

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

УТВЕРЖДЕНО

**Проректор по учебной работе и
довузовской подготовке**

А.А. Воронов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Аналитическая механика
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Системная и синтетическая биология Физтех-школа Биологической и Медицинской Физики кафедра теоретической физики им. Л.Д. Ландау
курс:	2
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Количество контрольных работ, заданий: 2

Программу составил: М.Г. Иванов, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры теоретической физики им. Л.Д. Ландау 23.05.2020

Аннотация

Программа предназначена для студентов 2 курса ФБМФ. Она включает в себя план лекций, рекомендуемую литературу, сводку основных формул, а также задачи для рассмотрения на семинарах и для самостоятельного решения студентами.

В курсе рассматриваются основы аналитической механики, специальной теории относительности и динамики заряженной частицы во внешнем электромагнитном поле. В первой части курса даются основные теории тензоров, необходимые задач механики и четырехмерного описания релятивистских явлений, основные понятия аналитической механики (лагранжев формализм, гамильтонов формализм) кинематика и динамика твёрдого тела. Во второй части курса даётся аксиоматика теории относительности, откуда выводятся основные следствия: релятивистское сокращение длины, замедление времени, относительность одновременности, абберация света. Далее рассматривается релятивистская частица в свободном пространстве и в электромагнитном поле. Формулируется кинематика электромагнитного поля, вводятся скалярные и векторные потенциалы, 4-мерный потенциал, тензор электромагнитного поля. В заключение курса рассматривается уравнение Гамильтона-Якоби и его решение методом разделения переменных.

Курс основывается на общих знаниях математического анализа (теория функций одной и нескольких переменных), аналитической геометрии и линейной алгебры, и во многом опирается на представления и навыки, привитые студентам кафедрой общей физики (общие знания механики и релятивистской теории). Изложенные результаты используются в других курсах теоретической физики: в теории поля, квантовой механике и статистической физике, а также в ряде курсов по выбору.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Дать студентам знания необходимые для описания различных физических явлений в области приложений специальной теории относительности, релятивистской механики и классической механики, и методы построения соответствующих математических моделей, показать соответствие системы постулатов, положенных в основу теории относительности и классической механики, существующим экспериментальным данным, что позволяет считать теорию достоверной в области её применимости. Дать навыки, позволяющие понять, как адекватность теоретической модели соответствующему физическому явлению, так и её пределы применимости.

Задачи дисциплины

- Изучение математического аппарата специальной теории относительности, релятивистской механики и классической механики;
- изучение методов решения задач релятивистской кинематики и динамики и классической механики;
- изучение методов описания систем частиц и тел, в том числе систем взаимодействующих с внешним полем;
- овладение студентами методов релятивистской механики и классической механики для описания свойств различных конкретных физических систем.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности

ОПК-3 Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.1 Знает основные правила оформления научных публикаций и научно-технической документации, в том числе с использованием прикладного программного обеспечения
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.1 Владеет методами статистической обработки и анализа научных данных

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- Постулаты и принципы специальной теории относительности, релятивистской механики и классической механики, методы описания частиц и тел, а также взаимодействия между ними и с внешними полями;
- основные методы математического аппарата специальной теории относительности, релятивистской механики и классической механики: трехмерную тензорную алгебру, векторный анализ и аппарат четырехмерных векторов и тензоров;
- основные методы решения задач релятивистской кинематики и динамики и классической механики, включая движение частиц во внешнем поле.

уметь:

- Пользоваться аппаратом классической механики;
- пользоваться аппаратом трехмерного векторного анализа;
- пользоваться аппаратом трехмерной тензорной алгебры;
- пользоваться аппаратом четырехмерных векторов и тензоров;
- решать кинематические задачи с участием частиц и тел;
- решать задачи о движении частиц в заданном внешнем поле.

владеть:

- Основными методами математического аппарата специальной теории относительности, релятивистской механики и классической механики;
- навыками теоретического анализа реальных задач, связанных как со свойствами систем частиц и тел во внешнем поле.

