

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**  
**Проректор по учебной работе**

**А.А. Воронов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Общая физика: механика
<b>по направлению:</b>	Экономика
<b>профиль подготовки:</b>	Управление инновациями в бизнесе Физтех-школа бизнеса высоких технологий кафедра общей физики
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 50 всего, в том числе:

лекции: 20 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 55 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Количество контрольных работ, заданий: 3

Программу составили:

П.В. Попов, канд. физ.-мат. наук, доцент

Э.В. Прут, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор

В.С. Булыгин, канд. физ.-мат. наук, доцент, профессор

К.М. Крымский, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент

В.А. Овчинкин, канд. техн. наук, доцент, доцент

А.В. Гавриков, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент

Н.А. Кириченко, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры общей физики 12.05.2022

## Аннотация

Для освоения данной дисциплины обучающийся должна обладать знаниями и умениями в объёме курса физики и математики средней школы, а именно:

- знать основные физические понятия, используемые в механике (скорость, ускорение, сила, импульс, работа, энергия и т.п.)
- иметь представление об основных законах механики (основы кинематики, законы Ньютона, законы сохранения импульса и энергии, закон тяготения) и уметь их применять для решения задач.
- знать и уметь пользоваться базовым математическим инструментарием при решении физических задач: владеть символьным языком алгебры, приёмами преобразований и применения их для решения уравнений (систем уравнений); знать основные тригонометрические понятия и тождества; владеть геометрическими методами (в том числе, навыками решения планиметрических и стереометрических задач, вычисление объёмов и площадей основных геометрических тел, уметь проводить геометрические построения); знать основы векторной алгебры и уметь применять векторы для решения физических и геометрических задач; иметь представление об основных понятиях дифференциального и интегрального исчисления.
- иметь навыки устных, письменных, инструментальных вычислений

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

Освоение студентами базовых знаний в области механики для дальнейшего изучения других разделов физики и углубленного изучения фундаментальных основ механики.

### Задачи дисциплины

- формирование у обучающихся базовых знаний в области механики
- формирование умений и навыков применять изученные теоретические законы и математические инструменты для решения различных физических задач
- формирование общефизической культуры: умения выделять существенные физические явления и пренебрегать несущественными; умения проводить оценки физических величин; умения строить простейшие теоретические модели, описывающие физические процессы

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять знания (на промежуточном уровне) экономической теории при решении прикладных задач	ОПК-1.1 Применяет математический аппарат для решения типовых экономических задач
ПК-10 Способен проводить моделирование экономических процессов и систем	ПК-10.1 Имеет глубокое знание и понимание моделирования экономических процессов

## 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

фундаментальные законы и понятия механики, а также границы их применимости:

основы кинематики: радиус-вектор, скорость, тангенциальное и нормальное ускорение, радиус кривизны траектории

законы Ньютона в инерциальных и неинерциальных системах отсчёта

законы сохранения импульса, энергии, момента импульса

законы движения тел в поле тяготения (законы Кеплера)

законы вращательного движения твёрдого тела вокруг неподвижной оси и при плоском движении

основы приближённой теории гироскопов

основные понятия теории колебаний: уравнение гармонических колебаний и его решение, затухание, добротность колебательной системы

базовые понятия теории упругости и гидродинамики

основы специальной теории относительности :основные постулаты, преобразования Лоренца и их следствия, выражения для импульса и энергии релятивистских частиц

уметь:

применять изученные общие физические законы для решения конкретных задач механики;

записывать и решать уравнения движения частицы и системы частиц, в том числе при реактивном движении;

применять законы сохранения для решения задач о динамике частицы, системы частиц или твёрдых тел;

применять законы сохранения при исследовании упругих и неупругих столкновений частиц, в том числе релятивистских;

рассчитывать параметры орбит при движении в поле тяготения для задачи двух тел;

применять законы механики в различных системах отсчёта, в том числе неинерциальных;

рассчитывать моменты инерции симметричных твёрдых тел и применять к ним законы вращательного движения;

рассчитывать периоды колебаний различных механических систем с одной степенью свободы, в том числе для колебания твёрдых тел;

анализировать физические задачи, выделяя существенные и несущественные аспекты явления, и на основе проведённого анализа строить упрощённые теоретические модели физических явлений;

применять различные математические инструменты решения задач исходя из сформулированных физических законов , и проводить необходимые аналитические и численные расчёты.

владеть:

основными методами решения задач механики;

основными математическими инструментами, характерными для задач механики.

#### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

##### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Основы кинематики	2	3		5
2	Динамика частицы. Законы Ньютона	2	3		6
3	Динамика систем частиц. Законы сохранения	2	4		6
4	Момент импульса материальной точки	2	3		5
5	Законы Кеплера. Тяготение	2	3		5
6	Вращение твёрдого тела	2	4		6
7	Неинерциальные системы отсчёта	2	2		5
8	Механические колебания и волны	2	4		6

9	Элементы теории упругости	2	2		5
10	Элементы гидродинамики	2	2		6
Итого часов		20	30		55
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

##### Семестр: 1 (Осенний)

##### 1. Основы кинематики

Кинематика материальной точки. Материальная точка. Системы отсчёта и системы координат (декартова, полярная, сферическая). Радиус-вектор. Виды движения. Линейные и угловые скорости и ускорения. Формулы для нормального, тангенциального и полного ускорений точки. Траектория движения, радиус кривизны траектории.

##### 2. Динамика частицы. Законы Ньютона

Динамика материальной точки. Задание состояния частицы в классической механике. Основная задача динамики. Первый закон Ньютона. Инерциальные и неинерциальные системы отсчёта. Масса частицы. Инертная и гравитационная массы. Импульс частицы. Примеры взаимодействий, описывающие индивидуальные свойства сил (сила гравитационного притяжения, упругая сила, силы трения и сопротивления и пр.). Второй закон Ньютона как уравнение движения. Роль начальных условий. Третий закон Ньютона.

