

27 +

Учреждение образования
«Международный государственный экологический институт
имени А.Д. Сахарова»
Белорусского государственного университета

УТВЕРЖДАЮ

Директор МГЭИ им. А.Д. Сахарова
БГУ

О. И. Родькин

26 сентября 2024

Регистрационный № УД-1633-24/уч.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

Учебная программа учреждения образования по учебной дисциплине для
специальности:

6-05-0533-03 Медицинская физика

2024 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 6-05-0533-03-2023 Медицинская физика от 01.09.2023 и учебного плана учреждения образования для специальности Медицинская физика Рег.№158-23/уч. от 07.04.2023

СОСТАВИТЕЛИ:

О.В. Гусакова, доцент кафедры ядерных и медицинских технологий учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» БГУ, кандидат физико-математических наук, доцент

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

В.А. Иванюкович, доцент кафедры информационных технологий в экологии и медицине учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» БГУ, кандидат физико-математических наук, доцент;

А.В. Басалай, ученый секретарь государственного научного учреждения «Физико-технический институт национальной академии наук Беларуси», кандидат технических наук, доцент

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой ядерных и медицинских технологий «Международного государственного экологического института им. А.Д. Сахарова» БГУ
(протокол № 4 от 19.11.2024);

Научно-методическим советом учреждения образования «Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова» БГУ
(протокол № 4 от 26.12.2024)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Дисциплина «Теоретическая механика» играет особую роль в подготовке инженеров специалистов по радиационной защите. С одной стороны, она является основой для изучения некоторых разделов курса физики, в том числе «Термодинамика и статистическая физика», «Основы квантовой механика», а также таких специальных дисциплин, как «Физика ядра и ионизирующего излучения», «Защита от ионизирующего излучения» и др.

Цель учебной дисциплины «Теоретическая механика» – формирование у студентов представления об основных идеях и методах теоретической физики.

Задачи учебной дисциплины «Теоретическая механика»:

- подготовить студента к изучению последующих разделов теоретической физики;
- ознакомить на примерах сравнительно простых физических систем с теми терминами и понятиями, которые используются в теоретической физике;
- изложить лагранжеву и гамильтонову формулировки механики, формализм Гамильтона – Якоби;
- обучить выбору наиболее удобной формулировки механики к решению некоторых задач;
- подготовить студентов к изучению дисциплин специальности.

Ввиду сравнительно небольшого объема аудиторной нагрузки, выделяемого в учебном плане специальности 6-05-0533-03 «Медицинская физика» для изучения теоретической механики, из множества вопросов, традиционно входящих в курс теоретической механики для технических специальностей вузов, выбраны темы, затрагивающие основные подходы к формулировке механики, кроме ньютоновского, изучавшегося в разделе «Механика» курса физики: лагранжев и гамильтонов формализм, уравнение Гамильтона – Якоби. На их основе рассматриваются некоторые достаточно сложные вопросы механики, которые из-за отсутствия должной математической подготовки не могли быть развиты в должной мере в разделе «Механика» курса физики, а именно: движение заряженных частиц в электромагнитных полях, вращательное движение твердого тела. Это создает основу для понимания приложений теоретической механики к описанию работы машин и механизмов.

При изучении учебной дисциплины обучающийся должен усвоить следующие **компетенции**:

- Решать уравнения движения механики, проводить анализ механических систем, рассчитывать движение газов и жидкостей, используя законы сохранения энергии и импульса, лагранжев и гамильтонов формализмы для решения задач экспериментального и теоретического исследования изучаемых объектов (БПК-16);
- Владеть основами исследовательской деятельности, осуществлять поиск, анализ и синтез информации (УК-1).