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	Законы Ньютона как законы сохранения импульса и момента импульса. Обобщённые координаты. Принцип Даламбера.	2	2		3
2	Тензоры.	2	2		3
3	Действие. Лагранжев формализм.	2	2		3
4	Неинерциальные системы отсчёта.	2	2		3

5	Кинематика твёрдого тела. Свободный гироскоп. Вынужденная прецессия.	2	2		3
6	Гамильтонов формализм.	4	4		3
7	Геометрия и кинематика СТО в сравнении с ньютоновской механикой.	2	2		3
8	Преобразования Лоренца.	2	2		3
9	Время как координата и энергия как временная компонента импульса.	2	2		3
10	Релятивистская частица. Взаимодействие с электромагнитным полем.	2	2		4
11	Канонические и неканонические координаты. Геометрия фазового пространства. Уравнение Гамильтона-Якоби.	2	2		4
12	Теорема Нётер и законы сохранения.	2	2		3
13	Ньютоновская механика как предельный случай СТО.	2	2		4
14	Контрольные работы и сдачи заданий.	2	2		3
Итого часов		30	30		45
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

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

Семестр: 3 (Осенний)

1. Законы Ньютона как законы сохранения импульса и момента импульса. Обобщённые координаты. Принцип Даламбера.

Законы Ньютона как законы сохранения импульса и момента импульса.

1а закон Ньютона: существование с.о. в которой свободная частица движется по геодезической (импульс свободной частицы сохраняется).

1б закон Ньютона: геометрия пространства евклидова.

2а закон Ньютона: сила — скорость передачи импульса.

2б закон Ньютона: $\text{импульс} = mv$.

3а закон Ньютона: при парном взаимодействии частиц импульс сохраняется.

3б закон Ньютона: при парном взаимодействии частиц момент импульса сохраняется.

Законы 1а, 2а, 3а универсальны.

Законы 1б, 2б, 3б модифицируются в современной физике.

Приведённая формулировка законов Ньютона демонстрирует удобство формулировки законов физики с использованием законов сохранения и сохраняющихся величин. Нам нужен систематический способ находить такие формулировки и такие величины. Такой способ дают нам различные вариационные принципы теоретической механики.

Как возникли вариационные принципы.

Экстремальные принципы позволяют сжато описать законы для физической системы, причём экстремальная величина может быть записана через разные параметры, в результате чего мы легко можем переписать законы физики в разных переменных, в частности движение может быть описано с помощью обобщённых координат.

Пример: действие для частицы в потенциале (уравнения Эйлера-Лагранжа, обобщённый импульс, обобщённая сила, энергия).

Пример: релятивистская частица (импульс, энергия).

2. Тензоры.

Как работать в произвольных координатах?

Локальные координаты. Невырожденные замены. Класс гладкости.

Карта и атлас.

Скаляр. Вектор. Ковектор. Тензор.

Диаграммные обозначения.

Метрика.

3. Действие. Лагранжев формализм.

Действие как функционал.

Вариационная производная.

Уравнения Эйлера-Лагранжа.

Обобщённый импульс. Обобщённая сила.

Энергия. Уравнение баланса энергии.

4. Неинерциальные системы отсчёта.

Неинерциальные системы отсчёта в классической механике.

Силы инерции.

5. Кинематика твёрдого тела. Свободный гироскоп. Вынужденная прецессия.

Кинематика твёрдого тела.

Свободный гироскоп.

Вынужденная прецессия.

6. Гамильтонов формализм.

Функция Гамильтона. Преобразование Лежандра.

Уравнения Гамильтона.

Циклические координаты. Законы сохранения для соответствующих импульсов (первое знакомство с теоремой Нётер в тривиальном случае).

Скобка Пуассона.

Генераторы преобразований. Гамильтониан, как генератор эволюции.

Канонические преобразования.

7. Геометрия и кинематика СТО в сравнении с ньютоновской механикой.

Пространство-время ньютоновской механики. Геометрия и кинематика.

Преобразования Галилея.

Пространство-время СТО. Геометрия (интервал, скалярное произведение).

Кинематика (4-скорость, 4-ускорение, 4-импульс).

Масса — инвариант (скаляр).

Движение под действием постоянной силы в ньютоновской механике и СТО.

8. Преобразования Лоренца.

Калибровочные (псевдо)окружности. (Псевдо)ортогональность.

Преобразования Лоренца на плоскости Минковского и поворот на евклидовой плоскости.

Матричные экспоненты и генераторы преобразований.

Поворот и преобразование Лоренца общего вида.