##### 3. Динамика систем частиц. Законы сохранения

Закон сохранения импульса. Движение тел с переменной массой. Уравнение Мещерского. Реактивное движение. Формула Циолковского. Работа силы. Мощность. Кинетическая энергия частицы. Понятие силового поля. Консервативные и неконсервативные силы. Потенциальная энергия. Потенциал поля. Закон сохранения энергии в механике. Динамика систем частиц (материальных точек). Центр инерции системы частиц (центр масс). Скорость и ускорение центра инерции системы частиц. Закон движения центра инерции. Система центра инерции (центра масс). Движение системы из двух взаимодействующих частиц (задача двух тел). Приведённая масса. Соотношение между кинетическими энергиями в различных системах отсчёта. Теорема Кёнига. Внутренняя энергия. Общефизический закон сохранения энергии. Анализ столкновения двух частиц для абсолютно упругого и неупругого ударов. Построение и использование векторных диаграмм. Пороговая энергия при неупругом столкновении частиц.

##### 4. Момент импульса материальной точки

Момент импульса материальной точки относительно центра (начала) и оси. Момент силы. Связь момента импульса материальной точки с секториальной скоростью. Момент импульса системы материальных точек. Уравнение моментов. Закон сохранения момента импульса.

##### 5. Законы Кеплера. Тяготение

Движение тел в центральном поле. Закон всемирного тяготения. Законы Кеплера. Фinitные и инфинитные движения. Космические скорости. Связь параметров орбиты планеты с полной энергией и моментом импульса планеты. Теорема Гаусса и её применение для вычисления гравитационных полей.

##### 6. Вращение твёрдого тела

Вращение твёрдого тела вокруг неподвижной оси. Момент инерции. Вычисление моментов инерции твёрдых тел. Теорема Гюйгенса–Штейнера. Уравнение моментов. Кинетическая энергия вращающегося тела. Уравнения движения и равновесия твёрдого тела. Мгновенная ось вращения. Угловая скорость как вектор, сложение вращений. Независимость угловой скорости вращения твёрдого тела от положения оси, к которой отнесено вращение. Понятие о тензоре инерции и эллипсоиде инерции. Главные оси инерции. Уравнение моментов относительно движущегося начала и движущейся оси. Плоское движение твёрдого тела. Качение. Скатывание и вкатывание тел на наклонную плоскость. Регулярная прецессия свободного вращающегося симметричного волчка (ротатора). Гироскопы. Движение свободного гироскопа. Уравнение движения гироскопа под действием сил (приближённая теория). Гироскопические силы. Применения гироскопов.

## 7. Неинерциальные системы отсчёта

Силы инерции при ускоренном движении системы отсчёта. Второй закон Ньютона в неинерциальных системах отсчёта. Относительное, переносное, кориолисово ускорения. Центробежная и кориолисова силы. Вес тела. Отклонение падающих тел от направления отвеса. Маятник Фуко.

## 8. Механические колебания и волны

Механические колебания материальной точки. Гармонический осциллятор. Пружинный маятник и математический маятник. Частота и период колебаний. Анализ уравнения движения маятника. Роль начальных условий. Анализ колебаний материальной точки под действием вынуждающей синусоидальной силы. Резонанс. Резонансные кривые. Анализ затухающих колебаний. Сухое и вязкое трение. Коэффициент затухания, логарифмический декремент затухания, добротность. Фазовая плоскость. Механические колебания тел. Физический маятник. Приведённая длина, центр качания. Теорема Гюйгенса о физическом маятнике. Действие периодических толчков на гармонический осциллятор. Понятие о параметрических колебаниях и автоколебаниях. Описание волнового движения. Волновое число, фазовая скорость. Понятие о бегущих и стоячих волнах.

## 9. Элементы теории упругости

Упругие и пластические деформации. Растяжение и сжатие стержней. Коэффициент упругости, модуль Юнга, коэффициент Пуассона. Объёмная плотность энергии упругой деформации. Анализ всестороннего и одностороннего растяжения и сжатия. Деформации сдвига и кручения. Скорость распространения продольных упругих возмущений в стержнях.

## 10. Элементы гидродинамики

Жидкость и газ в состоянии равновесия. Условие равновесия во внешнем поле сил. Идеальная жидкость. Кинематическое описание движения жидкости. Линии тока, стационарное течение идеальной жидкости и газа. Уравнение Бернулли. Формула Торричелли. Вязкость. Стационарное течение вязкой жидкости по прямолинейной трубе. Формула Пуазейля. Ламинарное и турбулентное течения. Число Рейнольдса и его физический смысл. Пограничный слой и явления отрыва. Объяснение эффекта Магнуса. Понятие о подъёмной силе при обтекании крыла.

