Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики"

Факультет физики

Рабочая программа дисциплины
Аналитическая механика

для образовательной программы «Физика»
направления подготовки 03.03.02 Физика
уровень высшего образования – бакалавриат

Разработчик(и) программы:
Иоселевич Алексей Соломонович, д.ф.-м.н., asioselevich@hse.ru

Утверждена Координационным советом факультета физики
«30» июня 2017 г., № протокола 5

Академический руководитель
образовательной программы Трунин М.Р. _____

Москва, 2017

Настоящая программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения подразделения-разработчика программы.

1 Область применения и нормативные ссылки

Настоящая программа учебной дисциплины устанавливает минимальные требования к образовательным результатам и результатам обучения студента и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности.

Программа предназначена для преподавателей, ведущих данную дисциплину, учебных ассистентов и студентов направления подготовки 03.03.02 «Физика» подготовки бакалавров.

Программа учебной дисциплины разработана в соответствии с:

- Образовательным стандартом НИУ ВШЭ 03.03.02 «Физика» по подготовки бакалавров;
- Учебным планом университета по образовательной программе 03.03.02 «Физика» подготовки бакалавров, утвержденным в 2017 г.

2 Цели освоения дисциплины

В курсе «Аналитическая механика» студенты знакомятся с теоретическим описанием классического движения тел. В отличие от курса общей физики «Механика» в курсе аналитической механики изложение строится на понятии лагранжиана, из которого уже получаются уравнения движения (уравнения Ньютона). Это позволяет единообразно и достаточно автоматически решать разнообразные задачи классической механики: движение материальной точки во внешнем поле, движение твердого тела как целого, описание колебательного движения. Также в курсе рассказывается об уравнении Гамильтона, скобках Пуассона и канонических преобразованиях. Уверенное владение этими понятиями необходимо для дальнейшего успешного освоения курса квантовой механики.

Цель дисциплины «Аналитическая механика» — освоение студентами базовых знаний в области последовательного теоретического описания физических явлений, известных им из курса общей физики «Механика», и освоения необходимых принципов и понятий для дальнейшего изучения разделов теоретической физики. В задачи дисциплины входит формирование у студентов умений и навыков применять изученные методы для самостоятельного решения задач аналитической механики.

3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Код по ФГОС/ НИУ	Компетенция	Дескрипторы-показатели достижения компетенций	Способы формирования
ПК-4	Способен передавать и использовать результат проведенных физико-математических и прикладных исследований в виде конкретных рекомендаций, выраженных в терминах предметной области	РБ/СД – на основе полученных в данному знаний способен самостоятельно искать подходы к решению задач довольно широкого круга из различных областей науки, в том числе из другой предметной области (например, проблемы исследования хаоса)	Лекции, семинары, домашние работы по применению аналитических методов для решения физических задач
ПК-10	Способен социально-	РБ – в процесс решения	Лекции, семинары,

	ответственно принимать решения в нестандартных ситуациях профессиональной деятельности	домашний заданий и организации работы семинара, ориентируясь на решение профессиональных задач, учится организовать социальное пространство взаимодействия с коллегами для наиболее продуктивного достижения поставленных задач	домашние работы по анализу и интерпретации результатов с физической точки зрения
ПК-11	Способен гибко адаптироваться к различным профессиональным ситуациям, проявлять творческий подход, инициативу и настойчивость в достижении целей профессиональной деятельности и личных.	РБ/СД – предлагаемые в рамках курса задачи из различных предметных областей требуют творческого подхода и переосмысления полученных навыков в анализе динамических систем различного происхождения	Домашние работы по анализу и интерпретации результатов с физической точки зрения, семинары

4 Место дисциплины в структуре образовательной программы

Настоящая дисциплина относится к базовой профильной части профессионального цикла дисциплин студентов, обучающихся на по направлению 03.03.02 «Физика» подготовки бакалавров. В соответствии с рабочим учебным планом по направлению «Физика» дисциплина «Аналитическая механика» читается студентам первого года обучения.