Движение частицы во внешнем электромагнитном поле как (псевдо)поворот 4-вектора скорости.

Метрика Минковского в неинерциальных системах отсчёта.

9. Время как координата и энергия как временная компонента импульса.

Время — это то, что измеряется часами.

Время как обобщённая координата.

Переход к рассмотрению времени как координаты (лагранжев формализм).

Расширенный лагранжиан (уравнения Эйлера-Лагранжа, импульсы, энергия).

Вырожденность расширенного лагранжиана (вместо времени произвольный параметр, произвол на одну функцию).

Неоднозначность перехода к гамильтоновому формализму.

Уравнения Гамильтона.

Энергетическая (массовая) поверхность.

10. Релятивистская частица. Взаимодействие с электромагнитным полем.

Действие для частицы, взаимодействующей с электромагнитным полем.

4-мерный потенциал.

Уравнения движения в 3-мерной и 4-мерной записи.

Тензор электромагнитного поля и генераторы группы Лоренца.

11. Канонические и неканонические координаты. Геометрия фазового пространства. Уравнение Гамильтона-Якоби.

Канонические и неканонические координаты.

Геометрия фазового пространства.

Скобка Пуассона.

Уравнение Гамильтона-Якоби.

12. Теорема Нётер и законы сохранения.

Симметрии динамических систем.

Группы симметрий.

Теорема Нётер.

Интегралы движения.

Циклические координаты.

13. Ньютоновская механика как предельный случай СТО.

Ньютоновская механика как предельный случай СТО.

Переход к нерелятивистскому пределу.

Энергия импульс в нерелятивистском пределе.

Система центра масс.

14. Контрольные работы и сдачи заданий.

Контрольные работы и сдачи заданий.

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

Стандартная аудитория, желательно с мультимедийным проектором.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 1 : Механика : учеб. пособие для вузов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского .— 5-е изд., стереотип. — М. : Физматлит, 1988, 2001, 2002, 2004, 2007 .— 224 с.
2. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 2 : Теория поля : учеб. пособие для вузов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского .— 8-е изд., стереотип. — М. : Физматлит, 2001, 2003, 2006, 2012, 2014 .— 536 с.
3. Лекции по аналитической механике [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ф. Р. Гантмахер ; под ред. Е. С. Пятницкого .— Изд. 3-е, стереотип. — М. : Физматлит, 2001, 2002, 2005 .— 264 с.
4. Сборник задач по аналитической механике [Текст] : [учеб. пособ. для вузов] / Е. С. Пятницкий [и др.] .— М. : Физматлит, 2002 .— 400 с.
5. Задачи по теоретической физике [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ю. М. Белоусов, С. Н. Бурмистров, А. И. Тернов .— Долгопрудный : Интеллект, 2013 .— 584 с.

Дополнительная литература

1. Сборник задач по электродинамике [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. В. Батыгин, И. Н. Топтыгин ; под ред. М. М. Бредова .— 3-е изд., испр. — М. : Регулярная и хаотическая динамика, 2002 .— 640 с.
2. Практическая математика. Руководство для начинающих изучать теоретическую физику [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / Ю. М. Белоусов, В. П. Кузнецов, В. П. Смилга .— 2-е изд. — Долгопрудный : Интеллект, 2009 .— 176 с.

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

Не используются

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

Ссылка страницы кафедры на официальном сайте университета
http://mipt.ru/education/chair/theoretical_physics//

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

Для выполнения учебной программы необходимо посещать лекции, семинары и использовать указанную литературу.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению: Прикладные математика и физика
профиль подготовки: Системная и синтетическая биология
Физтех-школа Биологической и Медицинской Физики
кафедра теоретической физики им. Л.Д. Ландау
курс: 2
квалификация: бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Экзамен

Разработчик: М.Г. Иванов, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
ОПК-3 Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.1 Знает основные правила оформления научных публикаций и научно-технической документации, в том числе с использованием прикладного программного обеспечения
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.1 Владеет методами статистической обработки и анализа научных данных

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Аналитическая механика» обучающийся должен:

знать:

- Постулаты и принципы специальной теории относительности, релятивистской механики и классической механики, методы описания частиц и тел, а также взаимодействия между ними и с внешними полями;
- основные методы математического аппарата специальной теории относительности, релятивистской механики и классической механики: трехмерную тензорную алгебру, векторный анализ и аппарат четырехмерных векторов и тензоров;
- основные методы решения задач релятивистской кинематики и динамики и классической механики, включая движение частиц во внешнем поле.

