

**Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования Московской области
«Международный университет природы, общества и человека «Дубна»
(университет «Дубна»)
Факультет естественных и инженерных наук
Кафедра теоретической физики**

УТВЕРЖДАЮ
проректор по учебной работе
_____ С.В. Моржухина
«_____» _____ 2011 г.

Модуль: Теоретическая физика

Дисциплина: «Теоретическая физика»
Раздел «Механика. Основы механики сплошных сред»

Направление 010700.62 «ФИЗИКА»

Специализация «Теоретическая физика»

Форма обучения: очная

Уровень подготовки: бакалавр

Курс 2, семестр 4

Курс 3, семестр 5

г. Дубна, 2011 г.

1. Требования ГОС ВПО

Частица и материальная точка. Теория относительности Галилея и Эйнштейна. Нерелятивистские и релятивистские уравнения движения частицы. Взаимодействия частиц, поля. Законы сохранения. Общие свойства одномерного движения. Колебания. Движение в центральном поле. Система многих взаимодействующих частиц. Рассеяние частиц. Механика частиц со связями, уравнения Лагранжа. Принцип наименьшего действия. Движение твердого тела. Движение относительно неинерциальных систем отсчета. Колебания систем со многими степенями свободы. Нелинейные колебания. Канонический формализм, уравнения Гамильтона, канонические преобразования, теорема Лиувилля. Метод Гамильтона-Якоби, адиабатические инварианты.

Система многих частиц как континуум. Скалярные, векторные и тензорные поля. Явления переноса. Континуальные уравнения сохранения, уравнение состояния, замкнутая система уравнений гидродинамики. Течения в идеальной жидкости. Вязкость, турбулентность, закон подобия. Звуковые волны. Ударные волны. Сверхзвуковые течения.

2. Аннотация

Программа дисциплины «Механика. Основы механики сплошных сред» составлена в соответствии с разделом **ОПД.Ф.** ГОС ВПО для подготовки бакалавров по направлению: 010700.62 (510400.62) «Физика». Курс «Механика. Основы механики сплошных сред» является разделом дисциплины «Теоретическая физика», который входит в цикл общих профессиональных дисциплин (**ОПД**).

Место курса в профессиональной подготовке бакалавров

«Механика» является первой частью университетского курса теоретической физики. Большое количество понятий, методов механики используется в других разделах теоретической физики.

Предполагается наличие у студента знаний в рамках стандартного курса математического анализа (производная, интеграл, дифференциальное уравнение), аналитической геометрии и линейной алгебры, основ теории функций комплексной переменной и умение решать задачи механики из курса общей физики.

Формы работы студентов в ходе изучения дисциплины предусмотрены лекции, семинарские занятия, выполнение домашних работ. Отдельные темы теоретического курса прорабатываются студентами самостоятельно.

Самостоятельная работа: подготовка к семинарским занятиям, выполнение домашних работ.

Виды текущего контроля – проверка домашних заданий, контрольных работ. Текущий контроль проводится, чтобы установить степень усвоения студентами лекционного материала, а также проверить их навыки решения классических задач механики.

Форма промежуточного контроля: экзамен.

3. Цели и задачи дисциплины

В задачу курса входит изучение основных принципов механики, а также решение классических задач механики. Рассматриваются лагранжева и гамильтонова формулировки уравнений механики, законы сохранения, теория столкновений частиц, теория колебаний и движение твердого тела. Задачей механики сплошных сред является изучение всевозможных движений таких систем частиц, которые можно рассматривать как континуум, пренебрегая деталями структуры на малых расстояниях. Большое количество понятий, методов механики и механики сплошных сред используется в других разделах теоретической физики.

4. Требования к уровню освоения содержания дисциплины (знания, умения, навыки)

Изучив материал I части данного курса, студент должен:

Уметь качественно исследовать форму траектории тела, движущегося в произвольном центральном поле, точно решать задачу Кеплера, сводить задачу двух тел к движению в центральном поле.

Знать свойства функции Лагранжа, по известной функции Лагранжа находить уравнения движения и законы сохранения. **Знать** особенности движения в неинерциальных системах отсчета.