В результате усвоения дисциплины студент должен

знать:

- основные подходы к концептуальной формулировке механики и области их применения;
- типовые подходы к описанию механических колебаний;
- условия механического равновесия тел;
- основные прикладные задачи механики и способы их решения;

уметь:

- решать типовые задачи кинематики и динамики материальной точки, систем материальных точек и твердого тела;
- вычислять основные частоты нормальных колебаний;
- исследовать резонансное поведение колебательных систем;
- решать задачи на движение типовых частей машин и механизмов;

владеть

- понятийным аппаратом теоретической механики;
- навыками применения классических методов теоретической механики к анализу математических моделей формализованных материальных объектов.

Учебная программа по учебной дисциплине «Теоретическая механика» рассчитана на 138 учебных часа, из них 90 аудиторных часа, в том числе:

- лекции – 50 часов,
- практические занятия – 40.

Форма промежуточной аттестации по дисциплине – экзамен в 4 семестре.

Форма получения высшего образования – очная (дневная).

Трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Контроль знаний предполагает проведение проверочных работ, сдачу отчетов по практическим занятиям.

На практических занятиях следует обратить внимание на решение задач с техническим содержанием. При разработке учебной программы допустимо производить необходимый отбор и перестановку материала.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Кинематика. Исходные понятия, задачи кинематики

Ньютоновское определение предмета теоретической механики. Кинематика и динамика — разделы курса теоретической механики. Пространство и время в классической механике. Материальная точка. Материальная система. Задачи кинематики.

Тема 2. Кинематика точки

Скорость и ускорение точки. Естественный трехгранник. Теорема Гюйгенса о разложении ускорения точки на тангенциальное и нормальное.

Скорость и ускорение точки в полярных координатах.

Криволинейные координаты. Коэффициенты Ламе. Скорость и ускорение точки в криволинейных координатах.

Тема 3. Кинематика твердого тела

Твердое тело. Задачи кинематики твердого тела. Задание движения твердого тела. Углы Эйлера. Теорема Эйлера о конечном перемещении твердого тела, имеющего неподвижную точку. Теорема Шаля о конечных перемещениях твердого тела.

Скорость и ускорение твердого тела при поступательном движении. Понятие о мгновенном кинематическом состоянии твердого тела. Скорости и ускорения точек твердого тела в общем случае его движения. Угловая скорость. Угловое ускорение. Частные случаи: вращение твердого тела вокруг неподвижной оси, вращение вокруг неподвижной точки.

Плоское движение твердого тела. Мгновенный центр скоростей. Мгновенный центр ускорений.

Тема 4. Кинематика сложного движения точки и твердого тела

Абсолютная и относительная производные вектора и соотношение между ними.

Понятие сложного движения точки. Теорема о сложении скоростей при сложном движении точки. Теорема Кориолиса о сложении ускорений при сложном движении точки.

Понятие сложного движения твердого тела. Сложение мгновенно поступательных движений, сложение мгновенных вращений вокруг пересекающихся осей. Угловая скорость твердого тела — скользящий вектор. Кинематические уравнения Эйлера. Сложение вращений вокруг параллельных осей. Пара вращений.

Общий случай сложения мгновенных движений твердого тела; приведение общего случая к случаям простейших мгновенных движений.

Тема 5. Общие основания кинематики системы

Свободные и несвободные системы. Связи, их классификация. Системы голономные и неголономные.

Возможные положения, скорости, ускорения и перемещения точек системы. Действительные и виртуальные перемещения. Синхронное варьирование.

Число степеней свободы системы. Обобщенные координаты. Координатное пространство. Обобщенные скорости и ускорения.

Тема 6. Основные понятия и аксиомы динамики

Инерциальные системы отсчета. Принцип относительности Галилея. Первый закон Ньютона (аксиома инерции). Сила. Масса. Второй закон Ньютона. Третий закон Ньютона (аксиома взаимодействия материальных точек). Аксиома о параллелограмме сил, приложенных к материальной точке. Активные силы и реакции связей.

Принцип детерминированности Ньютона–Лапласа. Силы внешние и внутренние. Задачи динамики. Равновесие. Статика. Главный вектор и главный момент системы сил.

