



Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

Факультет физики

Программа учебной дисциплины «Аналитическая механика»

Утверждена Академическим руководителем
образовательной программы "Физика"
Протокол № 1 от 20.08.2019 года

Разработчик	д.ф.-м.н., доцент Иоселевич Алексей Соломонович, профессор факультета физики <small>ученая степень, фамилия имя отчество, должность</small>
Дата составления программы	20.08.19
Число кредитов	5 <small>заполняется на факультете по учебному плану</small>
Контактная работа (час.)	80 <small>заполняется на факультете по учебному плану</small>
Самостоятельная работа (час.)	110 <small>заполняется на факультете по учебному плану</small>
Курс, Образовательная программа	1 курс, 2 семестр <small>для какого курса, в каких модулях (семестрах) читается</small> ОП "Физика"
Формат изучения дисциплины	без использования онлайн курса <small>С использованием онлайн курса/ без использования онлайн курса/иное</small>

1. Цель, результаты освоения дисциплины, пререквизиты

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

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

1. Математический анализ
2. Линейная алгебра
3. Дифференциальные уравнения
4. Элементы математического аппарата физики
5. Механика

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

1. Математическая физика
2. Теория поля
3. Статистическая физика
4. Квантовая механика
5. Нелинейная динамика и хаос
6. Статистический анализ данных космического эксперимента
7. Избранные вопросы термодинамики и статистической физики

2. Содержание учебной дисциплины

№ п/п	Название темы	Число часов		
		контактная работа (лекции, семинары, практикумы)	онлайн компонента	самост. работа
1	Обобщенные координаты. Действие и функция Лагранжа. Принцип наименьшего действия. Примеры	4		5



	вариационных задач. Обобщенные импульсы. Принцип относительности Галилея и лагранжиан материальной точки. Кинетическая и потенциальная энергия.			
2	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.	4		6
3	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.	4		5
4	Сферически симметричное постоянное поле. Центробежная энергия и аналогия с одномерным случаем. Интегрирование уравнений движения. Замкнутые и незамкнутые траектории. Падение на центр. Движение в поле $U(r)=B/r^2$.	4		6
5	Движение в «кулоновском» поле $U(r)=A/r$. Финитные (эллипсы) и инфинитные (гиперболы) траектории. Дополнительный интеграл движения в задаче Кеплера — вектор Рунге-Ленца. Влияние малых возмущений на движение в кулоновском поле.	4		5
6	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.	4		6
7	Лабораторная система и система центра инерции. Упругие и неупругие	4		5



	столкновения. Распад и слияние частиц.			
8	Одномерные малые колебания. Свободные колебания, вынужденные колебания, затухающие колебания. Резонанс. Параметрические колебания, параметрический резонанс.	4		6
9	Собственные частоты и собственные моды. Колебания молекул: исключение движения центра масс и вращения как целого.	4		5
10	Ангармонизм и нелинейные колебания в консервативных системах. Резонанс в нелинейных колебаниях. Движение в быстро осциллирующем поле, маятник Капицы.	4		6
11	Неконсервативные нелинейные системы. Возникновение автоколебаний и их устойчивость. Установившиеся автоколебания, их устойчивость. Примеры автоколебательных систем: часы, музыкальные инструменты.	4		5
12	Угловая скорость. Тензор инерции. Момент импульса и уравнения движения твердого тела. Прецессия. Углы Эйлера. Уравнения Эйлера.	4		6
13	Симметрический волчок. Асимметрический волчок.	4		5
14	Силы реакции и силы трения. Скольжение и качение. Голономные и неголономные связи. Уравнения Лагранжа в присутствии неголономных связей. Примеры.	4		6
15	Уравнения Гамильтона, функция Гамильтона. Скобки Пуассона. Действие как функция координат. Укороченное действие. Принцип Мопертюи. Канонические преобразования. Теорема Лиувилля.	4		5
16	Разделение переменных. Сферические координаты: движение в поле диполя. Дифференциальное сечение рассеяния. Падение на центр. Замкнутые траектории.	4		6
17	Параболические координаты: движение в кулоновском + однородном поле. Эллиптические координаты: движение в поле двух кулоновских центров.	4		5
18	Движение в присутствии адиабатически медленных изменений системы. Сохранение адиабатических инвариантов. Изменение энергии системы при	4		6



	медленном изменении параметров.			
19	Переменные действие-угол. Точность сохранения адиабатического инварианта. Малые поправки к адиабатическому приближению. Периодическое и условно периодическое движение.	4		5
20	Переход от дискретной системы к непрерывной. Уравнения Лагранжа для непрерывных систем. Уравнения Гамильтона для непрерывных систем. Описание полей с помощью вариационных принципов.	4		6
ИТОГО:		80		110

3. Оценивание

Оценки по всем формам контроля выставляются по 10-ти балльной шкале.