Трудоемкость курса– 4 з.е.
Общее количество часов – 152
Количество аудиторных часов 180, в том числе: 40 часов лекций, 40 часов практических занятий.
Количество часов самостоятельной работы – 72.

Контроль:
1-й курс: 1 домашняя работа в конце 3-го модуля, 1 контрольная работа (решения задач на пройденные темы) в конце 4-го модуля, прием экзамена в устной форме после 4-го модуля

Изучение данной дисциплины базируется на знаниях, полученных студентами при освоении учебных дисциплин:

- Математический анализ
- Линейная алгебра
- Дифференциальные уравнения
- Элементы математического аппарата физики

- Механика

Основные положения дисциплины должны быть использованы в дальнейшем при изучении дисциплин:

- Математическая физика
- Теория поля
- Статистическая физика
- Квантовая механика
- Нелинейная динамика и хаос
- Статистический анализ данных космического эксперимента
- Избранные вопросы термодинамики и статистической физики

5 Тематический план учебной дисциплины

№	Название раздела	Всего часов	Аудиторные часы			Самостоя-тельная работа
			Лекции	Семинары	Практические занятия	
1	Принцип наименьшего действия, Лагранжев формализм	5	2	2	0	1
2	Законы сохранения	8	2	2	0	4
3	Одномерное движение	7	2	2	0	3
4	Движение в центральном поле	7	2	2	0	3
5	Задача Кеплера	9	2	2	0	5
6	Рассеяние частиц во внешнем поле	10	2	2	0	6
7	Рассеяние при столкновениях частиц	7	2	2	0	3
8	Малые колебания	7	2	2	0	3
9	Малые колебания систем со многими степенями свободы	7	2	2	0	3
10	Нелинейные эффекты в колебаниях	10	2	2	0	6
11	Автоколебания	7	2	2	0	3
12	Движение твердого тела	9	2	2	0	5
13	Движение твердого тела (продолжение):	8	2	2	0	4

№	Название раздела	Всего часов	Аудиторные часы			Самостоя-тельная работа
			Лекции	Семинары	Практические занятия	
	волчки					
14	Соприкосновение твердых тел	7	2	2	0	3
15	Канонические уравнения, гамильтонов формализм	7	2	2	0	3
16	Уравнения Гамильтона-Якоби	7	2	2	0	3
17	Разделение переменных (продолжение)	7	2	2	0	3
18	Адиабатические инварианты	7	2	2	0	3
19	Канонические переменные	7	2	2	0	3
20	Методы Лагранжа и Гамильтона для непрерывных систем и полей	9	2	2	0	5
	Итого:	152	40	40	0	72

Формы контроля знаний студентов:

Тип контроля	Форма контроля	модули		Параметры
1-й курс		3	4	
Промежу-точный	Домашнее задание.	20-26 марта		Выполнение домашнего задания и сдача письменного отчета.
Промежу-точный	Контрольная работа.		10-18 июня	Письменное решение задач
Промежуточный (завершающий по дисциплине)	Экзамен		19-30 июня	Устный экзамен 60 мин

6 Критерии оценки знаний, навыков

Оценки по всем формам контроля выставляются по 10-ти балльной шкале.
<u>Промежуточный контроль</u> предусматривает

1-й курс: 1 домашнее задние, выполняемое в 3-м модуле и 1 письменную контрольную работу, выполняемых в 4-м модуле.

Домашнее задание включает разработку, кодирование, тестирование и отладку программ реализации задания. Домашнее задание выдается студентам дистанционно. По домашнему заданию оформляется отчет в электронном виде. В установленный срок студент представляет архив, содержащий полностью оформленный отчет и программу решения контрольного домашнего задания. Оценка за домашнее задание выставляется с учетом полноты выполнения задания и оформления результатов.