Элементарная работа сил системы. Работа сил, приложенных к твердому телу. Силовое поле. Силовая функция. Потенциальная энергия.

Элементарная работа сил системы в обобщенных координатах. Обобщенные силы. Идеальные связи. Выражение реакций идеальных связей при помощи их уравнений и неопределенных множителей Лагранжа.

Тема 7. Основные теоремы динамики

Центр масс (центр инерции) системы. Понятие о движении системы относительно центра масс; кинематика системы координат.

Количество движения. Теорема об изменении количества движения системы в инерциальной системе отсчета. Теорема о движении центра масс.

Момент количества движения (кинетический момент) относительно заданного центра. Соотношение между его значениями для различных центров. Теорема Кенига о вычислении кинетического момента. Теорема об изменении кинетического момента в инерциальной системе отсчета.

Кинетическая энергия системы. Теорема Кенига о вычислении кинетической энергии. Теорема об изменении кинетической энергии в инерциальной системе отсчета.

Основные теоремы динамики в неинерциальной системе отсчета и для движения относительно центра масс.

Тема 8. Геометрия масс

Момент инерции системы относительно оси. Моменты инерции относительно параллельных осей; теорема Гюйгенса–Штейнера.

Тензор и эллипсоид инерции. Главные оси инерции. Свойства осевых моментов инерции.

Тема 9. Динамика твердого тела

Кинетический момент твердого тела, вращающегося вокруг неподвижной оси или вокруг неподвижной точки.

Кинетическая энергия твердого тела в частных случаях: поступательного движения, вращения вокруг неподвижной оси, вращения вокруг неподвижной точки, произвольного свободного движения, плоского движения.

Дифференциальное уравнение вращения твердого тела вокруг неподвижной оси. Дифференциальные уравнения движения свободного твердого тела. Уравнения плоского движения твердого тела.

Дифференциальные уравнения движения твердого тела вокруг неподвижной точки. Динамические уравнения Эйлера.

Случай Эйлера движения твердого тела вокруг неподвижной точки: первые интегралы динамических уравнений; перманентные вращения; регулярная прецессия в случае динамической симметрии тела.

Вынужденная регулярная прецессия динамически симметричного твердого тела. Основная формула гироскопии. Понятие об элементарной теории гироскопов.

Тема 10. Дифференциальные вариационные принципы механики

Общее уравнение динамики (принцип Даламбера–Лагранжа).

Общее уравнение статики (принцип виртуальных перемещений). Принцип виртуальных перемещений в обобщенных координатах. Случай потенциального поля сил.

Тема 11. Дифференциальные уравнения аналитической динамики

Уравнения Лагранжа первого рода.

Общее уравнение динамики в обобщенных координатах.

Уравнения Лагранжа второго рода.

Уравнения Лагранжа второго рода в случае потенциальных сил. Функция Лагранжа. Разрешимость уравнений Лагранжа относительно обобщенных ускорений.

Теорема об изменении полной механической энергии. Гироскопические силы. Диссипативные силы, функция Релея.

Обобщенный потенциал. Натуральные и ненатуральные системы.

Понятие о неоднозначности выбора функции Лагранжа материальной системы по ее уравнениям движения.

Первые интегралы лагранжевых систем.

Обобщенные импульсы. Преобразование Лежандра. Теорема Донкина о преобразовании Лежандра. Канонические уравнения Гамильтона. Физический смысл функции Гамильтона. Интеграл Якоби. Время и энергия как канонически сопряженные переменные. Понижение порядка системы дифференциальных уравнений Гамильтона в случае существования циклических координат.

Скобки Лагранжа. Скобки Пуассона и их свойства. Скобки Пуассона и первые интегралы. Теорема Якоби–Пуассона.

Тема 12. Канонические преобразования

Понятие канонического преобразования. Обобщенная симплектичность матрицы Якоби – необходимое и достаточное условие каноничности

преобразования. Другие критерии каноничности преобразования (выражение их через скобки Лагранжа, через скобки Пуассона, посредством дифференциальной формы).

