

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Б1.О.16.01 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

Направление подготовки (специальность) 03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

Профиль подготовки (специализация)

Форма обучения очная

Год набора 2024

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Программу составили
доцент, к.ф.-м.н. Н.Н.Паклин

1 Цели и задачи изучения дисциплины

1.1 Цель преподавания дисциплины:

- фундаментальная подготовка по теоретической механике.
- формирование базовых знаний и понятий о теоретических основах, законах и моделях теоретической механики, необходимых в последующих курсах теоретической физики.

1.2 Задачи изучения дисциплины:

В результате изучения дисциплины студент должен приобрести знания, умения и навыки, необходимые для его профессиональной деятельности:

- знать методы теоретической механики, где можно их применять;
- уметь решать типовые задачи, пользуясь формализмами Лагранжа, Гамильтона, Гамильтона-Якоби и формализмами континуальных систем.

1.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы высшего образования:

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине
ОПК-1 Способен применять современные теоретические модели физических явлений, процессов и систем, а также результаты экспериментальных исследований в фундаментальных и прикладных разработках;	
ОПК-1.1 Демонстрирует владение фундаментальными законами общей и теоретической физики	знать базовые понятия о теоретических основах, законах и моделях теоретической механики
ОПК-1.2 Использует экспериментальные и теоретические методы исследований	уметь решать задачи теоретической механики; владеть основными методами решения задач теоретической механики

Дисциплина реализуется без применения ЭО и ДОТ

2 Объем дисциплины (модуля)

Вид учебной работы	Всего, зачетных единиц (акад.час)	Семестр	
		3	4
Общая трудоемкость дисциплины	6 (90)	2,5 (90)	3,5 (126)
Контактная работа с преподавателем:	4 (144)	2 (72)	2 (72)
занятия лекционного типа	2 (72)	1 (36)	1 (36)
практические занятия	2 (72)	1 (36)	1 (36)
Самостоятельная работа обучающихся	1 (36)	0,5 (18)	0,5 (18)
Вид промежуточной аттестации (Зачет)	36	Зачёт	Экзаме н

3 Содержание дисциплины (модуля)

№ п/п	Вид работ	Темы занятия	Объем часов	Семестр /курс	Часы в эл. формате
Раздел 1. Формализм Лагранжа					
1.	Лек	Связи. Обобщенные координаты. Принцип виртуальных перемещений	2	3	
2.	Лек	Принцип Даламбера. Общее уравнение динамики.	2	3	
3.	Лек	Функция Лагранжа. Уравнения Лагранжа Принцип Гамильтона. Принцип наименьшего действия	2	3	
4.	Лек	Симметрии. Законы сохранения. Механическое подобие. Теорема вириала	2	3	
5.	Лек	Задача двух тел. Центральное поле.	2	3	
6.	Лек	Уравнение орбиты. Задача Кеплера.	2	3	
7.	Лек	Малые одномерные колебания.	2	3	
8.	Лек	Малые многомерные колебания.	2	3	
9.	Лек	Колебания молекул.	2	3	
10.	Пр	Методы интегрирования уравнений Ньютона.	2	3	
11.	Пр	Принцип виртуальных перемещений. Принцип Д'Аламбера	2	3	
12.	Пр	Связи. Нахождение реакций связей методом неопределенных множителей Лагранжа.	2	3	
13.	Пр	Функция Лагранжа. Уравнения Лагранжа.	2	3	
14.	Пр	Законы сохранения. Связь законов сохранения с симметрией пространства и времени. Преобразование сохраняющихся величин к другим инерциальным системам отсчета.	2	3	
15.	Пр	Задача двух тел. Центральное поле.	2	3	
16.	Пр	Уравнение траектории. Законы Кеплера.	2	3	
17.	Пр	Движение в центральных полях. Смещение перигелия.	2	3	
18.	Пр	Теория рассеяния. Формула Резерфорда.	2	3	
19.	Ср	Самостоятельная работа	18	3	
Раздел 2. Канонический формализм					
1.	Лек	Кинематика твердого тела	2	3	
2.	Лек	Энергия твердого тела. Тензор моментов инерции.	2	3	
3.	Лек	Момент импульса и уравнения движения твердого тела.	2	3	
4.	Лек	Уравнения Эйлера	2	3	
5.	Лек	Функция Гамильтона. Уравнения Гамильтона.	2	3	
6.	Лек	Вариационные принципы	2	3	
7.	Лек	Канонические преобразования. Теорема Лиувилля.	2	3	
8.	Лек	Метод Гамильтона-Якоби. Адиабатические инварианты	2	3	
9.	Лек	Опτικο-механическая аналогия	2	3	
10.	Лек	Переменные действие-угол. Уравнения движения в переменных действие-угол.	2	4	