Самостоятельная работа студентов предполагает выполнение заданий к семинарам и лекциям, посещение семинаров и лекций и активная работа на семинарах и лекциях. Задания к семинарам сдаются студентами в указанный срок в электронном виде.

Промежуточный (завершающий по дисциплине) контроль: экзамены в конце 4-го модуля на первом курсе. Проводится в устной форме. Билет на экзамене состоит из 2 устных вопросов и 1 задачи.

Финальная оценка за работу в семестре равна S = 0.5R + 0.2D+0.3K, где R- оценка за работу на лекциях и семинарах, D- оценка за домашнюю работу, K- оценка за контрольную работу.

Итоговая оценка за курс равна 0.7S+0.3E, где E - оценка за устный экзамен. Студенты, у которых S = 10, освобождаются от устного экзамена и получают итоговую оценку 10. Студенты с оценкой S = 9 или S = 8 могут либо получить эту оценку без экзамена, либо сдавать экзамен.

Оценка контрольной работы и домашнего задания:

Производится одним из следующих способов:

1 способ оценивания

За каждую задачу в задании назначается определенное количество баллов (в сумме 10), эти баллы сообщаются при раздаче задач. При оценивании суммируются баллы за верно решенные задачи. За задачи, решенные с недочетами в обоснованиях или незначительными ошибками, может быть начислено уменьшенное количество баллов.

2 способ

8-10 решены верно все задачи (возможны небольшие недочеты в обоснованиях или вычислениях, чем и обусловлено различие в начисляемых баллах);

6-7 решены верно не менее 2/3 всех задач;

4-5 решены верно не менее половины всех задач.

7 Содержание дисциплины

Раздел 1. Принцип наименьшего действия, Лагранжев формализм.

Обобщенные координаты. Действие и функция Лагранжа. Обобщенные импульсы. Принцип относительности Галилея и лагранжиан материальной точки. Кинетическая и потенциальная энергия. Примеры.

В этой лекции я постараюсь продемонстрировать общность и автоматизм лагранжева метода, которые позволяют без особых усилий записывать уравнения движения даже для довольно сложных механических систем.

Литература по разделу:

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, Теоретическая физика, Том 1, Механика, М. Физматлит, 2004, Глава 1.
2. Г.Л.Коткин, В.Г.Сербо, Сборник задач по классической механике, 3-е издание, Ижевск-Москва, РХД, 2001

Раздел 2. Законы сохранения.

Циклические координаты и интегралы движения. Закон сохранения энергии, как следствие однородности времени. Закон сохранения импульса, как следствие однородности пространства. Закон сохранения момента импульса, как следствие изотропии пространства. Преобразование энергии, импульса и момента импульса при переходе от одной инерциальной системы координат к другой. Важнейшие системы координат: декартова, цилиндрическая и сферическая; выражения для импульса и момента импульса в этих координатах. Примеры.

В этой лекции объясняется симметрийное происхождение хорошо известных из курса общей физики законов сохранения.

Литература по разделу:

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, Теоретическая физика, Том 1, Механика, М. Физматлит, 2004, Глава 2.
2. Г.Л.Коткин, В.Г.Сербо, Сборник задач по классической механике, 3-е издание, Ижевск-Москва, РХД, 2001, параграф 4.

Раздел 3. Одномерное движение.

Материальная точка в постоянном внешнем поле, зависящем от одной координаты. Финитное и инфинитное движение. Точки поворота. Период колебаний, его зависимость от энергии. Задача двух тел, центр инерции, относительное движение и приведенная масса. Примеры.

В этой лекции мы разбираем простейшую ситуацию и вырабатываем физическую интуицию, которая оказывается полезной и во многих других, гораздо более сложных, случаях.

Литература по разделу:

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, Теоретическая физика, Том 1, Механика, М. Физматлит, 2004, Глава 3, параграф 11.
2. Г.Л.Коткин, В.Г.Сербо, Сборник задач по классической механике, 3-е издание, Ижевск-Москва, РХД, 2001, параграф 1.

Раздел 4. Движение в центральном поле.