Получать информацию о результатах упругих столкновений частиц, пользуясь законами сохранения энергии и импульса. Свободно **переходить** от лабораторной системы отсчета к системе центра масс. **Находить** эффективное сечение рассеяния заряженных частиц в кулоновском поле.

Получать и решать уравнение малых (линейных) колебаний (свободных и вынужденных) вблизи положения равновесия, исследовать нормальные колебания систем с большим числом степеней свободы. **Изучать** малые колебания при наличии трения. **Знать** условия возникновения параметрического резонанса. **Иметь представление** о нелинейных колебаниях и методе Крылова-Боголюбова.

Знать определение тензора инерции твердого тела и кинематику твердого тела. **Уметь** получать уравнения движения твердого тела и условия его равновесия. **Решать** задачу о движении симметрического волчка.

Уметь вычислить функцию Гамильтона механической системы с помощью преобразования Лежандра и получить канонические уравнения. **Знать** определение скобок Пуассона и их свойства. **Иметь понятие** о фазовом пространстве, канонических преобразованиях, теореме Лиувилля и уравнении Гамильтона-Якоби.

Изучив материал II части данного курса, студент должен:

Уметь вывести и **применять** для практических расчетов уравнения движения идеальной несжимаемой жидкости в форме Эйлера, а также уравнение неразрывности. **Знать** происхождение уравнения Бернулли и **уметь** пользоваться этим уравнением для нахождения характеристик течения.

Владеть понятиями «завихренность», «циркуляция скорости», «функция тока», «потенциал скорости», «комплексный потенциал течения», «комплексная скорость», **уметь** записывать уравнения линий тока и вихревых линий, **знать** комплексные потенциалы элементарных течений – однородного поступательного, источника, стока, вихревой точки. Понимать происхождение подъемной силы, уметь получать формулу Жуковского.

Знать уравнения движения вязкой жидкости (Навье-Стокса), **уметь** записывать его для плоского случая в переменных «функция тока-завихренность». **Уметь** записывать систему уравнений движения сплошной среды в безразмерной форме, используя числа подобия –

числа Рейнольдса, Маха, Фруда. Владеть понятиями «ламинарное течение», «турбулентное течение».

Владеть понятиями «пограничный слой», «струя», уметь получать уравнение пограничного слоя.

Владеть понятиями, «пульсации скорости», «однородная турбулентность», «изотропная турбулентность», записывать уравнения турбулентного движения, знать закон Колмогорова-Обухова. Уметь записывать уравнение турбулентной струи.

5. Объем дисциплины и виды учебной работы

Вид занятий	Всего часов	4-й семестр	5-й семестр
Общая трудоемкость	210	100	100
Аудиторные занятия:	144	72	72
Лекции	72	36	36
Семинары	72	36	36
Самостоятельная работа:	66	48	18
Виды итогового контроля		Экзамен	Экзамен

6. Содержание дисциплины

Часть I

№	Раздел дисциплины	Л	С	СР
1	Уравнения движения	4	4	7
2	Законы сохранения	6	6	7
3	Интегрирование уравнений движения	6	4	7
4	Столкновения частиц	4	4	7
5	Малые колебания	6	4	7
6	Движения твердого тела	6	6	7
7	Канонический формализм	4	8	6

Часть II

№	Раздел дисциплины	Л	С	СР
1	Уравнения движения сплошной среды	6	6	3
2	Континуальные уравнения сохранения, уравнение состояния, замкнутая система уравнений гидродинамики	8	8	3
3	Течения в идеальной жидкости. Общие свойства безвихревых движений идеальной жидкости	6	6	3
4	Динамика вязкой несжимаемой жидкости. Закон подобия.	6	8	3
5	Турбулентность	6	8	3
6	Звуковые волны. Ударные волны. Сверхзвуковые течения.	4		3

Часть I

Уравнения движения

Частица и материальная точка. Основные понятия классической механики: координаты, время, скорость и ускорение. Системы координат в пространстве. Преобразование вектора при переходе от одной системы координат к другой. Принцип относительности Галилея, преобразования Галилея. *Теория относительности Галилея и Эйнштейна. Нерелятивистские и релятивистские уравнения движения частицы.*

Обобщенные координаты и скорости. Функция Лагранжа. Функционал действия. *Принцип наименьшего действия. Уравнения Лагранжа.* Свойства функции Лагранжа. Функция Лагранжа системы материальных точек, потенциальная энергия. *Система многих взаимодействующих частиц. Механика частиц со связями.* Уравнения Ньютона, определение потенциальной силы.

