа в парах над практическим заданием;

7) работа в малых группах над практическим заданием;

8) методика «мозговой штурм».

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся предполагает изучение конспектов лекций, выделенных разделов основной литературы, а также дополнительной литературы, выполнение практических заданий, отвечающих изучаемым разделам дисциплины, подготовку к промежуточной аттестации.

Перечень основной и дополнительной литературы для самостоятельного изучения приведен в п. 7 настоящей Рабочей программы дисциплины.

Контрольные вопросы для промежуточной аттестации, примеры практических заданий приведены в п. 6.3 настоящей Рабочей программы дисциплины.

5. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ОПК-3 способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач	(ОПК-3) **Знать** области применимости основных моделей теоретической механики. (ОПК-3) **Уметь** решать в рамках профессиональной деятельности задачи, требующие знания основ теоретической механики. (ОПК-3) **Владеть** навыками решения основных типов задач теоретической механики.
ПК-1 способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	(ПК-1) **Знать** принципы применения аппарата теоретической механики в приложении к профильным физическим дисциплинам. (ПК-1) **Уметь** формулировать задачи в рамках профильных физических и дисциплин, требующие применения аппарата теоретической механики. (ПК-1) **Владеть** навыками постановки и решения основных типов задач

	теоретической механики, требующимися для моделирования профильных задач физики.
ПК-4 способность применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин	(ПК-4) **Знать** принципы применения аппарата теоретической механики в приложении к практическим задачам в рамках профессиональной деятельности. (ПК-4) **Уметь** формулировать практические задачи в рамках профессиональной деятельности, требующие применения аппарата теоретической механики. (ПК-4) **Владеть** навыками постановки и решения основных типов задач теоретической механики, требующимися для решения практических задач в рамках профессиональной деятельности.

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

6.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Промежуточной аттестацией для дисциплины «Теоретическая механика» являются **зачет и экзамен.**

По итогам зачета выставляются оценки «Не зачтено» (означает отсутствие аттестации) или «Зачтено» (означает прохождение первого этапа промежуточной аттестации – зачета). В случае прохождения зачета обучающийся допускается ко второму этапу промежуточной аттестации – экзамену.

По итогам экзамена выставляется оценка по семибалльной шкале: оценки «Плохо» и «Неудовлетворительно» означают отсутствие аттестации, оценки «Удовлетворительно», «Хорошо», «Очень хорошо», «Отлично» и «Превосходно» выставляются при успешном прохождении аттестации.

6.2. Процедуры и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- индивидуальное собеседование (промежуточная аттестация).

Контрольные вопросы для индивидуального собеседования представлены в п. 6.3 настоящей Рабочей программы дисциплины.

Для оценивания результатов обучения в виде умений и навыков используются следующие процедуры и технологии:

- выполнение практических заданий (текущий контроль, промежуточная аттестация).

Примеры практических заданий для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации представлены в п. 6.3 настоящей Рабочей программы дисциплины.

Критериями оценивания на зачете являются наличие умений и владений (навыков), перечисленных в п. 5 настоящей Рабочей программы дисциплины. Критериями оценивания на экзамене являются полнота знаний, наличие умений и владений (навыков), перечисленных в п. 5 настоящей Рабочей программы дисциплины.

«Не зачтено» – обучающийся не показал минимально допустимый уровень умений и навыков выполнения практических заданий;

«Зачтено» – обучающийся успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий базового уровня сложности;

«Плохо» – обучающийся не продемонстрировал никаких знаний об основных теоретических разделах курса, не показал никаких умений и навыков выполнения практических заданий;

«Неудовлетворительно» – обучающийся не продемонстрировал представления об основных теоретических разделах курса, не показал минимально допустимый уровень умений и навыков выполнения практических заданий;

«Удовлетворительно» – обучающийся продемонстрировал изложение формулировок основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий базового уровня сложности;

«Хорошо» – обучающийся продемонстрировал связное изложение основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения стандартных практических заданий;

«Очень хорошо» – обучающийся продемонстрировал связное изложение практически всех теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения стандартных практических заданий;

«Отлично» – обучающийся продемонстрировал связное изложение всех теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий повышенного уровня сложности;

«Превосходно» – обучающийся продемонстрировал уровень знаний в объеме, превышающем стандартную программу подготовки, и продемонстрировал творческий подход к выполнению практических заданий повышенного уровня сложности.

6.3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

6.3.1. При проведении экзамена предлагаются следующие контрольные вопросы, охватывающие программу дисциплины «Теоретическая механика»:

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.

6.3.2. При проведении зачета обучающимся предлагаются следующие вопросы:

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.

6.3.3. Примеры практических заданий для практических занятий, самостоятельной работы обучающихся, проведения текущего контроля и промежуточной аттестации:

1. Определить период одномерного движения частицы массы m с энергией E в потенциальном поле вида $U(x) = -U_0/ch^2(\alpha x),\ (-U_0 < E < 0)$.
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 $\vec{H} \| 0z$, если векторный потенциал $\vec{A}$ магнитного поля выбран в виде $\vec{A} = \{0, H \cdot x, 0\},\ \vec{H} = rot\ \vec{A}$.
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 $H = \dfrac{\vec{p}^2}{2m} - \vec{p} \cdot \vec{a}$, 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 $\vec{A} = [\vec{V}, \vec{M}] - a\vec{r}/r$.
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 $\vec{E} \| 0x$, если в начальный момент времени частица находилась в точке пространства с координатой $\vec{r}_0 = \{x_0, 0\}$ и имела импульс $\vec{p}_0 \| 0y$.
12. Найти угол, который будет образовывать стержень длины l с осью $0x$ лабораторной системы отсчета, если в движущейся со скоростью $\vec{V} \| 0x$

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.

6.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания

1. Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утвержденное приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 №55-ОД.

2. Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Теоретическая механика»

а) основная литература:

1) Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, Теоретическая физика. Т.1 Механика: учеб. Пособие, М., Физматлит, 2007, 224 с. https://e.lanbook.com/book/2231

2) Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, Теоретическая физика. Т.7 Теория упругости: учеб. Пособие, М., Физматлит, 2007, 264 с. https://e.lanbook.com/book/2233

3) 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. http://www.unn.ru/books/met_files/TeorMex_Perov.rtf

б) дополнительная литература:

И.И.Ольховский, Курс теоретической механики для физиков. М., МГУ, 1978, 575 с. Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ, абонемент физического факультета, 15 экз.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

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

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Материально-техническое обеспечение дисциплины обусловлено наличием учебных аудиторий для проведения занятий, оборудованных специализированной мебелью, меловыми или магнитно-маркерными досками для представления учебной информации большой аудитории. Ресурс мела и маркеров для доски в учебных аудиториях регулярно возобновляется.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся (на базе Фундаментальной библиотеки ННГУ) оснащены компьютерной техникой с подключением к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 Физика.

Автор:

доцент кафедры теоретической физики
физического факультета,
к. ф.-м. н., доцент _____ / Перов А.А. /

Рецензент:

И.о. зав. кафедрой теоретической физики
физического факультета,
д. ф.-м. н., доцент _____ / Бурдов В.А. /

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии физического факультета ННГУ от 30 августа 2017 года, протокол № б/н

Председатель
Учебно-методической комиссии
физического факультета ННГУ _____ / Сдобняков В.В. /