Сферически симметричное постоянное поле. Центробежная энергия и аналогия с одномерным случаем. Интегрирование уравнений движения. Замкнутые и незамкнутые траектории. Падение на центр. Движение в поле U(r)=\beta/r^2.

Литература по разделу:

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, Теоретическая физика, Том 1, Механика, М. Физматлит, 2004, Глава 3, параграфы 13-14..
2. Г.Л.Коткин, В.Г.Сербо, Сборник задач по классической механике, 3-е издание, Ижевск-Москва, РХД, 2001, параграф 2.

Раздел 5. Задача Кеплера.

Движение в ``кулоновском" поле U(r)=\alpha/r. Финитные (эллипсы) и инфинитные (гиперболы) траектории. Дополнительный интеграл движения в задаче Кеплера -- вектор Рунге- Ленца. Влияние малых возмущений на движение в кулоновском поле.

Литература по разделу:

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, Теоретическая физика, Том 1, Механика, М. Физматлит, 2004, Глава 3, параграф 15.
2. Г.Л.Коткин, В.Г.Сербо, Сборник задач по классической механике, 3-е издание, Ижевск-Москва, РХД, 2001, параграф 2.

Раздел 6. Рассеяние частиц во внешнем поле.

Общая постановка задачи рассеяния в постоянном внешнем поле. Дифференциальное и полное сечение рассеяния. Рассеяние на твердой поверхности. Рассеяние в центрально симметричном поле. Резерфордовское рассеяние. Малоугловое рассеяние. Сечение падения на центр.

Литература по разделу:

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, Теоретическая физика, Том 1, Механика, М. Физматлит, 2004, Глава 4.
2. Г.Л.Коткин, В.Г.Сербо, Сборник задач по классической механике, 3-е издание, Ижевск-Москва, РХД, 2001, параграф 3.

Раздел 7. Рассеяние при столкновениях частиц.

Лабораторная система и система центра инерции. Упругие и неупругие столновения. Распад и слияние частиц.

Литература по разделу:

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, Теоретическая физика, Том 1, Механика, М. Физматлит, 2004, Глава 4.
2. Г.Л.Коткин, В.Г.Сербо, Сборник задач по классической механике, 3-е издание, Ижевск-Москва, РХД, 2001, параграф 3.

Раздел 8. Малые колебания.

Одномерные малые колебания. Свободные колебания, вынужденные колебания, затухающие колебания. Резонанс. Параметрические колебания, параметрический резонанс.

Литература по разделу:

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, Теоретическая физика, Том 1, Механика, М. Физматлит, 2004, Глава 5.
2. Г.Л.Коткин, В.Г.Сербо, Сборник задач по классической механике, 3-е издание, Ижевск-Москва, РХД, 2001, параграф 5.
3. А.А. Андронов, А.А. Витт, С.Э.Хайкин, Теория колебаний, М. Наука, 1981, Глава 1.

Раздел 9. Малые колебания систем со многими степенями свободы.

Собственные частоты и собственные моды. Колебания молекул: исключение движения центра масс и вращения как целого.

Литература по разделу:

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, Теоретическая физика, Том 1, Механика, М. Физматлит, 2004, Глава 5, параграфы 23-24.
2. Г.Л.Коткин, В.Г.Сербо, Сборник задач по классической механике, 3-е издание, Ижевск-Москва, РХД, 2001, параграфы 6-7.

Раздел 10. Нелинейные эффекты в колебаниях.

Ангармонизм и нелинейные колебания в консервативных системах. Резонанс в нелинейных колебаниях. Движение в быстро осциллирующем поле, маятник Капицы. Примеры.

Литература по разделу:

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, Теоретическая физика, Том 1, Механика, М. Физматлит, 2004, Глава, параграфы 28-29.
2. Г.Л.Коткин, В.Г.Сербо, Сборник задач по классической механике, 3-е издание, Ижевск-Москва, РХД, 2001, параграф 8.
3. А.А. Андронов, А.А. Витт, С.Э.Хайкин, Теория колебаний, М. Наука, 1981, Глава 2.
4. Дж. П. Ден-Гартог, Механические колебания, Физматгиз 1960

Раздел 11. Автоколебания.