11.	Лек	Адиабатические инварианты. Теорема Лиувилля.	4	4	
12.	Лек	Разделение переменных и нахождение полного интеграла уравнения Гамильтона-Якоби.	2	4	
13.	Пр	Малые одномерные колебания. Свободные колебания.	2	3	
14.	Пр	Вынужденные колебания.	2	3	
15.	Пр	Колебания с трением.	2	3	
16.	Пр	Малые многомерные колебания. Свободные многомерные колебания.	2	3	
17.	Пр	Вынужденные многомерные колебания.	2	3	
18.	Пр	Колебания молекул.	2	3	
19.	Пр	Нелинейные колебания	2	3	
20.	Пр	Тензор инерции твердого тела. Нахождение главных моментов инерции	2	3	
21.	Пр	Момент импульса и энергия твердого тела.	2	3	
22.	Зачёт	Зачет		3	
23.	Пр	Уравнения движения. Уравнения Эйлера.	2	4	
24.	Пр	Устойчивость вращения волчков	2	4	
25.	Пр	Неинерциальные системы отсчета.	2	4	
26.	Пр	Гамильтонов формализм. Функция Гамильтона.	2	4	
27.	Пр	Уравнения Гамильтона.	2	4	
28.	Пр	Метод Гамильтона-Якоби.	2	4	
29.	Пр	Скобки Пуассона.	2	4	
30.	Пр	Канонические преобразования.	2	4	
31.	Пр	Переменные действие-угол.	2	4	
32.	Пр	Адиабатические инварианты	2	4	
33.	Ср	Самостоятельная работа	9	4	

Раздел 3. Специальная теория относительности

1.	Лек	Относительность. Опыт Майкельсона-Морли	2	4	
2.	Лек	Постулаты Эйнштейна	2	4	
3.	Лек	Преобразования Лоренца. Матрицы Лоренца	2	4	
4.	Лек	Релятивистские эффекты	2	4	
5.	Лек	4-мерный формализм Минковского	2	4	
6.	Лек	Группа Лоренца	2	4	
7.	Лек	Кинематика СТО	2	4	
8.	Лек	Динамика СТО	2	4	
9.	Лек	Законы сохранения в СТО	2	4	
10.	Лек	Среды и поля в СТО	2	4	
11.	Лек	Релятивистская оптика и волны	2	4	
12.	Лек	Неинерциальные системы отсчета	2	4	
13.	Лек	СТО и электромагнетизм	2	4	

14.	Лек	Уравнения Максвелла в 4-мерной форме	2	4	
15.	Пр	Постулаты СТО.	2	4	
16.	Пр	Принципы относительности, причинности и соответствия.	2	4	
17.	Пр	Следствия преобразований Лоренца.	2	4	
18.	Пр	Пространство Минковского и 4-мерный формализм	2	4	
19.	Пр	Релятивистская механика.	2	4	
20.	Пр	Волны. Оптика в СТО.	2	4	
21.	Пр	Неинерциальные системы отсчета.	2	4	
22.	Пр	Специальная теория относительности и электромагнетизм.	2	4	
23.	Ср	Самостоятельная работа	9	4	
24.	Экзамен		36	4	

4 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

4.1 Печатные и электронные издания:

1. Коткин Г. Л., Сербо В. Г. Сборник задач по классической механике [Электронный ресурс]: учебное пособие для физических специальностей вузов. - Москва: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1977. - 319 с. – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/b22/0072212.pdf> .

2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Питаевский Л. П. Теоретическая физика: Т. 1. Механика [Электронный ресурс]: в 10 томах : учебное пособие для физических специальностей университетов. - Москва: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. - 215 с. – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/b22/0060536.pdf> .

3. Лагранж Ж. Л., Лойцянский Л. Г., Лурье А. И. Аналитическая механика: Том 1 [Электронный ресурс]: [в 2 томах] : перевод с французского. - Москва: Государственное издательство технико-теоретической литературы [ОГИЗ ГТТИ], 1950. - – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/b22/0105321.pdf> .

4. Лагранж Ж. Л., Лойцянский Л. Г., Лурье А. И. Аналитическая механика: Том 2 [Электронный ресурс]: [в 2 томах] : перевод с французского. - Москва: Государственное издательство технико-теоретической литературы [ОГИЗ ГТТИ], 1950. - – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/b22/0105322.pdf> .

5. Угаров В. А. Специальная теория относительности: учебное пособие для физико-математических факультетов педагогических институтов. - Москва: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1977. - 383 с..

6. Тарасов В. Н., Бояркина И. В., Коваленко М. В., Федорченко Н. П., Фисенко Н. И. Теоретическая механика: учеб. пособие для студентов вузов. - Москва: ТрансЛит, 2012. - 559 с..

7. Баранов А. М., Паклин Н. Н., Баранов Д. А., Мартынов С. Н., Власов З. В., Филатьев В. И., Тегай С. Ф., Золотов О. А. Механика. Теоретическая механика [Электронный ресурс]: электрон. учеб.-метод. комплекс дисциплины. - Красноярск: ИПК СФУ, 2007. - on-line – Режим доступа: http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/ELIB_DC/UMKD/i-306256.zip .