Инвариантность скобок Пуассона при канонических преобразованиях. Канонические преобразования и процесс движения.

Теорема Лиувилля о сохранении фазового объёма.

Свободное каноническое преобразование и его производящая функция.

Канонические преобразования с производящей функцией, зависящей от старых координат и новых импульсов. Понятие о канонических преобразованиях, близких к тождественным и их применении в теории возмущений.

Тема 13. Метод Якоби интегрирования уравнений динамики

Уравнение Гамильтона–Якоби. Полный интеграл. Теорема Якоби.

Уравнение Гамильтона–Якоби для систем с циклическими координатами. Уравнение Гамильтона–Якоби для консервативных и обобщенно-консервативных систем. Разделение переменных.

Теорема Лиувилля об интегрируемости гамильтоновой системы в квадратурах.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

(для очной (дневной) формы получения образования)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1.	Введение Кинематика. Исходные понятия, задачи кинематики	2						1,2,3
2.	Кинематика точки	2	2					1,2,3
3.	Кинематика твердого тела	4	4					1,2,3
4.	Кинематика сложного движения точки и твердого тела	4	4					1,2,3
5.	Общие основания кинематики системы	4	2					1,2,3
6.	Основные понятия и аксиомы динамики	4	2					1,2,3
7.	Основные теоремы динамики	4	6					1,2,3
8.	Геометрия масс	6	2					1,2,3
9.	Динамика твердого тела	6	4					1,2,3
10.	Дифференциальные вариационные принципы механики	4	4					1,2,3
11.	Дифференциальные уравнения аналитической динамики	6	6					1,2,3
12.	Канонические преобразования	2	2					1,2,3
13.	Метод Якоби интегрирования уравнений динамики	2	2					1,2,3
	ИТОГО	50	40					

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Инновационные методы и подходы к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используется практико-ориентированный подход, который предполагает освоение содержания образования через решения практических задач; метод учебной дискуссии, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме; а также методы развития критического мышления, формирующие навыки работы с информацией в процессе чтения и письма.

Рекомендуемая литература

Основная

1. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика: учеб. пособие: в 10 т. Т. 1 : Механика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц ; под ред. Л.П. Питаевского. – Изд. 5-е, стер. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 224 с.
2. Горбач, Н.И. Теоретическая механика. Динамика: учеб. пособие / Н.И. Горбач. – 2-е изд., испр. – Минск : Выш. шк., 2012. – 320 с.
3. Тарг, С.М. Краткий курс теоретической механики : учебник для ВУЗов / С.М. Тарг. - Изд. 19-е, стер. - М. : Высш. шк., 2009. – 416 с.

Дополнительная

1. Яковенко, Г.Н. Краткий курс теоретической механики : учебное пособие / Г.Н. Яковенко. – М. : БИНОМ./ Лаборатория знаний, 2006. – 116 с.
2. Смиловенко, О.О. Техническая механика: учебник / О.О. Смиловенко, Т.М. Мартыненко, С.А. Лосик. – Минск : РИВШ, 2021. – 520 с.
3. Яковенко, В.А. Общая физика. Механика: учебник / В.А. Яковенко, Г.А. Заборовский, С.В. Яковенко ; под общ. ред. В.А. Яковенко. – Минск : Выш. шк., 2015. – 383 с.
4. Сурин, В.М. Прикладная механика: учеб. пособие / В.М. Сурин. – 3-е изд., испр. – Минск : Новое знание, 2008. – 388 с.
5. Маркеев, А.П. Теоретическая механика: учебник для университетов / А.П. Маркеев. – Москва: ЧеРо, 1999. – 572 с.