Промежуточный контроль предусматривает примерно 16 домашних заданий, выдаваемых студентам после каждого семинарского занятия, и две письменные контрольные работы, по одной в каждом модуле.

Домашние задания Домашние задания выдаются студентам дистанционно после каждого семинара. Каждое задание состоит из нескольких задач различной трудности, оцениваемых в максимальном количестве баллов, которое студент может получить за ее решение. Решения сдаются студентами в указанный срок в рукописном или (предпочтительно) в электронном виде. При оценивании суммируются баллы за верно решенные задачи. За задачи, решенные с недочетами в обоснованиях или незначительными ошибками, может быть начислено уменьшенное количество баллов. Оценка за домашнее задание выставляется с учетом (а) правильности полученных ответов, (б) своевременности и (в) полноты и четкости изложения результатов.

Контрольные работы проводятся в очной форме, во время их написания запрещается пользоваться какими-либо записями, а также компьютерами и телефонами. Оценка производится так же, как и в случае домашних заданий.

Самостоятельная работа студентов предполагает выполнение заданий к семинарам и лекциям, посещение семинаров и лекций и активную работу на семинарах и лекциях.

Итоговый контроль: экзамен в конце 4-го модуля. Проводится в устной форме. Билет на экзамене состоит из 2 устных вопросов и 1 задачи. Во время сдачи экзамена также запрещается пользоваться книгами, конспектами, компьютерами и телефонами.

Пересдача экзамена при неудовлетворительной оценке за экзамен производится в установленные правилами ВШЭ сроки.

Финальная оценка: (R) за работу в семестре формируется согласно формуле

$$R = [0.7[N] + 0.3X]_{up},$$

где [N] - накопленная оценка N, округленная **арифметически** (то есть, до ближайшего целого числа), X - целочисленная оценка за экзамен. Знак [...]_{up} означает округление до ближайшего **сверху** целого числа.



Накопленная оценка N вычисляется по формуле

$$N = 0.6S + 0.4K,$$

где K - средняя оценка за две контрольные, а S - оценка за решение домашних заданий, выступления на семинарах и т. п., вычисляемая по формуле:

$$S = 0.9HW + 0.2A$$

где HW - усредненная оценка за все обязательные домашние задания, а A - оценка за активность: выступления на семинарах, решение бонусных задач. Если получается $S > 10$, то принимается оценка $S = 10$.

При учёте домашних заданий учитывается своевременность сдачи: Если домашнее задание сдано не в срок без уважительной причины, но задержка составляет не более одной недели, то оценка за него учитывается с коэффициентом 0.5, при более длительной задержке без уважительной причины — это домашнее задание не учитывается вовсе при вычислении усредненной оценки.

Студенты, у которых $N = 10$, освобождаются от устного экзамена и получают итоговую оценку 10. Студенты с оценкой $N = 9$ могут либо получить эту оценку в качестве итоговой без экзамена, либо сдавать экзамен.

4. Примеры оценочных средств

Блокирующие элементы не предусмотрены.

Примеры задач домашнего задания и контрольной работы

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

Примеры вопросов, задач, заданий для 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

5. Ресурсы

5.1. Рекомендуемая основная литература

№ п/ п	Наименование
1	<i>Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц</i> , Теоретическая физика, Том 1, Механика, М. Физматлит, 1965 (или более позднее издание)

5.2. Рекомендуемая дополнительная литература

№ п/ п	Наименование
1	<i>Г.Л. Коткин, В.Г. Сербо</i> , Сборник задач по классической механике, 3-е издание, Ижевск-Москва, РХД, 2001.

5.3. Программное обеспечение

№ п/ п	Наименование

5.4. Профессиональные базы данных, информационные справочные системы, интернет-ресурсы (электронные образовательные ресурсы)

Описать при наличии

5.5. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Лекционная аудитория, оборудованная проектором.



6. Особенности организации обучения для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

В случае необходимости, обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося), а для инвалидов также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида, могут предлагаться следующие варианты восприятия учебной информации с учетом их индивидуальных психофизических особенностей, в том числе с применением электронного обучения и дистанционных технологий:

- 6.1. *для лиц с нарушениями зрения:* в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; в форме аудиофайла (перевод учебных материалов в аудиоформат); в печатной форме на языке Брайля; индивидуальные консультации с привлечением тифлосурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации.
- 6.2. *для лиц с нарушениями слуха:* в печатной форме; в форме электронного документа; видеоматериалы с субтитрами; индивидуальные консультации с привлечением сурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации.
- 6.3. *для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:* в печатной форме; в форме электронного документа; в форме аудиофайла; индивидуальные задания и консультации.

7. Дополнительные сведения