8. Баранов А. М., Паклин Н. Н., Баранов Д. А., Власов З. В., Тегай С. Ф. Специальная теория относительности [Электронный ресурс]: электрон. учеб.-метод. комплекс дисциплины. - Красноярск: СФУ, 2008. - on-line – Режим доступа: http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/ELIB_DC/UMKD/i-254873.zip .

9. Паклин Н. Н. Теоретическая физика [Электронный ресурс]: учеб.-метод. пособие для самостоят. работы [для студентов спец. 150701.65 «Физикохимия процессов и материалов»]. - Красноярск: СФУ, 2012. - – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/b22/i-778866.pdf> .

4.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства (программное обеспечение, на которое университет имеет лицензию, а также свободно распространяемое программное обеспечение):

1. Adobe Acrobat Reader DC . Программное обеспечение для просмотра и печати файлов PDF.

2. Microsoft Office Professional Plus 2007 Russian Academic. Офисный пакет Microsoft Office.

3. Microsoft Windows Professional 8 Russian. Операционная система Windows.

4.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

1. Мир математических уравнений <http://eqworld.ipmnet.ru>

2. Поисковая машина электронных книг <http://www.poiskknig.ru>

3. Файловый архив для студентов <http://www.studfiles.ru>

4. Электронная библиотека <http://gen.lib.rus.ec>

5. Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru/>

5 Фонд оценочных средств

Фонд оценочных средств является приложением к рабочей программе дисциплины (модуля), хранится на кафедре, обеспечивающей преподавание данной дисциплины (модуля).

6 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

учебная аудитория для проведения лекционных, семинарских и практических занятий: Специализированная мебель, демонстрационное оборудование, АРМ преподавателя, подключение к сети «Интернет» и индивидуальный неограниченный доступ в ЭИОС университета

помещение для самостоятельной работы обучающихся: специализированная мебель, демонстрационное оборудование, АРМ преподавателя, АРМ обучающихся, подключение к сети «Интернет» и индивидуальный неограниченный доступ в ЭИОС университета

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

По дисциплине (модулю)/ практике Б1.О.16.01 Теоретическая механика

Направление подготовки/специальность

03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

Образовательная программа

03.05.02.30 Фундаментальная и прикладная физика

1 Перечень компетенций с указанием индикаторов их достижения, соотнесенных с результатами обучения по дисциплине (модулю), практики и оценочными средствами

Семестр ¹	Код и содержание индикатора компетенции	Результаты обучения ²	Оценочные средства ³
ОПК-1: Способен применять современные теоретические модели физических явлений, процессов и систем, а также результаты экспериментальных исследований в фундаментальных и прикладных разработках			
3,4	ОПК-1.1: Демонстрирует владение фундаментальными законами общей и теоретической физики	знать базовые понятия о теоретических основах, законах и моделях теоретической механики	Контрольная работа 1,2,3,4; Вопросы к зачету, экзамену
		уметь решать задачи теоретической механики; владеть основными методами решения задач теоретической механики	Контрольная работа 1,2,3,4; Вопросы к зачету, экзамену
3,4	ОПК-1.2: Использует экспериментальные и теоретические методы исследований	уметь применять полученные знания аналитической механики в своей профессиональной деятельности	Контрольная работа 1,2,3,4; Вопросы к зачету, экзамену

2 Типовые оценочные средства или иные материалы, с описанием шкал оценивания и методическими материалами, определяющими процедуру проведения и оценивания достижения результатов обучения

Тема: Формализм Лагранжа

Контрольная работа №1

Вариант № 1

Q1: Решить одномерное уравнение Ньютона с правой частью $F(t) = F_0 / \sin^2(\omega t)$.

Q2: Решить одномерное уравнение Ньютона с правой частью $F(x) = -kx$.

Q3: Решить одномерное уравнение Ньютона с правой частью $F(v) = -av$.

¹ Семестры указываются по порядку, для каждого индикатора

² Указываются результаты обучения по дисциплине (модулю), практике, соотнесенные с индикатором достижения компетенции.

³ Указываются оценочные средства для каждого индикатора.

Q4: Дана потенциальная сила $F(x) = F_0 \exp(-ax)$. Найти потенциальную энергию.

Q5: Дана потенциальная энергия $U(x) = U_0 \exp(-ax^2)$. Найти силу.

T1: Тяжелая однородная лестница длиной l опирается на гладкий пол и приставлена к гладкой стенке. Нижний конец лестницы удерживается горизонтальной нитью. Угол наклона лестницы к стенке равен α . Найти натяжение нити и силы реакции.

T2: Легкое кольцо радиуса r опирается на прямую (ось X) и шарнирно закреплено в точке касания. Кольцо расположено в вертикальной плоскости (XY), т.е. центр кольца находится на высоте r . Масса m закреплена на кольце на высоте h $r < h < 2r$. Найти реакцию опоры.