Законы сохранения

Интегралы движения механической системы. Закон сохранения энергии как следствие однородности времени. Однородность пространства и закон сохранения импульса. Центр инерции. Трехмерные вращения и изотропия пространства. Закон сохранения момента импульса. Циклическая координата и сохранение обобщенного импульса.

Интегрирование уравнений движения

Интегрирование уравнения одномерного движения. *Общие свойства одномерного движения.* Период колебания для финитного движения. Сведение задачи двух тел к движению частицы в потенциальном поле. Приведенная масса. *Движение в центрально-симметричном поле,* общие свойства траектории движения. Уравнение траектории движения для задачи Кеплера. Законы Кеплера для эллиптической орбиты. Параметрическое представление решений задачи Кеплера.

Столкновения частиц

Кинематика двухчастичного распада механической системы. Распределение вылетающих частиц по углам и энергиям. Кинематика упругого столкновения частиц в системе центра и в лабораторной системе. *Взаимодействия частиц, поля. Рассеяние частиц.* Вычисление угла отклонения в рассеянии частицы на силовом центре. Эффективное сечение рассеяния. Формула Резерфорда для эффективного сечения рассеяния частиц в кулоновском поле. Рассеяние под малыми углами.

Малые колебания

Свободные одномерные колебания. Колебания под действием периодической вынуждающей силы. Резонанс, биения. Колебания под действием произвольной вынуждающей силы. *Колебания систем со многими степенями свободы.* Нормальные колебания. Затухающие колебания. Вынужденные колебания при наличии трения.

Общие свойства нелинейных систем. *Малые нелинейные колебания.* Метод Крылова-Боголюбова.

Движения твердого тела

Угловая скорость вращения и кинематика движения твердого тела. Тензор инерции твердого тела, главные моменты инерции. Момент импульса твердого тела. Шаровой, симметрический и асимметрический волчки. Прецессия симметрического волчка. Углы Эйлера. Уравнения Эйлера движения твердого тела. Условия равновесия твердого тела. *Движение в неинерциальной системе отсчета*, сила Кориолиса и центробежная сила.

Канонический формализм

Преобразование Лежандра. Функция Гамильтона системы и канонические уравнения. (уравнения Гамильтона). Скобки Пуассона и их свойства. Интегрируемость гамильтоновых систем. Фазовое пространство. *Канонические преобразования. Теорема Лиувилля. Метод Гамильтона-Якоби*. Решение уравнения Гамильтона-Якоби методом разделения переменных. *Адиабатические инварианты*.

Часть II

Уравнения движения сплошной среды

Система многих частиц как континуум. Скалярные, векторные и тензорные поля. Явления переноса. Распределение массы в сплошной среде. Закон сохранения массы и уравнение неразрывности. Распределение сил в сплошной среде. Объемные и поверхностные силы. Тензор напряжений. Закон изменения количества движения и уравнения динамики в напряжениях. Закон моментов и симметрия тензора напряжений. Закон изменения кинетической энергии в механике сплошных сред. Динамика сплошной неоднородной среды. Теорема количества движения в эйлеровом представлении.

Континуальные уравнения сохранения, уравнение состояния, замкнутая система уравнений гидродинамики

Основные уравнения движения идеальной жидкости. Теорема сохранения вихрей. Теорема Бернулли.

Течения в идеальной жидкости. Общие свойства безвихревых движений идеальной жидкости

Теоремы Кельвина и Лагранжа. Условия существования безвихревых течений. Потенциал скоростей и его определение по заданному полю скоростей. Интеграл Лагранжа-Коши. Плоское безвихревое движение несжимаемой жидкости. Применение функций комплексного переменного. Комплексные потенциалы некоторых простейших потоков. Решение задачи обтекания методом конформного отображения. Формула циркуляции. Теорема Жуковского.

Динамика вязкой несжимаемой жидкости. Закон подобия.

