

**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:	Теория поля
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика и педагогика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра теоретической физики им. Л.Д. Ландау
курс:	2
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 4 (весенний) - 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: 4

Программу составил: Э.Т. Мусаев, phd (к.ф.-м.н.), ассистент

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

Аннотация

Программа предназначена для студентов 2 курса ФОПФ. 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 специальной теории относительности и теории электромагнитных полей в свободном пространстве. В первой части курса дается аксиоматика теории относительности, откуда выводятся основные следствия: релятивистское сокращение длины, замедление времени, относительность одновременности, абберация света. Излагаются основы теории тензоров, необходимые для четырехмерного описания релятивистских явлений. Далее рассматривается релятивистская частица в свободном пространстве и в электромагнитном поле. Формулируется теория электромагнитного поля, из действия выводятся уравнения Максвелла как трехмерном, так и в четырехмерном виде. Решается ряд принципиальных задач теории поля: распространение плоских волн, мультипольное разложение в электростатике и магнитостатике, излучение электромагнитных волн в дипольном приближении и релятивистскими зарядами, рассеяние электромагнитных волн.

Курс основывается на общих знаниях математического анализа (теория функций одной и нескольких переменных, вектор-функций, дифференцирование и интегрирование этих функций, векторные дифференциальные операции) и теории дифференциальных уравнений (умение решать основные типы дифференциальных уравнений), и во многом опирается на представления и навыки, привитые студентам кафедрой общей физики (общие знания релятивистской теории и теории электромагнитного поля). Изложенные результаты используются в других курсах теоретической физики: в 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 микроскопической электродинамики, и методы построения соответствующих математических моделей, показать соответствие системы постулатов, положенных в основу теории относительности и классической электродинамики, 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 микроскопической электродинамики;
- изучение методов решения задач релятивистской кинематики и динамики и классической микроскопической электродинамики;
- изучение методов описания систем заряженных частиц и создаваемых ими электромагнитных полей, в том числе систем взаимодействующих с внешним электромагнитным полем;
- овладение студентами методов релятивистской механики и классической микроскопической электродинамики 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
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области

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 микроскопической электродинамики, методы описания релятивистских частиц и систем заряженных частиц, а также электромагнитного поля, создаваемого заряженными частицами и взаимодействующего с ними;
- основные уравнения и свойства электромагнитного поля;
- основные методы математического аппарата специальной теории относительности, релятивистской механики и классической электродинамики: трехмерную тензорную алгебру, векторный анализ и аппарат четырехмерных векторов и тензоров;
- основные методы решения задач релятивистской кинематики и динамики и классической микроскопической электродинамики, включая движение заряженных частиц в электромагнитном поле и создание поля системами заряженных частиц;
- методы и способы описания излучения электромагнитных волн системами заряженных частиц;
- методы описания рассеяния электромагнитных волн заряженными частицами.

уметь:

- Пользоваться аппаратом трехмерного векторного анализа;
- пользоваться аппаратом трехмерной тензорной алгебры;
- пользоваться аппаратом четырехмерных векторов и тензоров;
- решать кинематические задачи с участием релятивистских частиц;
- решать задачи о движении релятивистских заряженных частиц в заданном внешнем электромагнитном поле различной конфигурации;
- применять метод мультипольных моментов для решения задач электростатики и магнитостатики;
- решать задачи про излучение электромагнитных волн системами нерелятивистски движущихся заряженных частиц, используя мультипольные моменты;
- решать задачи про излучение электромагнитных волн релятивистски движущимися заряженными частицами.

владеть:

- Основными методами математического аппарата специальной теории относительности, релятивистской механики и классической микроскопической электродинамики;
- навыками теоретического анализа реальных задач, связанных как со свойствами систем заряженных частиц, взаимодействующих с электромагнитным полем, так и со свойствами самого электромагнитного поля, создаваемого заряженными частицами.

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	Свойства пространства и времени	2	2		2
2	Сравнение хода часов в системах координат, движущихся относительно друг друга.	2	2		2
3	Интервал как мера расстояния в пространстве Минковского	2	2		2
4	Математический аппарат теории относительности.	1	1		2
5	Принцип соответствия.	2	1		3
6	Эффективная масса системы	2	2		2
7	Принцип наименьшего действия.	1	2		2
8	Опытные факты, лежащие в основе уравнений Максвелла.	2	2		3
9	Принцип наименьшего действия и функция Лагранжа для движения заряженной частицы в векторном поле.	2	2		3
10	Тензор электромагнитного поля	2	2		2
11	Поле как механическая система с бесконечным числом степеней свободы.	1	1		3
12	Энергия и импульс электромагнитного поля.	2	2		2
13	Электростатика. Поле системы неподвижных зарядов на больших расстояниях от нее.	2	2		3
14	Магнитное поле системы постоянных токов	1	1		2
15	Движение в слабопеременных и слабонеоднородных магнитных полях.	1	1		2
16	Свободное электромагнитное поле в вакууме.	1	1		2
17	Запаздывающие потенциалы	1	1		2
18	Синхротронное излучение в ультрарелятивистском случае (полная интенсивность и угловое распределение).	1	1		2
19	Реакция излучения.	1	1		2
20	Рассеяние света на связанном и свободном электронах.	1	1		2
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: 4 (Весенний)

1. Свойства пространства и времени

Законы сохранения. Принцип относительности. Проблема синхронизации часов в различных точках пространства. Принцип относительности. Преобразование Лоренца. Существование предельной скорости распространения сигналов. Принцип относительности Пуанкаре–Эйнштейна. Релятивистское сложение скоростей света.