T3: Два стержня длиной l и веса P соединены сверху шарниром, а снизу скреплены нитью. Определить силы реакции.

T4: Составить функцию Лагранжа и уравнения Лагранжа для математического маятника.

T5: Дана функция Лагранжа $L = (m/2)(\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2) - mgz$, решить уравнения Лагранжа с начальными условиями $\vec{r}_0 = (0,0,0)$, $\vec{v}_0 = (v,0,v)$.

D1: Материальная точка движется в однородном поле тяжести по гладкой неподвижной поверхности, образующей угол α с горизонтальной плоскостью. Найти закон движения точки и реакцию плоскости.

Вариант № 2

Q1: Решить одномерное уравнение Ньютона с правой частью $F(t) = F_0 / \cos^2(\omega t)$.

Q2: Решить одномерное уравнение Ньютона с правой частью $F(x) = -mg$.

Q3: Решить одномерное уравнение Ньютона с правой частью $F(v) = -av^2$.

Q4: Дана потенциальная сила $F(x) = F_0 \cos(ax)$. Найти потенциальную энергию.

Q5: Дана потенциальная энергия $U(x) = U_0 \cos(ax^2)$. Найти силу.

T1: Легкая лестница длиной l опирается на пол и приставлена к гладкой стенке. Угол наклона лестницы к стенке равен α . Коэффициент трения между лестницей и полом равен k . На сколько сможет подняться человек, прежде чем лестница начнет проскальзывать?

T2: Легкое полукольцо радиуса r опирается на прямую (ось X) в двух точках $x = \pm r$. Полукольцо расположено в вертикальной плоскости (XY), т.е. центр кольца находится в точке $(x=0, y=0)$. На высоте h ($h < r$) на полукольце закреплена масса m . Найти силы реакции в точках опоры.

T3: Два стержня длиной l и веса P соединены сверху шарниром, а в середине скреплены нитью. Определить силы реакции.

T4: Составить функцию Лагранжа и уравнения Лагранжа для вертикального пружинного маятника в однородном поле тяжести (модель одномерного осциллятора).

T5: Дана функция Лагранжа $L = (m/2)(\dot{x}^2 + \dot{y}^2) - (k/2)(x - y)^2$, решить уравнения Лагранжа.

D1: Материальная точка движется по гладкой неподвижной параболе $y = a\sqrt{x}$ в однородном поле тяжести. Начальное положение точки y_0 задано, а ее начальная скорость равна нулю. На какой высоте y_1 точка оторвется от параболы?

Методические рекомендации по проведению контрольной работы №1:

На контрольном занятии каждый студент получает соответствующий вариант задания и самостоятельно решает его. По результатам контрольных работ и процента посещаемости семинарских занятий в конце семестра студенты получают допуск к зачету. В случае отсутствия допуска существует дополнительная возможность его получить, путем самостоятельного решения дополнительных контрольных заданий.

Критерии оценки контрольной работы №1:

Оценка «**отлично**» выставляется студенту, если решены не менее 90% задач контрольного задания, последовательность изложения решения логически стройная и дополнена комментариями, но при этом могут быть допущены несущественные ошибки.

Оценка «**хорошо**» выставляется студенту, если решены не менее 75% задач контрольного задания, последовательность изложения решения логически стройная, не допускаются существенных неточностей, правильно применяются теоретические положения.

Оценка «**удовлетворительно**» выставляется студенту, если решены не менее 50% задач контрольного задания, при этом может быть нарушена логическая последовательность изложения решения, допускаются неточности и недостаточно правильные формулировки.

Оценка «**неудовлетворительно**» выставляется студенту, если решены менее 50% задач контрольного задания, допущены существенные ошибки.

Темы: Законы сохранения. Связь законов сохранения с симметрией пространства и времени. Преобразование сохраняющихся величин к другим инерциальным системам отсчета. Задача двух тел. Центральное поле. Уравнение траектории. Законы Кеплера. Движение в центральных полях. Смещение перигелия.

Контрольная работа № 2

Вариант № 1

Q1: Дана функция Лагранжа $L = (m/2)(\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2) - mgz$. Найти интегралы движения.

Q2: Дана функция Лагранжа $L = \dot{x}\dot{y} - xy$. Найти обобщенную энергию.

Q3: Даны радиус вектор $\vec{r} = (r, 0, 0)$ и импульс $\vec{p} = (0, p, 0)$. Вычислить компоненты момента импульса.

Q4: Показать, что в любом центральном поле движение плоское.

Q5: Какие из законов Кеплера справедливы для любых центральных полей? Доказать.

T1: В центральном поле с потенциальной энергией $U(r) = \alpha/r$ ($\alpha < 0$) дан вектор $\vec{l} = [\vec{v}, \vec{M}] + \alpha\vec{r}/r$. Вычислить величину $d\vec{l}/dt$ и выразить ее как функцию r .