уметь:

- Пользоваться аппаратом классической механики;
- пользоваться аппаратом трехмерного векторного анализа;
- пользоваться аппаратом трехмерной тензорной алгебры;
- пользоваться аппаратом четырехмерных векторов и тензоров;
- решать кинематические задачи с участием частиц и тел;
- решать задачи о движении частиц в заданном внешнем поле.

владеть:

- Основными методами математического аппарата специальной теории относительности, релятивистской механики и классической механики;
- навыками теоретического анализа реальных задач, связанных как со свойствами систем частиц и тел во внешнем поле.

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

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

Аттестация по дисциплине «Аналитическая механика» осуществляется в форме итогового экзамена после первого (осеннего) семестра изучения.

Допуск к экзамену проводится преподавателем по итогам работы студента в семестре в случае успешного освоения дисциплины. В случае если студент не усвоил дисциплину, и результаты его работы в семестре оказались неудовлетворительными, проводится дополнительный опрос на предмет выявления знаний. Дополнительный опрос проводится в виде тестов, содержание которых полностью соответствует содержанию тестовых опросов студентов в течение семестра.

Оценка уровня студентов для допуска к экзамену складывается из оценок трех позиций: знаний, умений и навыков.

Знания студентов оцениваются в результате проведения еженедельного опроса пройденного материала. Опрос проводится в письменной форме в виде тестовых вопросов. Пример тестовых вопросов приведен ниже.

Умения и навыки студентов определяются по итогам сдачи домашних заданий. Всего студентам предлагается два домашних задания. Задание содержит три типа задач и упражнений. Типовые задачи и упражнения разбираются на семинарских (практических) занятиях. Аналогичные задачи и упражнения студенты должны решить самостоятельно, используя рекомендованную литературу. Кроме того, студентам предлагаются специально помеченные задачи повышенной сложности. Решение таких задач требует от студента навыков и представляет собой оценку навыков решения задач повышенной сложности.

Навыки студентов проверяются в результате решения контрольных работ, которые проводятся во время аудиторных занятий. Задачи аналогичны типовым задачам, включенным в домашние задания, как рассматриваемым на семинарских (практических) занятиях, так и предлагаемым для самостоятельного решения. Задания контрольных работ оценены в определенную сумму баллов, что позволяет оценить уровень умения и навыков студентов.

Вопросы, включенные в тестовые опросы, охватывают основные понятия, рассмотренные на предыдущей лекции.

Пример вопросов тестового задания:

1. Оценить гамма-фактор для пешехода (автомобиля/самолёта/низкоорбитального спутника/пули/велосипеда).
2. Для пары векторов в пространстве Минковского заполнить пропуски. $A=(1,1,0,0)$, $B=(1,1,1,1)$. $(A,A)=$ ____, A - ____подобный, $(B,B)=$ ____, B - ____подобный, $(A,B)=$ ____.
3. Частицы имеют 4-импульсы с компонентами $(1,1,0,0)$ и $(1,0,1,0)$. Чему равна энергия в системе центра инерции?
4. Штрихованная система отсчёта движется относительно нештрихованной со скоростью $\mathbf{v}=(v,0,0)$. Впишите компоненты матрицы перехода (x' и x — столбцы координат, $x=(t,x,y,z)^T$), $c=1$. Подействуйте матрицей на столбец $(\omega, \omega \cos\theta \sin\theta, \omega \sin\theta \sin\theta, \omega \cos\theta)^T$.

$$x' = \begin{pmatrix} & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \end{pmatrix} x.$$

5. Частица имеют 4-импульс с компонентами (3,1,0,0). $M=$ _____, $V=($ _____,_____,_____).
 $U=($ _____,_____,_____,_____).
6. $A=(0, Bx+1, 0)$. $H=($ _____,_____,_____), Гамильтониан нерелятивистской заряженной частицы в магнитном поле: $H(\mathbf{R}, \mathbf{P})=$ _____
- Сохраняется компоненты обобщённого импульса: _____.
7. $A=a \mathbf{e}_x \sin(\omega t - k \mathbf{e}_z \mathbf{r})$. $E=$ _____, $H=$ _____, $v=($ _____,_____,_____).
8. Определить размерность конфигурационного пространства для механической системы по рисунку.
9. $u=t+x$, $v=t-x$, $ds^2=dt^2-dx^2-dy^2-dz^2=$ _____ (через u, v, y, z)

$$g_{ij} = \begin{pmatrix} & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \end{pmatrix}, \quad g^{ij} = \begin{pmatrix} & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \end{pmatrix}, \quad A^i=(1,2,3,4) \text{ (в корд. } u,v,y,z), \quad A_i=($$
_____,_____,_____,_____),
 $A_i A^i=$ _____.