Наименования и виды методических средств:

№ п / п	Наименование	Вид
1	Презентации РРТ	электронный файл

Формы контроля знаний:

№ п / п	Форма
1	Выборочный контроль на лекциях
2	Проведение контрольных работ в группе
3	Проведение экзамена по курсу

Примерный перечень тем практических занятий**Тема 2. Кинематика точки**

Скорость и ускорение точки. Естественный трехгранник. Теорема Гюйгенса о разложении ускорения точки на тангенциальное и нормальное.

Скорость и ускорение точки в полярных координатах.

Криволинейные координаты. Коэффициенты Ламе. Скорость и ускорение точки в криволинейных координатах.

Тема 3. Кинематика твердого тела

Твердое тело. Задачи кинематики твердого тела. Задание движения твердого тела. Углы Эйлера. Теорема Эйлера о конечном перемещении твердого тела, имеющего неподвижную точку. Теорема Шаля о конечных перемещениях твердого тела.

Скорость и ускорение твердого тела при поступательном движении. Понятие о мгновенном кинематическом состоянии твердого тела. Скорости и ускорения точек твердого тела в общем случае его движения. Угловая скорость. Угловое ускорение. Частные случаи: вращение твердого тела вокруг неподвижной оси, вращение вокруг неподвижной точки.

Плоское движение твердого тела. Мгновенный центр скоростей. Мгновенный центр ускорений.

Тема 4. Кинематика сложного движения точки и твердого тела

Абсолютная и относительная производные вектора и соотношение между ними.

Понятие сложного движения точки. Теорема о сложении скоростей при сложном движении точки. Теорема Кориолиса о сложении ускорений при сложном движении точки.

Понятие сложного движения твердого тела. Сложение мгновенно поступательных движений, сложение мгновенных вращений вокруг пересекающихся осей. Угловая скорость твердого тела – скользящий

вектор. Кинематические уравнения Эйлера. Сложение вращений вокруг параллельных осей. Пара вращений.

Общий случай сложения мгновенных движений твердого тела; приведение общего случая к случаям простейших мгновенных движений.

Тема 5. Общие основания кинематики системы

Свободные и несвободные системы. Связи, их классификация. Системы голономные и неголономные.

Возможные положения, скорости, ускорения и перемещения точек системы. Действительные и виртуальные перемещения. Синхронное варьирование.

Число степеней свободы системы. Обобщенные координаты. Координатное пространство. Обобщенные скорости и ускорения.

Тема 6. Основные понятия и аксиомы динамики

Инерциальные системы отсчета. Принцип относительности Галилея. Первый закон Ньютона (аксиома инерции). Сила. Масса. Второй закон Ньютона. Третий закон Ньютона (аксиома взаимодействия материальных точек). Аксиома о параллелограмме сил, приложенных к материальной точке. Активные силы и реакции связей.

Принцип детерминированности Ньютона–Лапласа. Силы внешние и внутренние. Задачи динамики. Равновесие. Статика. Главный вектор и главный момент системы сил.

Элементарная работа сил системы. Работа сил, приложенных к твердому телу. Силовое поле. Силовая функция. Потенциальная энергия.

Элементарная работа сил системы в обобщенных координатах. Обобщенные силы. Идеальные связи. Выражение реакций идеальных связей при помощи их уравнений и неопределенных множителей Лагранжа.

Тема 7. Основные теоремы динамики

Центр масс (центр инерции) системы. Понятие о движении системы относительно центра масс; кениговы системы координат.

Количество движения. Теорема об изменении количества движения системы в инерциальной системе отсчета. Теорема о движении центра масс.

Момент количества движения (кинетический момент) относительно заданного центра. Соотношение между его значениями для различных центров. Теорема Кенига о вычислении кинетического момента. Теорема об изменении кинетического момента в инерциальной системе отсчета.

Кинетическая энергия системы. Теорема Кенига о вычислении кинетической энергии. Теорема об изменении кинетической энергии в инерциальной системе отсчета.

Основные теоремы динамики в неинерциальной системе отсчета и для движения относительно центра масс.