## 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

- Лекционная аудитория, оснащённая мультимедийным проектором и экраном
- Оборудование для лекционных демонстраций
- Учебные аудитории, оснащённые доской
- Доступ к библиотекам учебной технической литературы, в том числе электронным, необходимый для осуществления самостоятельной работы обучающихся

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

## Основная литература

1. Общий курс физики [Текст] : в 5 т. Т. 1 : Механика : учеб. пособие для вузов / Д. В. Сивухин .— 4-е изд., стереотип. — М. : Физматлит, 2002, 2006, 2010, 2014 .— 560 с. — 560 с.
2. Общая физика. Механика [Текст] : учеб. пособие для вузов / Н. А. Кириченко, К. М. Крымский ; М-во образования и науки РФ, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— М. : МФТИ, 2013 .— 290 с.
3. Основы физики [Текст] : Курс общей физики : в 2 т. Т. 1. Механика, электричество и магнетизм. Колебания и волны, волновая оптика / А. С. Кингсеп, Г. Р. Локшин, О. А. Ольхов ; под ред. А. С. Кингсеп. — 2-е изд., испр. — М. : Физматлит, 2007 .— 704 с.
4. Лабораторный практикум по общей физике [Текст] : в 3 т. Т. 1 : Механика : учеб. пособие для вузов / под ред. А. Д. Гладуна ; М-во образования и науки РФ, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— 2-е изд., испр. — М. : МФТИ, 2012 .— .— 292 с.
5. Сборник задач по общему курсу физики [Текст] : в 3 ч. Ч. 1 : учеб. пособие для вузов. Механика. Термодинамика и молекулярная физика / под ред. В. А. Овчинкина .— 4-е изд., испр. — М. : Физматкнига, 2016 .— 560 с.
7. Калашников Н.П., Смодырев М.А./Основы физики в 2-х томах М.-Лаборатория знаний, 2017

## Дополнительная литература

1. Физические основы механики [Текст] : учеб. пособие для вузов / С. Э. Хайкин .— 2-е изд., испр. и доп. — М. : Наука, 1971 .— 752 с.
2. Механика [Текст] / Ч.Киттель,В.Найт,М.Рудерман ; пер.с англ.под ред.А.И.Шальникова,А.С.Ахматова .— 3-е изд.,испр. — М. : Наука, 1983 .— 448с.
3. Фейнмановские лекции по физике [Текст]. Вып. 1 - 2 : [учеб. пособие для вузов]. Современная наука о природе. Законы механики. Пространство. Время. Движение / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; пер. с англ. А. В. Ефремов [и др.] .— 3-е изд. — М. : Мир, 1976 .— 440 с.
4. Методы решения задач в общем курсе физики. Механика [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. П. Корявов .— 2-е изд., испр. — М. : Студент, 2012 .— 382 с.
5. Курс общей физики. Механика и молекулярная физика [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / Л. Д. Ландау, А. И. Ахиезер, Е. М. Лифшиц .— 3-е изд. — М. : Добросвет : КДУ, 2011 .— 340 с.

## 7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

[http://mipt.ru/education/chair/physics/S\\_I/method/](http://mipt.ru/education/chair/physics/S_I/method/)

## 8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

1. [http://mipt.ru/education/chair/physics/S\\_I/method/](http://mipt.ru/education/chair/physics/S_I/method/) — методический раздел сайта кафедры Общей физики
2. <http://lib.mipt.ru/catalogue/1412/?t=750> — электронная библиотека МФТИ, раздел «Общая физика»

## 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий курс «Общая физика: механика», должен не только изучить общие физические законы и понятия, но научиться применять их на практике.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы,
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на лекциях и практических занятиях,
- подготовку к практическим занятиям, контрольной работе, сдаче заданий, экзамену.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Показателем владения материалом служит умение решать задачи. Для формирования умения применять теоретические знания на практике студенту необходимо решать как можно больше задач. При решении задач каждое действие необходимо аргументировать, ссылаясь на известные теоретические сведения и проводить все необходимые вычисления, доводя задачу до конечного ответа. Задача считается решённой, если она содержит обоснованное решение: ссылки на применяемые физические законы и корректные выкладки, а также правильный численный ответ (если в задаче есть числовые данные).

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

**по направлению:** Экономика  
**профиль подготовки:** Управление инновациями в бизнесе  
Физтех-школа бизнеса высоких технологий  
кафедра общей физики  
**курс:** 1  
**квалификация:** бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен

**Разработчики:**

П.В. Попов, канд. физ.-мат. наук, доцент  
Э.В. Прут, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор  
В.С. Булыгин, канд. физ.-мат. наук, доцент, профессор  
К.М. Крымский, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент  
В.А. Овчинкин, канд. техн. наук, доцент, доцент  
А.В. Гавриков, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент  
Н.А. Кириченко, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор



## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять знания (на промежуточном уровне) экономической теории при решении прикладных задач	ОПК-1.1 Применяет математический аппарат для решения типовых экономических задач
ПК-10 Способен проводить моделирование экономических процессов и систем	ПК-10.1 Имеет глубокое знание и понимание моделирования экономических процессов

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Общая физика: механика» обучающийся должен:

### знать:

фундаментальные законы и понятия механики, а также границы их применимости:  
основы кинематики: радиус-вектор, скорость, тангенциальное и нормальное ускорение, радиус кривизны траектории  
законы Ньютона в инерциальных и неинерциальных системах отсчёта  
законы сохранения импульса, энергии, момента импульса  
законы движения тел в поле тяготения (законы Кеплера)  
законы вращательного движения твёрдого тела вокруг неподвижной оси и при плоском движении  
основы приближённой теории гироскопов  
основные понятия теории колебаний: уравнение гармонических колебаний и его решение, затухание, добротность колебательной системы  
базовые понятия теории упругости и гидродинамики  
основы специальной теории относительности :основные постулаты, преобразования Лоренца и их следствия, выражения для импульса и энергии релятивистских частиц

### уметь:

применять изученные общие физические законы для решения конкретных задач механики;  
записывать и решать уравнения движения частицы и системы частиц, в том числе при реактивном движении;  
применять законы сохранения для решения задач о динамике частицы, системы частиц или твёрдых тел;  
применять законы сохранения при исследовании упругих и неупругих столкновений частиц, в том числе релятивистских;  
рассчитывать параметры орбит при движении в поле тяготения для задачи двух тел;  
применять законы механики в различных системах отсчёта, в том числе неинерциальных;  
рассчитывать моменты инерции симметричных твёрдых тел и применять к ним законы вращательного движения;  
рассчитывать периоды колебаний различных механических систем с одной степенью свободы, в том числе для колебания твёрдых тел;  
анализировать физические задачи, выделяя существенные и несущественные аспекты явления, и на основе проведённого анализа строить упрощённые теоретические модели физических явлений;  
применять различные математические инструменты решения задач исходя из сформулированных физических законов , и проводить необходимые аналитические и численные расчёты.