Вязкость. Уравнение Навье-Стокса изотермического движения ньютоновской вязкой несжимаемой жидкости. *Закон подобия* течений вязкой несжимаемой жидкости. Обтекание шара при малых числах Рейнольдса. Формула Стокса. Диссипация механической энергии.

Турбулентность

Устойчивость стационарного движения жидкости. Турбулентность. Геометрическое описание турбулентности. Однородная и изотропная турбулентность. Закон Колмогорова-Обухова. Корреляционные функции скорости. Турбулентные области. Турбулентные струи.

Звуковые волны. Ударные волны. Сверхзвуковые течения.

Практические занятия (семинары)

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование практических занятий (семинаров)
4-ой семестр		
1	1	Задачи по уравнениям Лагранжа
2	2	Вывод законов сохранения энергии и импульса
3	2	Вывод закона сохранения момента импульса
4	2	Интегрирование одномерных задач механики
5	3	Уравнение плоской траектории движения в задаче двух тел
6	3	Движение по эллипсу и гиперболе в задаче Кеплера
7	4	Кинематические диаграммы упругого столкновения частиц
8	4	Вычисления сечений столкновения
9	5	Исследования малых колебаний. Характеристическое уравнение
10	5	Исследование резонанса с трением и нелинейных колебаний
11	6	Вычисления моментов инерции тел
12	6	Движение симметрического волчка
13	6	Принцип Даламбера, Сила Кориолиса
14	7	Задачи на уравнения Гамильтона и скобки Пуассона
15	7	Инфинитезимальные канонические преобразования
16	7	Решение уравнения Гамильтона-Якоби методом разделения переменных
17	7	Адиабатические инварианты.
18	01.07.12	Зачетная неделя
5-ой семестр		
1	1	Задачи по формулам векторного анализа.
2	1	Преобразование градиента в сферические и цилиндрические координаты
3	2	Задачи по гравитационному равновесию сферической массы жидкости.
4	2	Задачи по уравнению Бернулли и законам сохранения. Решения уравнения Пуассона.
5	2	Задачи на потенциальное обтекание шара и плоское обтекание угла между плоскостями
6	3	Вывод уравнения движения колеблющегося шара в жидкости.
7	3	Задачи на гравитационные волны в жидкости 3, зад. 7.1, 7.2, Контрольная работа по задачам
8	3	Уравнения Навье-Стокса в сферической и цилиндрической системах координат
9	4	Задачи на течение вязкой жидкости
10	4	Задачи на вычисление силы сопротивления шара при обтекании вязкой жидкостью
11	4	Задачи на движение вязкой жидкости между плоскими пластинами
12	4	Задачи на колебательные процессы в вязкой жидкости
13	4	Задачи на устойчивость движения жидкости
14	5	Решение уравнения для амплитуды пульсаций
15	5	Задачи на автомодельное поведение пульсаций в турбулентном потоке
16	5	Задачи на турбулентность
17	5	Контрольная работа по задачам на турбулентность

7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. **Ландау Л.Д.** Механика: Учебное пособие для вузов / Ландау Лев Давидович, Лифшиц Евгений Михайлович; Под ред. Л.П.Питаевского. - 5-е изд., стер. - М.: Физматлит, 2004. - 224с.: ил. - (Теоретическая физика в 10 т.; Т.1).
2. **Ландау Л.Д.** Гидродинамика: Учебное пособие для вузов / Ландау Лев Давидович, Лифшиц Евгений Михайлович - 5-е изд., стер. - М.: Физматлит, 2001.
3. **Павленко Ю.Г.** Задачи по теоретической механике: Учебное пособие для вузов - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Физматлит, 2003.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. **Павленко Ю.Г.** Лекции по теоретической механике: Учебник для вузов - 2-е изд., перераб. - М.: Физматлит, 2002.
2. **Коткин Г.Л.** Сборник задач по классической механике / Коткин Глеб Леонидович, Сербо Валерий Георгиевич. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Наука, 1977.
3. **Зоммерфельд А.** Механика деформируемых сред / Зоммерфельд Арнольд; Пер. с нем. Е.М.Лифшица; Под ред. У.Я.Маргулиса. - М.: Издательство иностранной литературы, 1954. - 486с. - Предм.указ.:с.381.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- оверхэд
- мультимедийный проектор