Неконсервативные нелинейные системы. Возникновение автоколебаний и их устойчивость. Установившиеся автоколебания, их устойчивость. Примеры автоколебательных систем: часы, музыкальные инструменты.

Литература по разделу:

1. А.А. Андронов, А.А. Витт, С.Э.Хайкин, Теория колебаний, М. Наука, 1981, Глава 3.
2. Дж. П. Ден-Гартог, Механические колебания, Физматгиз 1960

Раздел 12. Движение твердого тела.

Угловая скорость. Тензор инерции. Момент импульса и уравнения движения твердого тела. Прецессия.Углы Эйлера. Уравнения Эйлера.

Литература по разделу:

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, Теоретическая физика, Том 1, Механика, М. Физматлит, 2004, Глава 6. параграфы 31-36.
2. Г.Л.Коткин, В.Г.Сербо, Сборник задач по классической механике, 3-е издание, Ижевск-Москва, РХД, 2001, параграф 9.

Раздел 13. Движение твердого тела (продолжение): волчки.

Симметрический волчок. Асимметрический волчок.

Литература по разделу:

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, Теоретическая физика, Том 1, Механика, М. Физматлит, 2004, Глава 6. параграфы 35-37.
2. Г.Л.Коткин, В.Г.Сербо, Сборник задач по классической механике, 3-е издание, Ижевск-Москва, РХД, 2001, параграф 9.

Раздел 14. Соприкосновение твердых тел.

Силы реакции и силы трения. Скольжение и качение. Голономные и неголономные связи. Уравнения Лагранжа в присутствии неголономных связей. Примеры.

Литература по разделу:

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, Теоретическая физика, Том 1, Механика, М. Физматлит, 2004, Глава 6. параграф 38.
2. Г.Л.Коткин, В.Г.Сербо, Сборник задач по классической механике, 3-е издание, Ижевск-Москва, РХД, 2001

Раздел 15. Канонические уравнения, гамильтонов формализм.

Уравнения Гамильтона, функция Гамильтона. Скобки Пуассона. Действие как функция координат. Укороченное действие. Принцип Мопертюи. Канонические преобразования. Теорема Лиувилля.

Литература по разделу:

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, Теоретическая физика, Том 1, Механика, М. Физматлит, 2004, Глава 7. параграфы 40-47.

2. Г.Л.Коткин, В.Г.Сербо, Сборник задач по классической механике, 3-е издание, Ижевск-Москва, РХД, 2001, параграфы 10-11.

Раздел 16. Уравнения Гамильтона-Якоби.

Разделение переменных. Сферические координаты: движение в поле диполя. Дифференциальное сечение рассеяния. Падение на центр. Замкнутые траектории.

Литература по разделу:

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, Теоретическая физика, Том 1, Механика, М. Физматлит, 2004, Глава 7. параграфы 47-48.

2. Г.Л.Коткин, В.Г.Сербо, Сборник задач по классической механике, 3-е издание, Ижевск-Москва, РХД, 2001, параграф 12.

Раздел 17. Разделение переменных (продолжение).

Параболические координаты: движение в кулоновском + однородном поле. Эллиптические координаты: движение в поле двух кулоновских центров.

Литература по разделу:

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, Теоретическая физика, Том 1, Механика, М. Физматлит, 2004, Глава 7, параграфы 47-48.

2. Г.Л.Коткин, В.Г.Сербо, Сборник задач по классической механике, 3-е издание, Ижевск-Москва, РХД, 2001, параграф 12.

Раздел 18. Адиабатические инварианты.

Движение в присутствии адиабатически медленных изменений системы. Сохранение адиабатических инвариантов. Изменение энергии системы при медленном изменении параметров. Примеры.