### владеть:

основными методами решения задач механики;  
основными математическими инструментами, характерными для задач механики.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

- Найти скорость произвольной точки обода колеса, катящегося по плоскости без проскальзывания.
- Найти нормальное и тангенциальное ускорение в некоторой точке траектории тела, брошенного под углом к горизонту.

- Сформулировать закон изменения импульса системы тел. При каких условиях импульс сохраняется?
- Найти зависимость скорости от времени для тела, падающего с небольшой высоты вертикально без начальной скорости. Силу сопротивления воздуха считать пропорциональной скорости тела.
- Сформулировать закон изменения механической энергии системы тел. При каких условиях механическая энергия системы сохраняется?
- Записать работу силы  $F$  при элементарном перемещении  $dr$ . Получить формулу для мощности силы.
- Получить выражение для потенциальной энергии пружины, подчиняющейся закону Гука.
- Дать определение консервативной силы. Являются ли консервативными следующие силы: тяжести, упругости, сухого трения, сопротивления воздуха?
- Потенциальная энергия тела равна  $\Pi(x)$ . Найти силу, действующую на тело по оси  $x$ .
- Вывести формулу зависимости скорости ракеты от её массы в свободном пространстве (формула Циолковского).
- Ракета движется вертикально вверх в поле тяжести  $g$ . Скорость истечения газов ракеты равна  $u$ , расход топлива  $\mu$ . Найти ускорение ракеты в момент, когда её масса равна  $m$ .
- Дать определение центра инерции системы. Сформулировать теорему о движении центра инерции.
- Получить связь между кинетической энергией в системе центра инерции и в лабораторной системе (теорема Кёнига).
- Найти минимальную кинетическую энергию, которая должна иметь (нерелятивистская) частица массы  $m$ , чтобы вступить в реакцию с покоящейся частицей той же массы, если энергия, поглощаемая в этой реакции равна  $E$ .
- Найти направление и величину момента импульса (относительно начала координат) материальной точки, имеющей радиус-вектор  $r$ , скорость  $v$  и массу  $m$ .
- Найти вектор  $M$  момента силы  $F$  (относительно начала координат), приложенной к точке с радиус-вектором  $r$ .
- Сформулировать закон изменения момента импульса системы материальных точек. При каких условиях момент импульса сохраняется?
- Получить выражение для потенциальной энергии гравитационного взаимодействия двух точечных масс  $m$ , находящихся на расстоянии  $r$ .

#### **4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся**

1. Нормальное и тангенциальное ускорение. Вычисление скорости и ускорения при движении материальной точки вдоль плоской кривой.
2. Первый закон Ньютона. Инерциальные и неинерциальные системы отсчёта.
3. Описание состояния частицы в классической механике. Второй закон Ньютона как уравнение движения. Начальные условия.
4. Закон сохранения импульса. Третий закон Ньютона.
5. Центр масс. Закон движения центра масс.
6. Движение тела с переменной массой: уравнение Мещерского, реактивная сила, формула Циолковского.
7. Механическая работа. Кинетическая и потенциальная энергии. Закон сохранения механической энергии. Общефизический закон сохранения энергии.
8. Связь между кинетическими энергиями в различных системах отсчёта. Теорема Кёнига.
9. Неупругие столкновения нерелятивистских частиц. Порог реакции.
10. Диаграмма скоростей для упругого столкновения частицы с неподвижной частицей. Максимальный угол рассеяния.
11. Свободные гармонические колебания. Примеры гармонических осцилляторов. Фазовые траектории гармонического осциллятора.
12. Физический маятник. Период малых колебаний. Приведённая длина.
13. Осциллятор с вязким трением. Коэффициент затухания, логарифмический декремент затухания, добротность осциллятора. Фазовые траектории осциллятора с затуханием.
14. Параметрическое возбуждение колебаний (качели).

15. Вынужденные колебания гармонического осциллятора под действием периодических толчков (фазовые траектории)
16. Вынужденные колебания осциллятора с затуханием под действием синусоидальной силы. Амплитудно-частотная характеристика осциллятора. Резонанс.
17. Момент импульса системы материальных точек (тела) относительно точки и относительно оси. Уравнение моментов. Закон сохранения момента импульса.
18. Закон всемирного тяготения. Консервативность гравитационного поля. Теорема Гаусса (без вывода) и примеры её применения.
19. Законы Кеплера.

#### Критерии оценивания

Оценка за письменную часть экзамена определяет максимальную итоговую оценку за экзамен. В исключительных случаях, если на устной части экзамена студент демонстрирует превосходные теоретические знания и уровень понимания предмета, итоговая оценка может быть повышена, но не более, чем на 2 балла (по 10-балльной шкале).

На устном экзамене преподаватель оценивает ответ студента в целом и выставляет оценку согласно приведённым ниже критериям и изложенным выше замечаниям касательно письменной части экзамена:

Оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания учебной программы и за её пределами, а также умение уверенно применять их на практике при решении сложных нестандартных задач.

Оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания учебной программы и умение уверенно применять их на практике при решении нестандартных задач.

Оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания учебной программы и умение уверенно применять их на практике при решении нестандартных задач, однако допустившему некоторые неточности при ответе.

Оценка «хорошо (7)» выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание и уверенное понимание материала учебной программы и умение свободно применять физические законы на практике при решении типовых задач.