T2: Найти зависимость от координат потенциала центрального поля, в котором материальная точка может двигаться по параболической спирали $r = \text{const} / \varphi$.

T3: Полная энергия материальной точки, движущейся в поле $U(r) = \alpha r^{-2} \ln(r/r_0)$, равна нулю. Найти траекторию точки.

T4: Возможно ли финитное движение в центральном поле $U(r) = -\alpha/r^2$, здесь $\alpha = \text{const} > 0$.

T5: В поле тяготения Солнца движется комета с периодом обращения T . В перигелии расстояние от Солнца до кометы равно r_p . Найти расстояние от Солнца до афелия кометы, зная период обращения Земли вокруг Солнца и значение большой полуоси орбиты Земли.

D1: Доказать, что угол между перицентром и апоцентром равен полупериоду колебаний в одномерной системе с потенциальной энергией $W(x) = U(M/x) + x^2/2$.

Вариант №2

Q1: Дана функция Лагранжа $L = (m/2)(\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2) - (k/2)(x^2 + y^2 + z^2)$. Найти интегралы движения.

Q2: Дана функция Лагранжа $L = (\dot{x}^2 + \dot{y}^2)/2y^2$. Найти обобщенную энергию.

Q3: Даны радиус вектор $\vec{r} = (r, 0, 0)$ и импульс $\vec{p} = (0, 0, p)$. Вычислить компоненты момента импульса.

Q4: С каким законом сохранения связано свойство однородности трехмерного пространства?

Q5: Вычислить массу Солнца, используя значение гравитационной постоянной Ньютона, расстояние от Земли до Солнца и период обращения Земли вокруг Солнца.

T1: Найти зависимость потенциала центрального поля от координат, в котором материальная точка может двигаться по траектории $r^2 = \text{const} / \varphi$. Построить график.

T2: Известны параметр p и эксцентриситет ε орбиты тела, движущегося в поле тяжести Земли. Найти его скорость как функцию расстояния r от центра Земли.

T3: Вычислить отношение масс Солнца и Земли, пользуясь только продолжительностью земного года и лунного месяца (27,3 суток), а также средними радиусами орбит Земли ($1,49 \cdot 10^8$ км) и Луны ($3,84 \cdot 10^5$ км).

T4: Задано центральное поле $U(r) = -\alpha / r^3$. Допустимо ли в нем финитное движение? Здесь $\alpha = \text{const} > 0$.

T5: Используя инвариантность функции Лагранжа относительно произвольных смещений в 3-пространстве, получить закон сохранения импульса.

D1: 1. Найти угол между апоцентром и перицентром для орбиты, близкой к круговой. 2. При каких потенциальных функциях U угол Φ , взятый для орбиты, близкой к круговой, не зависит от радиуса?

Вариант №3

Q1: Дана функция Лагранжа $L = (m/2)(\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2) - (k/2)(x^2 + y^2)$. Найти интегралы движения.

Q2: Дана функция Лагранжа $L = (1/2)(\dot{x}^2 + \dot{y}^2) + x\dot{y} + y\dot{x}$. Найти обобщенную энергию.

Q3: Даны радиус вектор $\vec{r} = (0, r, 0)$ и импульс $\vec{p} = (p, 0, 0)$. Вычислить компоненты момента импульса.

Q4: Чему равно ускорение свободного падения на поверхности Марса? Радиус Марса составляет $3,43 \cdot 10^6$ м, а его плотность равна $3,95 \cdot 10^3$ кг/м³.

Q5: С каким законом сохранения связано свойство изотропности трехмерного пространства?

T1: Найти зависимость потенциала центрального поля от координат, в котором материальная точка может двигаться по траектории $r^2 = \text{const} / \varphi$. Построить график.

T2: Пусть тело массы m движется в поле центральной силы $\vec{F} = -k \cdot \vec{r}$, $k = \text{const}$. Показать, что траектория тела в таком поле — эллипс.

T3: Найти период объекта, который движется вокруг Солнца и его среднее расстояние от Солнца составляет 33 a.e.

T4: Получить дифференциальное уравнение орбиты для движения в произвольном центральном поле.

T5: Материальная точка движется в центральном поле $U(r) = -\alpha/r^6$. Полная энергия равна нулю. Найти траекторию точки и построить график траектории.

D1: 1. Показать, что законы сохранения момента импульса и энергии в центральном поле приводят к соотношению, аналогичному закону преломления света для сред, коэффициент преломления которых есть функция только расстояния.

Замечание. Для сред с показателем преломления $n(r)$ закон Снеллиуса имеет вид $r \cdot n(r) \sin \alpha(r) = \text{const}$, где α — угол между радиус-вектором и направлением распространения луча.