9. Формы контроля и оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Вопросы к экзамену по механике

1. Обобщенные координаты и скорости. Функция Лагранжа и функционал действия. Принцип наименьшего действия.
2. Уравнения Лагранжа. Уравнения Ньютона и потенциальная сила.
3. Принцип относительности Галилея. Функция Лагранжа системы материальных точек.
4. Однородность времени. Закон сохранения энергии.
5. Однородность пространства. Закон сохранения импульса. Центр инерции.
6. Изотропия пространства. Закон сохранения момента импульса.

7. Интегрирование уравнений одномерного движения. Фinitное и инфинитное движения.
8. Задача двух тел. Приведенная масса.
9. Движение в центрально-симметричном поле. Общее решение уравнений движения.
10. Вывод уравнения эллиптической траектории в задаче Кеплера. Законы Кеплера.
11. Вывод уравнения гиперболической траектории в задаче Кеплера.
12. Кинематика упругого рассеяния частиц.
13. Эффективное сечение рассеяния частиц.
14. Рассеяние в кулоновском поле. Формула Резерфорда.
15. Рассеяние на малые углы.
16. Малые свободные колебания в одномерной системе.
17. Вынужденные колебания. Резонанс.
18. Колебания систем со многими степенями свободы. Нормальные координаты.
19. Затухающие колебания. Аперидическое затухание.
20. Вынужденные колебания при наличии трения. Сдвиг фаз между колебанием и вынуждающей силой.
21. Ангармонические колебания.
22. Движение твердого тела. Угловая скорость.
23. Кинетическая энергия твердого тела. Тензор инерции. Главные оси.
24. Момент импульса твердого тела. Уравнения движения твердого тела.
25. Уравнения Эйлера. Симметрический волчок.
26. Движение в неинерциальной системе отсчета. Сила Кориолиса.
27. Преобразование Лежандра. Уравнения Гамильтона.
28. Скобки Пуассона. Тождество Якоби.
29. Действие как функция координат и времени. Уравнение Гамильтона-Якоби.
30. Фазовое пространство. Теорема Лиувилля.
31. Канонические преобразования. Производящая функция.
32. Адиабатические инварианты.

Вопросы к экзамену по основам механики сплошных сред

1. Уравнение нерывности.
2. Уравнение Эйлера.
3. Уравнение адиабатичности. Тепловая функция в уравнении Эйлера.
4. Уравнение равновесия в гидростатике.
5. Уравнение Бернулли для линий тока.
6. Поток энергии идеальной жидкости.
7. Поток импульса идеальной жидкости.
8. Сохранение циркуляции скорости.
9. Потенциальное движение жидкости.
10. Уравнение Бернулли для несжимаемой идеальной жидкости.
11. Плоское потенциальное обтекание несжимаемой жидкости.
12. Сила сопротивления при потенциальном обтекании. Парадокс Даламбера.
13. Гравитационные волны в жидкости.
14. Длинные гравитационные волны в жидкости.
15. Уравнение движения вязкой жидкости.
16. Диссипация энергии в несжимаемой вязкой жидкости.
17. Течение вязкой жидкости по трубе.
18. Закон подобия. Число Рейнольдса.
19. Течение при малых числах Рейнольдса.

20. Равномерное и прямолинейное движение шара в вязкой жидкости.
21. Качественные особенности ламинарного движения.
22. Движение внутри ламинарного следа.
23. Движение вне ламинарного следа.
24. Колебания плоскости в вязкой жидкости.
25. Колебания тела произвольной формы в вязкой жидкости.
26. Устойчивость стационарного движения жидкости.
27. Характеристики развитой турбулентности.
28. Развитая турбулентность на малых масштабах.
29. Внутренний масштаб турбулентности. Закон Колмогорова-Обухова.
30. Турбулентная область и явление отрыва.
31. Турбулентная плоская струя.
32. Формула Жуковского для подъемной силы через циркуляцию скорости.
33. Закон сохранения энергии в жидкости с учетом теплообмена.
34. Общее уравнения переноса тепла.
35. Уравнение теплопроводности Фурье.