Оценка «хорошо (6)» выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание материала учебной программы и умение применять физические законы на практике при решении типовых задач.

Оценка «хорошо (5)» выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание и понимание материала учебной программы и умение применять физические законы на практике при решении типовых задач, однако допустил при ответе ряд грубых неточностей.

Оценка «удовлетворительно (4)» выставляется студенту, показавшему фрагментарный характер знаний, допускавшему неточности в формулировке основных законов и базовых понятий, но при этом продемонстрировавшему способность решать простые задачи и владение основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения.

Оценка «удовлетворительно (3)» выставляется студенту, показавшему сильно фрагментарный характер знаний, допускавшему грубые ошибки в формулировке основных законов и базовых понятий, но при этом продемонстрировавшему способность решать простые задачи и владение основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения.

Оценка «неудовлетворительно (2)» или «неудовлетворительно (1)» выставляется студенту, который не знает значительную часть основного содержания программы, систематически допускает грубые ошибки при формулировании основных физических законов или не способен корректно применять физические законы даже для решения простых задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Время проведения письменной части экзамена составляет 4 астрономических часа. На экзамене предлагаются для решения 5 оригинальных задач. Темы соответствуют темам семинарских занятий. Задача считается решённой, если она содержит обоснованное решение: ссылки на применяемые физические законы и корректные выкладки, а также правильный численный ответ (если в задаче есть числовые данные). На экзамене разрешается пользоваться любыми записями и учебными пособиями в бумажном виде. Категорически запрещается включать любые устройства, которые могут служить средствами связи – ноутбуки, планшеты, телефоны и т.п. Нарушители удаляются с экзамена с оценкой «неудовлетворительно». Разрешается пользоваться калькуляторами. Запрещается пользоваться калькуляторами в мобильных телефонах, ноутбуках и т.п.

Экзамен проходит в традиционной форме беседы преподавателя со студентом по теме экзаменационного билета. Экзаменационный билет содержит два пункта: «вопрос по выбору» и один вопрос из программы курса.

«Вопрос по выбору» студент готовит самостоятельно до экзамена. Выбор темы осуществляется при консультации преподавателя, ведущего семинарские задания. Вопросом по выбору может быть 1) углублённое изложение одного из пунктов программы, 2) вопрос или задача, непосредственно связанные с тематикой курса, однако не затронутые в нём, 3) изложение и защита результатов лабораторной работы, проделанной студентом в лабораторном практикуме в качестве дополнительной работы. На ответ по «вопросу по выбору» студенту предоставляется не более 10 минут.

На подготовку к ответу по билету студенту даётся от 30 до 45 минут. В течение экзамена студенту не разрешается пользоваться вычислительной техникой, литературой, заранее подготовленными собственными записями и другими материалами, относящимися к предмету, кроме экзаменационной программы курса.

В процессе ответа на «вопрос по выбору» разрешается пользоваться заранее подготовленным планом ответа и заранее подготовленными иллюстрациями/графиками, представленными в бумажном виде, либо на электронном носителе (планшет/ноутбук). Используемые графики или иллюстрации не должны содержать частей текста доклада. На подготовку ответа на «вопрос по выбору» (повторение) даётся не более 5 минут.

В процессе ответа по билету экзаменатор может задавать уточняющие вопросы. После ответа по билету экзаменатор вправе задавать студенту любые дополнительные вопросы по программе курса.

В совокупности опрос обучающегося на устном экзамене не должен превышать двух астрономических часов.

### **3. Перечень типовых контрольных заданий, используемых для оценки знаний, умений, навыков**

Промежуточная аттестация по дисциплине «Общая физика: Оптика» осуществляется в форме экзамена. Экзамен состоит из двух частей: проводится в письменной и устной форме.

На письменной части экзамена студенту предлагается решить 5 задач. Все предлагаемые задачи представляют собой оригинальные авторские задачи, специально подготовленные для экзамена. С примерами задач прошлых лет можно ознакомиться на сайте кафедры общей физики в разделе экзаменационных материалов за 4-й семестр [http://mipt.ru/education/chair/physics/S\\_IV/pism4/](http://mipt.ru/education/chair/physics/S_IV/pism4/)

Устная часть экзамена проходит по билетам. В каждом билете содержится теоретический вопрос из приведенного ниже списка экзаменационных вопросов. Кроме того, студенту предлагается изложить подготовленный заранее «вопрос по выбору», которым может быть как один из пунктов приведённого ниже списка, так и любой вопрос, затрагиваемый в изучаемом курсе или непосредственно связанный с ним. В качестве вопроса по выбору могут быть изложены результаты проделанной студентом лабораторной работы.

Список вопросов устного экзамена:

1. Волновое уравнение. Монохроматические волны. Комплексная амплитуда. Уравнение Гельмгольца.
2. Монохроматические волны. Комплексная амплитуда. Уравнение плоской и сферической волн. Принцип суперпозиции, интерференция.
3. Интерференция монохроматических волн. Интерференция плоской и сферической волн. Ширина интерференционных полос. Видность полос.
4. Влияние немонохроматичности света на видность интерференционных полос. Функция временной когерентности. Связь времени когерентности с шириной спектра. Теорема Винера-Хинчина. Соотношение неопределённостей.
5. Видность интерференционных полос и ее связь со степенью когерентности при использовании квазимонохроматических источников света. Оценка максимального числа наблюдаемых полос. Максимально допустимая разность хода в интерференционных опытах.
6. Апертура интерференционной схемы и влияние размеров источника на видность интерференционных полос. Функция пространственной когерентности. Радиус пространственной когерентности.
7. Связь радиуса пространственной когерентности с угловым размером протяженного источника. Теорема Ван-Циттерта-Цернике. Видность интерференционных полос при использовании протяженных источников света. Звездный интерферометр Майкельсона.
8. Максимально допустимая разность хода волн в интерференционных опытах и её связь со временем когерентности.
9. Радиус пространственной когерентности и ограничение на допустимые размеры источника в интерференционных опытах.
10. Принцип Гюйгенса-Френеля. Количественная формулировка принципа Гюйгенса-Френеля. Волновой параметр как критерий подобия дифракционных явлений.
11. Дифракция Френеля на круглом отверстии. Спираль Френеля. Пятно Пуассона и условия его наблюдения.
12. Зонная пластинка Френеля. Интенсивность света в фокусе зонной пластинки. Идеальная линза. Фокусировка света.