2. Пользуясь результатом задачи **1** сформулировать принцип наименьшего действия, аналогичный принципу Ферма в оптике, и получить из него уравнения движения.

Методические рекомендации по проведению контрольной работы №2:

На контрольном занятии каждый студент получает соответствующий вариант задания и самостоятельно решает его. По результатам контрольных работ и процента посещаемости семинарских занятий в конце семестра студенты получают допуск к зачету. В случае отсутствия допуска существует дополнительная возможность его получить, путем самостоятельного решения дополнительных контрольных заданий.

Критерии оценки контрольной работы №2:

Оценка «**отлично**» выставляется студенту, если решены не менее 90% задач контрольного задания, последовательность изложения решения логически стройная и дополнена комментариями, но при этом могут быть допущены несущественные ошибки.

Оценка «**хорошо**» выставляется студенту, если решены не менее 75% задач контрольного задания, последовательность изложения решения логически стройная, не допускаются существенных неточностей, правильно применяются теоретические положения.

Оценка «**удовлетворительно**» выставляется студенту, если решены не менее 50% задач контрольного задания, при этом может быть нарушена логическая последовательность изложения решения, допускаются неточности и недостаточно правильные формулировки.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если решены менее 50% задач контрольного задания, допущены существенные ошибки.

Темы: Малые одномерные колебания. Свободные колебания, Вынужденные многомерные колебания, Колебания молекул.

Контрольная работа №3

Вариант №1

Q1: Дано гармоническое колебание $x = 3\cos(t) + 4\sin(t)$. Найти амплитуду колебаний.

Q2: Частица с массой 1 г колеблется по закону $x = A\cos(\omega t + 1)$. Найти энергию E , если $A = 1\text{ см}$, $\omega = 1\text{ Гц}$.

Q3: Решить уравнение гармонического осциллятора с вынуждающей силой $\ddot{x} + \omega_0^2 x = at$.

Q4: Решить уравнение гармонического осциллятора с трением $\ddot{x} + 2\dot{x} + 2x = 0$.

Q5: Решить неоднородное уравнение гармонического осциллятора с трением $\ddot{x} + 4\dot{x} + 5x = 1$.

T1: Вычислить собственные частоты продольных колебаний линейной трехатомной молекулы с массами атомов m , am , bm и жесткостями пружинок k , ck . Дано: $a = 1$, $b = 2$, $c = 2$.

T2: Вычислить собственные частоты продольных колебаний линейной 4-х атомной молекулы с массами атомов am , bm , cm , dm и жесткостями одинаковых пружинок k . Дано: $a = 1$, $b = 1$, $c = 1$, $d = 1$. Ответ дать в численном виде.

T3: Вычислить собственные частоты продольных колебаний тройного пружинного маятника с массами am , bm , cm и жесткостями одинаковых пружинок k . Дано: $a = 1$, $b = 1$, $c = 1$. Ответ дать в численном виде.

T4: Найти вынужденные колебания $x(t)$ осциллятора с трением $\ddot{x} + 2\lambda\dot{x} + \omega_0^2 x = (F/m)_0 \cos(\omega_0 t)$ при условии $\omega^2 > \lambda^2$.

T5: Для предыдущей задачи найти среднюю за период (в установившемся режиме) мощность, поглощаемую осциллятором.

D1: Найти дифференциальное сечение рассеяния в силовом поле с потенциальной функцией $U = (\alpha/r) \cdot \exp(-r^2/R^2)$.

Вариант №2

Q1: Дано гармоническое колебание $x = 6\cos(2t) + 8\sin(2t)$. Найти амплитуду колебаний.

Q2: Частица с массой 2 г колеблется по закону $x = A\cos(\omega t + 2)$. Найти энергию E , если $A = 2\text{ см}$, $\omega = 1/2\text{ Гц}$.

Q3: Решить уравнение гармонического осциллятора с вынуждающей силой $\ddot{x} + \omega_0^2 x = at^2$.

Q4: Решить уравнение гармонического осциллятора с трением $\ddot{x} + 4\dot{x} + 5x = 0$.

Q5: Решить неоднородное уравнение гармонического осциллятора с трением $\ddot{x} + 4\dot{x} + 8x = 2$.

T1: Вычислить собственные частоты продольных колебаний линейной трехатомной молекулы с массами атомов m , am , bm и жесткостями пружинок k , ck . Дано: $a = 1$, $b = 3$, $c = 3$.

T2: Вычислить собственные частоты продольных колебаний линейной 4-х атомной молекулы с массами атомов am , bm , cm , dm и жесткостями одинаковых пружинок k . Дано: $a = 1$, $b = 2$, $c = 1$, $d = 2$. Ответ дать в численном виде.

T3: Вычислить собственные частоты продольных колебаний тройного пружинного маятника с массами am , bm , cm и жесткостями одинаковых пружинок k . Дано: $a = 1$, $b = 2$, $c = 1$. Ответ дать в численном виде.