10. Определить размерность фазового пространства для механической системы по рисунку.

Пример контрольной работы:

Задача 1 (8). Пользуясь *тензорной* алгеброй, вычислить $\text{rot} \left[\vec{a} \times \frac{\vec{r}}{r^2} \right]$, где \vec{a} –

постоянный вектор и \vec{r} – радиус-вектор.

Задача 2 (7). Определить пороговую энергию реакции $p+p \rightarrow p+p+\pi^0$ в системе отсчета, где один из начальных протонов покоится.

Задача 3 (10). Релятивистская частица движется в параллельных и постоянных электрическом и магнитном полях \mathbf{E} и \mathbf{H} , причем $(\mathbf{E} \parallel \mathbf{H} \parallel \text{оси } y)$. При $t=0$ частица находилась в начале координат, обладая импульсом $\mathbf{p}_0 = (p_{0x}, p_{0y}, p_{0z})$. Выписать тензор электромагнитного поля в рассматриваемой геометрии и, пользуясь ковариантным уравнением движения частицы, определить зависимость $t(\tau)$ времени t в лабораторной системе отсчета от собственного времени частицы τ , считая $t(0) = 0$.

Задача 4 (25). В системе K' имеется однородное электрическое поле $\vec{E}' = (E, 0, 0)$, направленное по оси x' , описываемое скалярным и векторным потенциалами $\phi'(t', x', y', z') = 0$, $\vec{A}'(t', x', y', z') = (-cE t', 0, 0)$. Система K' движется относительно системы K со скоростью V вдоль оси x , совпадающей с осью x' . Определить

(а) (6) потенциалы $\phi(t, x, y, z)$ и $\vec{A}(t, x, y, z)$ в системе K через переменные (t, x, y, z) системы K ,

(б) (7) электрическое и магнитное поле в системе K ,

(с) (12) а также показать, что штрихованные $[\phi' \square (t, x, y, z) = 0, \vec{A}'(t, x, y, z) = (-cE t', 0, 0)]$ и нештрихованные $[\phi(t, x, y, z) \text{ и } \vec{A}(t, x, y, z)]$ потенциалы, рассматриваемые теперь как функции одних и тех же переменных (t, x, y, z) единой системы отсчета, связаны между собой калибровочным преобразованием, и найти функцию $\chi(t, x, y, z)$ калибровочного преобразования от штрихованных потенциалов к нештрихованным.

Каждая задача контрольной работы оценена в определенную сумму баллов в зависимости от сложности и уровня (знания, умения и навыки). Полная сумма баллов примера контрольной работы равна 50.

Конкретные условия набора баллов за работу в семестре могут зависеть от лекционного потока и определяются лектором. Общим остается следующее правило.

В течение семестра студент набирает сумму баллов по результатам тестовых опросов (например, 50 баллов), по результатам сдачи двух заданий (например 80 баллов) и по результатам двух контрольных (например, 100 баллов). Кроме того за решение задач повышенной сложности домашнего задания студент может набрать премиальные (бонусные) баллы по двум заданиям (например, 30 баллов). Полный балл оценивается в данном случае суммой 230 баллов. По результатам итогового рейтинга студент может набрать некоторую сумму, которая оценивается в % относительно полного балла.

Оценка за работу в семестре выставляется в соответствии со схемой, приведенной в следующем разделе. Студент допускается к экзамену при условии сдачи двух заданий и оценки за работу в семестре равной или большей 3 (по десятибалльной шкале)

Итоговая экзаменационная оценка выставляется студенту с учетом оценки его работы в семестре. Экзамен проводится в устной форме. Экзаменационные билеты могут содержать наряду с теоретическими вопросами также и задачи. Форма билета определяется лектором и зависит от лекционного потока. Типовые задачи могут даваться также и в форме дополнительных вопросов к билету. Ответ студента оценивается по 10-балльной шкале.