13. Волновой параметр. Условие наблюдения дифракции Френеля и Фраунгофера. Критерий геометрической оптики.
14. Дифракция Фраунгофера. Связь с преобразованием Фурье. Дифракция Фраунгофера на щели и круглом отверстии. Поле в фокальной плоскости линзы.
15. Дифракция Фраунгофера в оптических приборах. Разрешающая способность телескопа и микроскопа. Критерий Релея.
16. Дифракционная решетка как спектральный прибор. Разрешающая способность и область дисперсии. Разрешающая способность призмы.
17. Дифракция Фраунгофера на решетке: положение и интенсивность главных максимумов, их ширина и максимальный порядок.
18. Интерферометр Фабри-Перо как оптический резонатор. Разрешающая способность интерферометра, связь с добротностью.
19. Принципы Фурье-оптики: представление произвольной волны в виде суперпозиции плоских волн разных направлений. Пространственное преобразование Фурье. Пространственная частота. Метод Релея в задачах дифракции.
20. Дифракция Френеля на периодических структурах. Эффект саморепродукции.
21. Теория Аббе формирования оптического изображения. Фурье-плоскость оптической системы.
22. Принципы пространственной фильтрации. Методы наблюдения фазовых структур.
23. Поле в фокальной плоскости линзы. Связь с преобразованием Фурье.
24. Дифракция на амплитудной и фазовой синусоидальной решетке.
25. Методы наблюдения прозрачных (фазовых) структур. Методы темного поля и фазового контраста.
26. Голография. Голограмма точечного источника (голограмма Габора). Разрешающая способность голограммы. Голограмма с наклонным опорным пучком.
27. Объемная голограмма. Восстановление изображения объемной голограммой, условие Брегга-Вульфа.
28. Электромагнитные волны на границе раздела двух диэлектриков. Явление Брюстера. Зависимость энергетических коэффициентов отражения  $R_{\perp}$  и  $R_{\parallel}$  от угла падения (качественно).
29. Способы получения линейно-поляризованного света. Дихроизм. Поляроиды. Закон Малюса.
30. Электромагнитные волны в одноосных кристаллах. Обыкновенная и необыкновенная волны. Кристаллические пластинки  $\lambda/2$  и  $\gamma/4$ .
31. Двулучепреломление. Интерференция поляризованных волн.
32. Нелинейная поляризация среды. Генерация второй гармоники. Условие фазового синхронизма. Оптическое выпрямление.
33. Нелинейные оптические эффекты. Самофокусировка. Пороговая мощность.
34. Дисперсия. Фазовая и групповая скорости. Формула Релея. Классическая теория дисперсии. Аномальная дисперсия. Дисперсия в ионосфере и металлах.

Примеры простых задач, решение которых необходимо для получения удовлетворительной оценки:

- Найти угол падения света на границу раздела вода/масло, при котором возникает полное отражение. Коэффициент преломления воды  $n_{\text{в}} = 4/3$ , масла  $n_{\text{м}} = 1.5$ . Из какой среды должен падать свет?

- К тонкой рассеивающей линзе с фокусным расстоянием  $f = -120$  см, прислонен тонкий сегмент стеклянной сферы, имеющей радиус  $R = 40$  см. Найти фокусное расстояние получившейся составной линзы, если коэффициент преломления стекла  $n = 1.5$ .
- Найти суммарную интенсивность двух когерентных, одинаково поляризованных пучков света, если интенсивность первого равна  $I_0$ , второго —  $4I_0$ , а разность хода между ними составляет  $\lambda / 6$ .
- Найти расстояние от щелей до экрана в опыте Юнга, если ширина интерференционных полос равна  $\Delta x = 1$  мм, интервал между щелями  $d = 1$  мм, используется монохроматический свет с  $\lambda = 500$  нм.
- При каких расстояниях между щелями в опыте Юнга можно увидеть интерференцию на экране, если угловой размер источника равен  $10^{-4}$  рад. Свет считать монохроматическим с  $\lambda = 500$  нм.
- Найти количество полос которые можно наблюдать в интерференционном опыте, при использовании дуплета натрия (длины волн: 5890 и 5896 ангстрем) в качестве источника света.
- Найти радиус третьего светлого кольца Ньютона, для света с  $\lambda = 500$  нм, при использовании плосковыпуклой линзы с радиусом кривизны  $R = 1$  м.
- Отверстие диаметром  $D = 1$  мм освещается плоскопараллельным светом с  $\lambda = 500$  нм, создавая на экране, на расстоянии  $L = 0.1$  м, дифракционное пятно. Определить число открытых зон Френеля.
- Отверстие с приложенной к нему линзой освещается пучком света с интенсивностью  $I_0$ . В отверстие уместается две с половиной зоны Френеля, если смотреть из фокуса. Найти интенсивность света в нем.
- Щель шириною  $d = 0.1$  мм освещается параллельным светом с  $\lambda = 500$  нм. К ней приложена линза с фокусным расстоянием  $f = 30$  см. Найти ширину наиболее яркой полосы на экране расположенном в фокальной плоскости.
- Отверстие радиуса  $R$  освещено пучком света с длиной волны  $\lambda$ . На каком расстоянии  $L$  должна находиться точка наблюдения, что бы дифракцию можно было считать Фраунгоферовой? (ответ предоставить в виде « $L$  много больше (меньше) такого-то характерного размера»)
- При повороте кристалла во вращающемся рентгеновском спектрографе отраженный максимум в первый раз возникает при угле скольжения  $30^\circ$ . Постоянная решетки кристалла равна  $d = 0.2$  нм. Найти длину волны изучаемого рентгеновского излучения.
- В двойной звездной системе находящейся от нас в 200 св. годах ( $1 \text{ св. год} \approx 10^{13} \text{ км}$ ), расстояние между двумя белыми звездами ( $\lambda = 500$  нм) составляет 1 млрд. км. Каким должен быть диаметр зеркала космического телескопа, что бы их можно было различить?
- Образец, исследуемый под микроскопом, находится на расстоянии 3 мм от его объектива, имеющего диаметр 8 мм. Каково минимальное расстояние, разрешаемое микроскопом?