T4: Найти вынужденные колебания $x(t)$ осциллятора с трением $\ddot{x} + 2\lambda\dot{x} + \omega_0^2 x = (F/m)_0 \sin(\omega_0 t)$ при условии $\omega^2 > \lambda^2$.

T5: Для предыдущей задачи найти среднюю за период (в установившемся режиме) мощность, поглощаемую осциллятором.

D1: Найти дифференциальное сечение рассеяния в силовом поле с потенциальной функцией $U = (\alpha/r^2) \cdot \exp(-r/R)$.

Методические рекомендации по проведению контрольной работы №3:

На контрольном занятии каждый студент получает соответствующий вариант задания и самостоятельно решает его. По результатам контрольных работ и процента посещаемости семинарских занятий в конце семестра студенты получают допуск к зачету. В случае отсутствия допуска существует дополнительная возможность его получить, путем самостоятельного решения дополнительных контрольных заданий.

Критерии оценки контрольной работы №3:

Оценка «**отлично**» выставляется студенту, если решены не менее 90% задач контрольного задания, последовательность изложения решения логически стройная и дополнена комментариями, но при этом могут быть допущены несущественные ошибки.

Оценка «**хорошо**» выставляется студенту, если решены не менее 75% задач контрольного задания, последовательность изложения решения логически стройная, не допускается существенных неточностей, правильно применяются теоретические положения.

Оценка «**удовлетворительно**» выставляется студенту, если решены не менее 50% задач контрольного задания, при этом может быть нарушена

логическая последовательность изложения решения, допускаются неточности и недостаточно правильные формулировки.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если решены менее 50% задач контрольного задания, допущены существенные ошибки.

Темы: Гамильтонов формализм. Функция Гамильтона. Уравнения Гамильтона. Метод Гамильтона-Якоби. Скобки Пуассона. Канонические преобразования. Переменные действие-угол.

Контрольная работа №4

Вариант №1

Q1: Найти центр масс полуокружности радиуса R и массы m .

Q2: Вычислить скобку Пуассона $\{\vec{M}^2, P_x\}$.

Q3: Дана функция Лагранжа $L = \dot{x}y - xy$. Найти функцию Гамильтона.

Q4: Дана функция Гамильтона $H = p^2/2m - \vec{\Omega}[\vec{r}\vec{p}] + U(\vec{r})$. Найти функцию Лагранжа.

Q5: Дана производящая функция $F = m(q - Q)^2/2t$. Найти каноническое преобразование.

T1: Найти главные моменты инерции полуокружности радиуса R и массы m .

T2: Горизонтальным кием ударяют бильярдный шар в его меридианной плоскости. На какой высоте H над центром шара следует сделать удар, чтобы имело место чистое качение (без скольжения)?

T3: Дано каноническое преобразование: $p = P\sqrt{2Q}$, $q = \sqrt{2Q}$. Найти производящую функцию $F_2(q, P)$.

T4: Даны функция Гамильтона гармонического осциллятора $H = p^2/2m + m\omega^2 q^2/2$ и каноническое преобразование $q = (Q - iP)/\sqrt{2m\omega}$, $p = (Q - iP) \cdot \sqrt{m\omega}/2$. Найти новую функцию Гамильтона $\tilde{H}(P, Q)$.

T5: Вычислить скобку Пуассона $\{\vec{a} \cdot \vec{p}, \vec{b} \cdot \vec{r}\}$, где $\vec{a} = const$, $\vec{b} = const$.

D1: Найти период малых колебаний полуокружности радиуса R и массы m , опирающуюся на шероховатую горизонтальную плоскость. Плоскость полуокружности расположена вертикально.

Вариант №2

Q1: Найти центр масс тонкого полудиска радиуса R и массы m .

Q2: Вычислить скобку Пуассона $\{\vec{M}^2, P_y\}$.

Q3: Дана функция Лагранжа $L = (\dot{x}^2 + \dot{y}^2)/2y^2$. Найти функцию Гамильтона.

Q4: Дана функция Гамильтона $H = \sqrt{m^2 c^4 + \vec{p}^2 c^2}$. Найти функцию Лагранжа.

Q5: Дана производящая функция $F = qP - P^2t/2m$. Найти каноническое преобразование.

T1: Найти главные моменты инерции тонкого полудиска радиуса R и массы m .

T2: Симметричный волчок в форме тонкого диска радиуса R и массы m вращается вокруг оси симметрии. Вносится малое возмущение. Найти частоту прецессии.

T3: Дано каноническое преобразование: $p = \sqrt{2P}$, $q = Q\sqrt{2P}$. Найти производящую функцию $F_2(q, P)$.

T4: Даны функция Гамильтона гармонического осциллятора $H = p^2/2m + m\omega^2 q^2/2$ и каноническое преобразование $q = \sqrt{2P/m\omega} \cos(Q)$, $p = -\sqrt{2m\omega P} \sin(Q)$. Найти новую функцию Гамильтона $\tilde{H}(P, Q)$.