2. Сравнение хода часов в системах координат, движущихся относительно друг друга.

Релятивистское изменение длины движущихся масштабов и промежутков времени. Прецессия Томаса.

3. Интервал как мера расстояния в пространстве Минковского

Геометрическая интерпретация преобразований Лоренца. Три типа интервалов. Причинно-связанные события.

4. Математический аппарат теории относительности.

Свойства векторов и тензоров. Скалярное произведение. Признак вектора. 4-векторы скорости и ускорения. Матричный тензор. Четырехмерный объем.

5. Принцип соответствия.

Уравнения механики. 4-вектор силы. 4-вектор импульса. Дефект массы для составных систем. Ультрарелятивистское движение. Частица с нулевой массой.

6. Эффективная масса системы

Система центра инерции. Распады частиц, пороги реакций.

7. Принцип наименьшего действия.

Функция Лагранжа и Гамильтона для свободной частицы.

8. Опытные факты, лежащие в основе уравнений Максвелла.

Свойства симметрии уравнений Максвелла относительно пространственного отражения и обращения времени. Скалярный и векторный потенциалы. Градиентная (калибровочная) инвариантность. Условие Лоренца. Уравнение для потенциалов и их релятивистская ковариантность.

9. Принцип наименьшего действия и функция Лагранжа для движения заряженной частицы в векторном поле.

Обобщенный импульс. Вывод первой пары уравнений Максвелла и выражения для силы Лоренца. Функция Гамильтона для заряженной частицы в электромагнитном поле.

10. Тензор электромагнитного поля

Дуальный тензор. Релятивистская ковариантная запись уравнений Максвелла и уравнения движения заряженной частицы в электромагнитном поле. Преобразование полей. Инварианты поля и их следствия. Движение заряженной частицы в магнитном поле и в перпендикулярных друг

другу электрическом и магнитном полях

$(|\mathbf{H}| > |\mathbf{E}|)$.

11. Поле как механическая система с бесконечным числом степеней свободы.

Действие и функция Лагранжа для электромагнитного поля. Вывод второй пары уравнений Максвелла.

12. Энергия и импульс электромагнитного поля.

Плотность потока энергии. Вектор Умова–Пойнтинга. Тензор напряжений. Единственность решений уравнений Максвелла.

13. Электростатика. Поле системы неподвижных зарядов на больших расстояниях от нее.

Поле диполя и квадруполь. Система зарядов во внешнем поле: энергия диполя и квадруполь в электрическом поле. Энергия взаимодействия двух диполей.

14. Магнитное поле системы постоянных токов

Усреднение движения точечных зарядов по времени. Магнитный момент. Поле магнитного диполя. Гиромантическое отношение. Энергия магнитного диполя во внешнем магнитном поле и момент сил, действующих на него. Прецессия магнитного момента во внешнем поле. Теорема Лармора.

15. Движение в слабоперемеменных и слабонеоднородных магнитных полях.

Адиабатический инвариант. Магнитные зеркала и примеры осуществления их в природе и технике. Дрейф частицы в неоднородном магнитном поле.

16. Свободное электромагнитное поле в вакууме.

Плоские электромагнитные волны и их поляризация. Волновой вектор $(\omega/c, \mathbf{k})$.

17. Запаздывающие потенциалы

Дипольное приближение, его физический смысл и запись в различных формах. Квазистационарная и волновая зоны. Угловое распределение и поляризация дипольного излучения.

18. Синхротронное излучение в ультрарелятивистском случае (полная интенсивность и угловое распределение).

Длина когерентности. Распределение по частоте (качественно). Квадрупольное и магнитно-дипольное излучение.

19. Реакция излучения.

Сила радиационного трения. Естественная (классическая) ширина спектральной линии.

20. Рассеяние света на связанном и свободном электронах.

Поляризация рассеянного света. Формула Томсона, Роль в астрофизике. Пределы применимости классической теории поля на малых расстояниях и в сильных полях.

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. 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.
- 2.
3. 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. Катехизис. Руководство по математике для начинающих изучать теоретическую физику [Текст] / Ю. М. Белоусов, В. П. Кузнецов, В. П. Смилга ; М-во образования и науки РФ, МФТИ - М.Изд-во МФТИ, 2005
2. Краткий курс теоретической физики [Текст]. Кн. 1 : Механика. Электродинамика : учеб. пособие для вузов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц .— М. : Наука, 1969 .— 271 с.
3. 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, 2014 .— 176 с.
4. Тензорное исчисление [Текст] : учеб. пособие для вузов / Г. В. Коренев ; Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— М. : МФТИ, 1990, 1996, 2000 .— 240 с.