- Как изменится интенсивность света в фокусе тонкой линзы, если вдвое увеличить ее диаметр?
- Сформулируйте критерий Релея.
- Для пучка света с  $\lambda = 500$  нм первый максимум дифракционной решетки находится на  $30^\circ$ . Какой должна быть минимальная ширина пучка света падающего на решетку, чтобы можно было различить линии желтого дуплета натрия (длины волн: 5890 и 5896 ангстрем)?
- В районе длин волн желтого дуплета натрия (длины волн: 5890 и 5896 ангстрем) стекло, из которого изготовлена призма, имеет закон дисперсии  $n(\lambda) = 1.5 + A \cdot \lambda$ , где  $A = 6 \cdot 10^{-5} \text{ нм}^{-1}$ . Каким должно быть минимальное основание призмы, чтобы можно было различить дуплет?
- Расстояние между зеркалами в интерферометре Фабри-Перо  $L = 5$  мм. Каким должен быть коэффициент отражения зеркал, чтобы можно было различить две близкие спектральные линии с  $\lambda_1 = 6000$  и  $\lambda_2 = 6000.01$  ангстрем?
- Расстояние между зеркалами в интерферометре Фабри-Перо  $L = 1$  см, фокусное расстояние линзы  $f = 20$  см. Интерферометр прозрачен для параллельных лучей с  $\lambda = 500$  нм. Найти для этой длины волны радиус 2-ого кольца в фокальной плоскости линзы.
- Амплитудный коэффициент пропускания голограммы Габора зависит от радиуса как  $t(r) = A + B \cos(Cr^2 + \varphi)$ , где  $A, B, \varphi$  – некоторые константы, а  $C = 6.28 \cdot 10^8 \text{ м}^2$ . На каком расстоянии от голограммы будут находиться изображения, если ее осветить параллельным светом с  $\lambda = 500$  нм?
- Амплитудную решетку с функцией пропускания  $t(x) = \alpha + \beta \cos(ux) + \gamma \cos(2ux)$  освещают пучком света с длиной волны  $\lambda$ . За решеткой находится линза с фокусным расстоянием  $f$ . Сколько полос будет на экране, расположенном в ее фокальной плоскости, и на каких расстояниях друг от друга?
- На экране получают изображение узкой щели, находящейся в 40 см от линзы с фокусным расстоянием 20 см. Найти период изображения, получившегося после того, как в фокальной плоскости расположили дифракционную решетку с плотностью штрихов 100 штрихов/мм.
- Естественный свет с интенсивностью  $I$  падает на систему из двух поляризаторов, скрещенных под углом  $30^\circ$ . Чему равна интенсивность прошедшего через поляризаторы света?
- Как поменяется видность интерференционной картины, если интерферирующие пучки неполяризованного света пропустить через поляризаторы, направления которых образуют угол  $60^\circ$ ?
- Коэффициенты преломления исландского шпата для обыкновенной и необыкновенной волны равны  $n_o = 1.48$  и  $n_e = 1.65$  соответственно. Какой должна быть минимальная толщина изготовленной из него двоякопреломляющей пластинки, чтобы она могла менять линейную поляризацию проходящего через нее света с длиной волны  $\lambda = 680$  нм, на круговую?



- При каком угле падения отражённая волна будет полностью поляризована, если коэффициент преломления  $n = 1.7$ ? Укажите направление поляризации.
- Вещество отражает 16 % нормально падающего света. Найти коэффициент преломления вещества.
- Запишите волновое уравнение в веществе с коэффициентом преломления  $n$ .
- Известно, что фазовая скорость электромагнитной волны в некотором веществе зависит от длины волны как  $v_{\phi} = 0.5c + b \cdot (\lambda_0 - \lambda)$ , где  $c$  – скорость света. Найти выражение для групповой скорости. Чему равен коэффициент преломления света с длиной волны  $\lambda_0$ ?

#### 4. Критерии оценивания

По результатам решения задач письменной части экзамена за каждую задачу выставляется от 0 до 3 баллов согласно следующим критериям:

3 балла: Задача решена полностью верно (т. е. приведены правильное обоснованное решение и даны ответы на все вопросы задачи). Возможно наличие мелких недочётов (описки, несущественные арифметические ошибки).

2 балла: Задача решена, ход решения задачи в целом верен, но есть существенные недочёты (ошибки в выкладках, абсурдный ответ и т.п.).

1 балл: Задача не решена, но все основные физические законы, необходимые для решения, сформулированы правильно.

0 баллов: Задача не решена или решена неверно (основные законы записаны с ошибками, либо не полностью, подход к решению задачи принципиально неверен или решение задачи не соответствует условию).