T5: Вычислить скобку Пуассона $\{\vec{a} \cdot \vec{M}, \vec{b} \cdot \vec{r}\}$, где $\vec{a} = const$, $\vec{b} = const$.

D1: Найти период малых колебаний тонкого полудиска радиуса R и массы m , опирающегося на шероховатую горизонтальную плоскость. Плоскость полудиска расположена вертикально.

Методические рекомендации по проведению контрольной работы №4:

На контрольном занятии каждый студент получает соответствующий вариант задания и самостоятельно решает его. По результатам контрольных работ и процента посещаемости семинарских занятий в конце семестра студенты получают допуск к зачету. В случае отсутствия допуска существует дополнительная возможность его получить, путем самостоятельного решения дополнительных контрольных заданий.

Критерии оценки контрольной работы №4:

Оценка «**отлично**» выставляется студенту, если решены не менее 90% задач контрольного задания, последовательность изложения решения логически стройная и дополнена комментариями, но при этом могут быть допущены несущественные ошибки.

Оценка «**хорошо**» выставляется студенту, если решены не менее 75% задач контрольного задания, последовательность изложения решения логически стройная, не допускаются существенных неточностей, правильно применяются теоретические положения.

Оценка «**удовлетворительно**» выставляется студенту, если решены не менее 50% задач контрольного задания, при этом может быть нарушена логическая последовательность изложения решения, допускаются неточности и недостаточно правильные формулировки.

Оценка «**неудовлетворительно**» выставляется студенту, если решены менее 50% задач контрольного задания, допущены существенные ошибки.

Перечень вопросов к зачету:

1. Инерциальные системы отсчета. Преобразования Галилея.
2. Уравнения Ньютона.
3. Механические связи.
4. Обобщенные координаты.
5. Виртуальная работа.
6. Силы инерции.
7. Функция Лагранжа.
8. Диссипативные системы. Диссипативная функция Релея.
9. Неопределенный множитель Лагранжа.
10. Действие. Уравнения Лагранжа.
11. Циклические переменные.
12. Эффективная потенциальная энергия.
13. Центробежная энергия.
14. Фinitное и инфинитное движение.
15. Сформулируйте законы Кеплера.
16. Уравнения одномерных колебаний.
17. Амплитуда, частота, фаза и энергия.
18. Трение и диссипативная функция Рэлея.
19. Вынужденные колебания и резонанс.
20. Метод комплексных амплитуд.
21. Колебания со многими степенями свободы.
22. Собственные частоты. Нормальные координаты.

Методические рекомендации по проведению зачета:

Форма проведения зачета - устный опрос по билетам. В билет включаются два теоретических вопроса из разных разделов программы.

Критерии оценки зачета:

«Зачтено» выставляется обучающемуся, если в ответе верно изложено не менее 50% материала и не допущено существенных неточностей.

«Не зачтено» выставляется обучающемуся, который не знает значительной части (более 50 %) программного материала и допускает существенные ошибки.

Перечень вопросов к экзамену:

1. Системы отсчета, системы координат. Принцип относительности.
2. Связи и обобщенные координаты.
3. Принцип виртуальных перемещений.
4. Принцип Даламбера.
5. Общее уравнение динамики.

6. Реакция связей и метод неопределенных множителей Лагранжа.
7. Принцип наименьшего действия и уравнения Лагранжа.
8. Принцип Гамильтона-Остроградского.
9. Симметрии пространства, времени и законы сохранения.
10. Задача двух тел.
11. Законы сохранения в центральном поле.
12. Интегральное уравнение орбиты.
13. Дифференциальное уравнение орбиты.
14. Уравнения одномерных колебаний.
15. Амплитуда, частота, фаза и энергия.
16. Трение и диссипативная функция Рэлея.
17. Вынужденные колебания и резонанс.
18. Метод комплексных амплитуд.
19. Колебания со многими степенями свободы.
20. Собственные частоты. Нормальные координаты.
21. Кинетическая энергия твердого тела. Тензор моментов инерции.
22. Момент импульса твердого тела, момент сил.
23. Уравнения Эйлера.
24. Функция Гамильтона. Уравнения Гамильтона.
25. Скобки Пуассона.
26. Уравнение Гамильтона-Якоби.
27. Канонические преобразования.
28. Преобразования Лоренца.
29. Релятивистские эффекты.
30. 4-мерный формализм Минковского.

Методические рекомендации по проведению экзамена:

Экзамен является заключительным этапом изучения учебной дисциплины. Форма проведения экзамена - устный опрос по билетам. В билет включаются два теоретических вопроса из разных разделов программы.

Критерии оценки экзамена:

Оценка «**отлично**» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий,

использует в ответе материал разнообразных литературных источников, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.

Оценка **«хорошо»** выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы.

Разработчик



Н.Н. Паклин