Тема 8. Геометрия масс

Момент инерции системы относительно оси. Моменты инерции относительно параллельных осей; теорема Гюйгенса–Штейнера.

Тензор и эллипсоид инерции. Главные оси инерции. Свойства осевых моментов инерции.

Тема 9. Динамика твердого тела

Кинетический момент твердого тела, вращающегося вокруг неподвижной оси или вокруг неподвижной точки.

Кинетическая энергия твердого тела в частных случаях: поступательного движения, вращения вокруг неподвижной оси, вращения вокруг неподвижной точки, произвольного свободного движения, плоского движения.

Дифференциальное уравнение вращения твердого тела вокруг неподвижной оси. Дифференциальные уравнения движения свободного твердого тела. Уравнения плоского движения твердого тела.

Дифференциальные уравнения движения твердого тела вокруг неподвижной точки. Динамические уравнения Эйлера.

Случай Эйлера движения твердого тела вокруг неподвижной точки: первые интегралы динамических уравнений; перманентные вращения; регулярная прецессия в случае динамической симметрии тела.

Вынужденная регулярная прецессия динамически симметричного твердого тела. Основная формула гироскопии. Понятие об элементарной теории гироскопов.

Тема 10. Дифференциальные вариационные принципы механики

Общее уравнение динамики (принцип Даламбера–Лагранжа).

Общее уравнение статики (принцип виртуальных перемещений). Принцип виртуальных перемещений в обобщенных координатах. Случай потенциального поля сил.

Тема 11. Дифференциальные уравнения аналитической динамики

Уравнения Лагранжа первого рода.

Общее уравнение динамики в обобщенных координатах.

Уравнения Лагранжа второго рода.

Уравнения Лагранжа второго рода в случае потенциальных сил. Функция Лагранжа. Разрешимость уравнений Лагранжа относительно обобщенных ускорений.

Теорема об изменении полной механической энергии. Гироскопические силы. Диссипативные силы, функция Релея.

Обобщенный потенциал. Натуральные и ненатуральные системы.

Понятие о неоднозначности выбора функции Лагранжа материальной системы по ее уравнениям движения.

Первые интегралы лагранжевых систем.

Обобщенные импульсы. Преобразование Лежандра. Теорема Донкина о преобразовании Лежандра. Канонические уравнения Гамильтона. Физический смысл функции Гамильтона. Интеграл Якоби. Время и энергия как канонически сопряженные переменные. Понижение порядка системы дифференциальных уравнений Гамильтона в случае существования циклических координат.

Скобки Лагранжа. Скобки Пуассона и их свойства. Скобки Пуассона и первые интегралы. Теорема Якоби–Пуассона.

Тема 12. Канонические преобразования

Понятие канонического преобразования. Обобщенная симплектичность матрицы Якоби – необходимое и достаточное условие каноничности преобразования. Другие критерии каноничности преобразования (выражение их через скобки Лагранжа, через скобки Пуассона, посредством дифференциальной формы).

Инвариантность скобок Пуассона при канонических преобразованиях. Канонические преобразования и процесс движения.

Теорема Лиувилля о сохранении фазового объёма.

Свободное каноническое преобразование и его производящая функция.

Канонические преобразования с производящей функцией, зависящей от старых координат и новых импульсов. Понятие о канонических преобразованиях, близких к тождественным и их применении в теории возмущений.

Тема 13. Метод Якоби интегрирования уравнений динамики

Уравнение Гамильтона–Якоби. Полный интеграл. Теорема Якоби.

Уравнение Гамильтона–Якоби для систем с циклическими координатами. Уравнение Гамильтона–Якоби для консервативных и обобщенно-консервативных систем. Разделение переменных.

Теорема Лиувилля об интегрируемости гамильтоновой системы в квадратурах.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ С ДРУГИМИ ДИСЦИПЛИНАМИ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях содержания учебной программы изучаемой дисциплины	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Согласование с другими дисциплинами специальности не требуется			