Литература по разделу:

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, Теоретическая физика, Том 1, Механика, М. Физматлит, 2004, Глава 7, параграф 49.

2. Г.Л.Коткин, В.Г.Сербо, Сборник задач по классической механике, 3-е издание, Ижевск-Москва, РХД, 2001, параграф 13.

Раздел 19. Канонические переменные.

Переменные действие-угол. Точность сохранения адиабатического инварианта. Малые поправки к адиабатическому приближению. Периодическое и условно периодическое движение.

Литература по разделу:

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, Теоретическая физика, Том 1, Механика, М. Физматлит, 2004, Глава 7, параграфы 49-52.

2. Г.Л.Коткин, В.Г.Сербо, Сборник задач по классической механике, 3-е издание, Ижевск-Москва, РХД, 2001, параграф 13.

Раздел 20. Методы Лагранжа и Гамильтона для непрерывных систем и полей.

Переход от дискретной системы к непрерывной . Уравнения Лагранжа для непрерывных систем. Уравнения Гамильтона для непрерывных систем. Описание полей с помощью вариационных принципов. Примеры.

Литература по разделу:

1. Д. тер Хаар, Основы гамильтоновой механики, Наука, 1974, Глава 8.

2. Г.Гольдстейн, Классическая механика, Наука, 1975, Глава 11.

7.2. Содержание практических занятий

Содержание практических занятий синхронизовано с лекционным курсом.

8 Образовательные технологии

Выполнение заданий, предлагаемых на практических занятиях, предполагает, в том числе, и самостоятельное изучение материала, связанного с темой лекции.

9 Оценочные средства для текущего контроля и аттестации студента

9.1. Домашнее задание и контрольная работа.

- Определите приближенно закон одномерного движения частицы с массой m и энергией E вблизи простой точки поворота в поле U(x).
- Найдите траекторию частицы в поле U(r)=α/r+β/r^2
- Найдите изменение периода движения частицы, вызванное добавлением к полю U(x) малой добавки ΔU(x)
- Найдите нормальные колебания n одинаковых частиц, связанных в кольцо с помощью одинаковых пружинок.
- Найдите сечение падения частиц с энергией E на диполь. Направление падения потока частиц составляет с направлением диполя угол α.

9.1 Вопросы для оценки качества освоения дисциплины. Примеры вопросов, задач, заданий для зачета или экзамена.

1 Законы сохранения
2 Одномерное движение
3 Задача Кеплера
4 Малые колебания
5 Автоколебания
6 Соприкосновение твердых тел
7 Канонические уравнения, гамильтонов формализм
8 Уравнения Гамильтона-Якоби
9 Адиабатические инварианты
10 Канонические переменные
11 Методы Лагранжа и Гамильтона для непрерывных систем и полей

10 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

10.1 Основная литература

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, Теоретическая физика, Том 1, Механика, М. Физматлит, 2004

10.2 Дополнительная литература

2. Г.Л.Коткин, В.Г.Сербо, Сборник задач по классической механике, 3-е издание, Ижевск-Москва, РХД, 2001
3. Г.Гольдстейн, Классическая механика, Наука, 1975
4. Д. тер Хаар, Основы гамильтоновой механики, Наука, 1974
5. Дж. П. Ден-Гартог, Механические колебания, Физматгиз 1960
6. А.А. Андронов, А.А. Витт, С.Э.Хайкин, Теория колебаний, М. Наука, 1981

10.3 Справочники, словари, энциклопедии

Абрамович М., Стегун И. Справочник по специальным функциям. М.: Наука, 1979.

11 Дистанционная поддержка дисциплины

Дистанционная поддержка дисциплины обеспечивается использованием LMS. В разделе дисциплины размещаются дополнительные материалы, связанные с лекциями, практическими занятиями, материалы для самоподготовки, проекты, оценки текущего и итогового контроля.

12 Материально-техническое обеспечение дисциплины

Проектор (лекционные и практические занятия).