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

Батыгин, В. В. Сборник задач по электродинамике и специальной теории относительности [Электронный ресурс] : учеб. пособие для вузов / В. В. Батыгин, И. Н. Топтыгин. - 4-е изд., перераб. - СПб. ; М. : Лань, 2010.

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

<http://lib.mipt.ru/catalogue> - электронная библиотека Физтеха.

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

Индивидуальная работа предполагает самостоятельное выполнение студентом определенного в «Задании» набора упражнений и задач в соответствии с тематикой семинарских занятий. При необходимости студент получает консультацию по выполнению отдельных задач у преподавателя ведущего занятия как во время проведения семинарских занятий, так и во внеурочное время по согласованию с преподавателем. «Задание» раздается всем студентам в виде учебно-методического материала, содержащего программу курса и упражнения, и задачи, включенные в два домашних задания. Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций. При затруднении изучения отдельных тем или вопросов, следует обращаться за консультациями к лектору. 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.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению: Прикладные математика и физика
профиль подготовки: Физика и педагогика
Физтех-школа физики и исследований им. Ландау
кафедра теоретической физики им. Л.Д. Ландау
курс: 2
квалификация: бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 4 (весенний) - Экзамен

Разработчик: Э.Т. Мусаев, phd (к.ф.-м.н.), ассистент

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
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Теория поля» обучающийся должен:

знать:

- Постулаты и принципы специальной теории относительности, релятивистской механики и классической микроскопической электродинамики, методы описания релятивистских частиц и систем заряженных частиц, а также электромагнитного поля, создаваемого заряженными частицами и взаимодействующего с ними;
- основные уравнения и свойства электромагнитного поля;
- основные методы математического аппарата специальной теории относительности, релятивистской механики и классической электродинамики: трехмерную тензорную алгебру, векторный анализ и аппарат четырехмерных векторов и тензоров;
- основные методы решения задач релятивистской кинематики и динамики и классической микроскопической электродинамики, включая движение заряженных частиц в электромагнитном поле и создание поля системами заряженных частиц;
- методы и способы описания излучения электромагнитных волн системами заряженных частиц;
- методы описания рассеяния электромагнитных волн заряженными частицами.

уметь:

- Пользоваться аппаратом трехмерного векторного анализа;
- пользоваться аппаратом трехмерной тензорной алгебры;
- пользоваться аппаратом четырехмерных векторов и тензоров;
- решать кинематические задачи с участием релятивистских частиц;
- решать задачи о движении релятивистских заряженных частиц в заданном внешнем электромагнитном поле различной конфигурации;
- применять метод мультипольных моментов для решения задач электростатики и магнитостатики;
- решать задачи про излучение электромагнитных волн системами нерелятивистски движущихся заряженных частиц, используя мультипольные моменты;
- решать задачи про излучение электромагнитных волн релятивистски движущимися заряженными частицами.

владеть:

- Основными методами математического аппарата специальной теории относительности, релятивистской механики и классической микроскопической электродинамики;
- навыками теоретического анализа реальных задач, связанных как со свойствами систем заряженных частиц, взаимодействующих с электромагнитным полем, так и со свойствами самого электромагнитного поля, создаваемого заряженными частицами.

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

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

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. Как определяется дуальный тензор электромагнитного поля? Как он выражается через поля \mathbf{E} и \mathbf{H} ?
2. Какие инварианты можно составить из тензора электромагнитного поля? Запишите их в четырехмерной и трехмерной формах.
3. При каких условиях выбором подходящей системы отсчета можно занулить магнитное поле (в заданной точке)? Чему равна скорость этой системы отсчета относительно исходной системы отсчета, в которой в этой точке имеются поля \mathbf{E} и \mathbf{H} ?
4. При каких условиях выбором подходящей системы отсчета можно занулить электрическое поле (в заданной точке)? Чему равна скорость этой системы отсчета относительно исходной системы отсчета, в которой в этой точке имеются поля \mathbf{E} и \mathbf{H} ?
5. Чему равны частота вращения и радиус орбиты при движении релятивистской заряженной частицы с заданной энергией в постоянном во времени и однородном магнитном поле?
6. Чему равна скорость дрейфа нерелятивистской заряженной частицы в скрещенных однородных электрическом и магнитном полях?
7. Дайте определение электрического дипольного момента системы зарядов.

8. Запишите силу и момент силы, действующие на нейтральную систему заряженных частиц в слабонеоднородном электрическом поле.
9. Дайте определение магнитного момента системы зарядов, совершающих квазистационарное финитное движение.
10. Запишите среднюю силу и средний момент силы, действующие на систему заряженных частиц в слабонеоднородном магнитном поле.

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

$\phi'(t', x', y', z') = 0$, $\vec{A}'(t', x', y', z') = (-cEt', 0, 0)$. 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 ,

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

(с) (12) а также показать, что штрихованные $[\phi'(t, x, y, z) = 0, \vec{A}'(t, x, y, z) =$

$= (-cEt, 0, 0)]$ 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. Гироманнитное 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.