Типичная форма билета содержит 3 вопроса. Пример типичной формы билета из трех вопросов приведен ниже:

1. Уравнение релятивистской механики. Четыре-импульс и четыре-сила.
2. Магнитный момент. Гиромагнитное отношение. Магнитный момент контура с током.

3. Вычислить $\operatorname{div} \frac{d(t - R/c)}{R}$, где $R = |r - r'|$.

4. Критерии оценивания

4а. Критерии оценивания (оценка за работу в семестре)

Оценка	Набранные баллы
отлично (10)	более 90%
отлично (9)	от 80% до 90% включительно
хорошо (8)	от 70% до 80% включительно
хорошо (7)	от 60% до 70% включительно
хорошо (6)	от 50% до 60% включительно
удовлетворительно (5)	от 40% до 50% включительно
удовлетворительно (4)	от 30% до 40% включительно
удовлетворительно (3)	от 20% до 30% включительно
неудовлетворительно (2)	Не получена удовлетворительная оценка в период зачетной сессии. Требуется дополнительное тестирование

Студенты, получившие за работу в семестре к началу экзаменационной сессии оценку «неудовлетворительно» (менее 20% усвоения материала), или не сдавшие оба задания, считаются не усвоившими материал и не выполнившими задания курса, поэтому к экзамену не допускаются.

4б. Критерии оценивания (экзамен)

Итоговая оценка на экзамене выставляется в соответствии со схемой:

Оценка	Баллы	Критерии
--------	-------	----------

Отлично	10	10 баллов за экзамен и оценка за работу в семестре не ниже 8. 9 баллов за экзамен и 10 баллов за работу в семестре
	9	9 баллов за экзамен и оценка за работу в семестре не ниже 8.
	8	8 баллов за экзамен и оценка за работу в семестре не ниже 6. 7 баллов за экзамен и более 8 баллов за работу в семестре
Хорошо	7	7 баллов за экзамен и оценка за работу в семестре не ниже 5. 6 баллов за экзамен и более 8 баллов за работу в семестре
	6	6 баллов за экзамен и оценка за работу в семестре не ниже 5. 5 баллов за экзамен и более 7 баллов за работу в семестре
	5	5 баллов за экзамен и оценка за работу в семестре не ниже 3.
удовлетворительно	4	4 балла за экзамен и оценка за работу в семестре не ниже 3.
	3	3 балла за экзамен и оценка за работу в семестре 3.
неудовлетворительно	2	2 балла за экзамен и оценка за работу в семестре 3.
	1	1 балл за экзамен и оценка за работу в семестре 3.

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

Студенты, допущенные к экзамену, отвечают на вопросы билета, имея возможность на подготовку не менее 1 часа. Ответы представляются в письменном виде, по которым проводится устное собеседование.

Оценка за ответ на билет выставляется в соответствии со следующим критериями:

Студент, не ответивший правильно ни на один вопрос, получает оценку неудовлетворительно (1 или 2)

Студент, ответивший правильно

только на 1 вопрос, получает оценку «удовлетворительно» (3 или 4 балла), в зависимости от полноты правильного ответа и ответов на другие дополнительные вопросы;

на 2 вопроса, получает оценку «хорошо» (5, 6 или 7 баллов), в зависимости от полноты правильных ответов и ответов на другие вопросы;

на все 3 вопроса, получает 8 баллов («отлично») и возможность ответа на дополнительные вопросы повышенной сложности для получения оценки «отлично» с баллами 9 или 10.

Во время проведения экзамена студенты могут пользоваться программой дисциплины и сборниками домашних заданий. Учебной, учебно-методической и справочной литературой пользоваться во время экзамена не допускается. Во время экзамена должны быть также выключены мобильные телефоны.

Перед началом экзаменационной сессии студенты получают перечень вопросов, ответы на которые необходимо знать для успешной сдачи экзамена. Формулировки вопросов в билетах студенты узнают во время консультаций.

Студенты, получившие итоговую оценку «отлично» (10) и решившие и защитившие задачи повышенной сложности домашнего задания, могут получить дополнительные зачетные единицы по курсу.