Полученные баллы суммируются и выставляется оценка за письменную часть экзамена по следующей схеме

Оценка	Баллы	Сумма баллов
отлично	10	15
	9	13-14
	8	12
хорошо	7	11
	6	9-10
	5	8
удовлетворительно	4	6-7
	3	5
неудовлетворительно	2	2-4
	1	0-1

Оценка за письменную часть экзамена определяет максимальную итоговую оценку за экзамен. В исключительных случаях, если на устной части экзамена студент демонстрирует превосходные теоретические знания и уровень понимания предмета, итоговая оценка может быть повышена, но не более, чем на 2 балла (по 10-балльной шкале).

На устном экзамене преподаватель оценивает ответ студента в целом и выставляет оценку согласно приведённым ниже критериям и изложенным выше замечаниям касательно письменной части экзамена:

Оценка **«отлично (10)»** выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания учебной программы и за её пределами, а также умение уверенно применять их на практике при решении сложных нестандартных задач.

Оценка **«отлично (9)»** выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания учебной программы и умение уверенно применять их на практике при решении нестандартных задач.

Оценка **«отлично (8)»** выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания учебной программы и умение уверенно применять их на практике при решении нестандартных задач, однако допустившему некоторые неточности при ответе.

Оценка **«хорошо (7)»** выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание и уверенное понимание материала учебной программы и умение свободно применять физические законы на практике при решении типовых задач.

Оценка **«хорошо (6)»** выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание материала учебной программы и умение применять физические законы на практике при решении типовых задач.

Оценка **«хорошо (5)»** выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание и понимание материала учебной программы и умение применять физические законы на практике при решении типовых задач, однако допустил при ответе ряд грубых неточностей.

Оценка **«удовлетворительно (4)»** выставляется студенту, показавшему фрагментарный характер знаний, допускавшему неточности в формулировке основных законов и базовых понятий, но при этом продемонстрировавшему способность решать простые задачи и владение основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения.

Оценка **«удовлетворительно (3)»** выставляется студенту, показавшему сильно фрагментарный характер знаний, допускавшему грубые ошибки в формулировке основных законов и базовых понятий, но при этом продемонстрировавшему способность решать простые задачи и владение основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения.

Оценка **«неудовлетворительно (2)»** или **«неудовлетворительно (1)»** выставляется студенту, который не знает значительную часть основного содержания программы, систематически допускает грубые ошибки при формулировании основных физических законов или не способен корректно применять физические законы даже для решения простых задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

### **Порядок проведения письменного экзамена.**

Время проведения письменной части экзамена составляет 4 астрономических часа. На экзамене предлагаются для решения 5 оригинальных задач. Темы соответствуют темам семинарских занятий. Задача считается решённой, если она содержит обоснованное решение: ссылки на применяемые физические законы и корректные выкладки, а также правильный

численный ответ (если в задаче есть числовые данные). На экзамене разрешается пользоваться любыми записями и учебными пособиями в бумажном виде. Категорически запрещается включать любые устройства, которые могут служить средствами связи – ноутбуки, планшеты, телефоны и т.п. Нарушители удаляются с экзамена с оценкой «неудовлетворительно». Разрешается пользоваться калькуляторами. Запрещается пользоваться калькуляторами в мобильных телефонах, ноутбуках и т.п.

### **Порядок проведения устного экзамена.**

Экзамен проходит в традиционной форме беседы преподавателя со студентом по теме экзаменационного билета. Экзаменационный билет содержит два пункта: «вопрос по выбору» и один вопрос из программы курса.

«Вопрос по выбору» студент готовит самостоятельно до экзамена. Выбор темы осуществляется при консультации преподавателя, ведущего семинарские задания. Вопросом по выбору может быть 1) углубленное изложение одного из пунктов программы, 2) вопрос или задача, непосредственно связанные с тематикой курса, однако не затронутые в нём, 3) изложение и защита результатов лабораторной работы, сделанной студентом в лабораторном практикуме в качестве дополнительной работы. На ответ по «вопросу по выбору» студенту предоставляется не более 10 минут.

На подготовку к ответу по билету студенту даётся от 30 до 45 минут. В течение экзамена студенту не разрешается пользоваться вычислительной техникой, литературой, заранее подготовленными собственными записями и другими материалами, относящимися к предмету, кроме экзаменационной программы курса.

В процессе ответа на «вопрос по выбору» разрешается пользоваться заранее подготовленным планом ответа и заранее подготовленными иллюстрациями/графиками, представленными в бумажном виде, либо на электронном носителе (планшет/ноутбук). Используемые графики или иллюстрации не должны содержать частей текста доклада. На подготовку ответа на «вопрос по выбору» (повторение) даётся не более 5 минут.

В процессе ответа по билету экзаменатор может задавать уточняющие вопросы. После ответа по билету экзаменатор вправе задавать студенту любые дополнительные вопросы по программе курса.

В совокупности опрос обучающегося на устном экзамене не должен превышать двух астрономических часов.

### **БИЛЕТ № 01**

1. Вопрос по выбору.
2. Описание движения материальной точки вдоль плоской кривой. Нормальное и тангенциальное ускорения. Радиус кривизны траектории.

### **БИЛЕТ № 02**

1. Вопрос по выбору.
2. Первый закон Ньютона. Инерциальные и неинерциальные системы отсчёта. Преобразования Галилея. Описание состояния частицы в классической механике. Второй закон Ньютона как уравнение движения. Начальные условия.

### **БИЛЕТ № 03**

1. Вопрос по выбору.

2. Закон сохранения импульса. Третий закон Ньютона. Центр масс. Закон движения центра масс.