

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

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы физики
и исследований им. Ландау
А.В. Рогачев**

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Квантовая электродинамика
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра проблем теоретической физики
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 90 всего, в том числе:

лекции: 45 час.

семинары: 45 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: Н.Н. Николаев, д-р физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры проблем теоретической физики 01.04.2024

Аннотация

С одной стороны, это базисный курс для решения практических задач релятивистской квантовой физики. В духе 4-го тома Курса Теоретической Физики Ландау-Лифшица, основные идеи иллюстрируются на примере абелевой квантовой электродинамики. С другой стороны, это вводный курс для последующего изучения неабелевых калибровочных полей и Стандартной Модели. Однако, сверх материала 4-го тома, подчеркиваются аналогии с идеями квантовой теории конденсированных сред: теорема Голдстоуна и бесщелевые возмущения, аналогия между феноменом Хиггса в физике частиц и фазовым переходом Гинзбурга-Ландау в теории сверхпроводников, уравнения Каллана-Симанчика для вычисления аномальных размерностей.

Все лекции сопровождаются задачами, не повторяющими разобранные в 4-м томе. Экзаменационные задачи также не будут повторять задачи из 4-го тома.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Дисциплина относится к вариативной части образовательной программы.

Изложение ведётся при помощи аппарата функционального интегрирования, применяется размерностный метод ультрафиолетовой регуляризации. Все вычисления проводятся подробно и до конца. Курс начинается с квантования скалярного поля как примера и заканчивается вычислением однопетлевых поправок в КЭД. В частности, вычисляется аномальный (однопетлевой) вклад в магнитный момент электрона. Основной текст существенно дополняется упражнениями и задачами, приведенными в конце каждой лекции.

Задачи дисциплины

- познакомить студентов с основными понятиями и идеями в этой области, с постановкой задач и подходами к их решениям. Предполагается, что прослушав этот курс, студенты смогут читать и понимать текущую научную периодику в этой области.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- основные понятия по теме дисциплины.

уметь:

- пользоваться развитыми в рамках дисциплины методами исследования, решать задачи по теме дисциплины.

владеть:

- математическим и понятийным аппаратом и методами исследований, составляющими содержание дисциплины.

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	Введение в теорию поля.	3	3		3
2	Теория поля и релятивизм.	3	3		3
3	Уравнение Дирака.	3	3		3
4	Электрон во внешнем поле.	3	3		3
5	Комплексное скалярное поле.	3	3		3
6	Представление взаимодействия и матрица рассеяния.	3	3		3
7	Правила Фейнмана.	3	3		3
8	Петлевые поправки.	3	3		3
9	Уравнения Дайсона и перенормировки.	3	3		3
10	Первый триумф КЭД.	3	3		3
11	Золотое правило Ферми в релятивистской теории.	3	3		3
12	Тормозное излучение и инфракрасная катастрофа в КЭД.	3	3		3
13	Второй триумф КЭД.	3	3		3
14	Релятивистский спин во внешнем поле.	3	3		3
15	Уравнения Каллана-Симанчика.	3	3		3
Итого часов		45	45		45
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

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

Семестр: 2 (Весенний)

1. Введение в теорию поля.

Воспоминания о гармоническом осцилляторе. Операторы рождения и уничтожения и переход от волновых функций к числам заполнения. Квантование классической струны и акустические фононы. Поля как координаты и сопряженные им импульсы. Преобразование Лежандра. Гамильтониан и канонические коммутационные соотношения. Массивное скалярное поле и уравнение Клейна-Фока-Гордона.

2. Теория поля и релятивизм.

Группа вращений в евклидовом пространстве. Матрицы вращений и орбитальный угловой момент. Унитарные 2×2 матрицы и $SU(2)$. Спиноры и их сопряжение. Соответствие между вращениями в 3-мерном пространстве и преобразованием спиноров. Топологическое отличие $SU(2)$ от $O(3)$. Вращения в пространстве Минковского. Генераторы преобразований Лоренца на языке поворотов и дифференциальных операторов. Замечания о прецессии Томаса. Соответствие между группой Лоренца $SL(2, \mathbb{C})$ и $SU(2) \times SU(2)$, классификация представлений. Обобщение на спиноры и релятивистские преобразования спиноров. Киральные спиноры.

3. Уравнение Дирака.

Вывод уравнения Дирака в киральном представлении. Биспиноры и гамма-матрицы. Конечные повороты в пространстве Минковского и преобразования биспиноров. Пространственная инверсия и четность. Сопряженные биспиноры. Лоренцевы свойства билинейных матричных элементов 16 гамма-матриц. Уравнение Дирака в стандартном «нерелятивистском» представлении. Оператор спина. Биспиноры для свободных частиц. Гамильтонова форма уравнения Дирака. Спин, орбитальный момент и полный угловой момент. Спиральность как хорошее квантовое число для свободных частиц. Левые и правые частицы. Связь с киральным представлением. Расширение группы Лоренца до 10-параметрической группы Пуанкаре. Полный набор коммутационных соотношений для генераторов группы Пуанкаре. Вектор Паули-Любаньского. Операторы Казимира. Вырожденный случай безмассовых частиц и спиральность. Преобразование Фолди-Вотхаузена.

4. Электрон во внешнем поле.

Уравнение Паули и спиновый фактор Ланде. Вывод спин-орбитального взаимодействия и Томас-Френкелевская половинка. Угловые спиноры Берестецкого. Сложение спина и орбитального момента. Две системы угловых спиноров. Точное решение кулоновской задачи. Спин-орбитальное взаимодействие.

5. Комплексное скалярное поле.

Спонтанное нарушение симметрии и теорема Голдстоуна. Феномен Хиггса как частное приложение уравнения Гинзбурга-Ландау. Решения с отрицательными и положительными частотами. Теорема Нётер, тензор энергии-импульса, гамильтониан и сохраняющийся ток. Античастицы. Электрический заряд античастиц. Лагранжиан спинорного поля. Канонический импульс. Вывод гамильтониана преобразованием Лежандра. Оператор электрического тока. Интерпретация решений с отрицательной частотой. Каноническое квантование фермионных полей и принцип Паули. Преобразование биспиноров и спиральности при зарядовом сопряжении. Зарядовое сопряжение как симметрия лагранжиана.

6. Представление взаимодействия и матрица рассеяния.

Упорядочение по времени. Интуитивная картина процессов рассеяния на языке принципа соответствия (формализм до Швингера-Томонаги-Фейнмана): переход частицы в конечное состояние \rightarrow генерация электромагнитного поля \rightarrow рассеяние второй частицы во внешнем поле. Аппарат функций Грина (пропагаторов). Пропагаторы по Фейнману и связь с Т-произведениями. Проекционные операторы для спина-1/2. Квантование электромагнитного поля и выбор калибровки. Переход к выводу теоремы Вика: представление всех амплитуд как матричных элементов между вакуумными состояниями. Рассеяние во внешнем поле в Борновском приближении. Вторая итерация как пример возникновения фермионного пропагатора.

7. Правила Фейнмана.

Пример процесс второго порядка с фотонным пропагатором: рассеяние электрона на мюоне. Тождественность частиц в рассеянии электрона на электроне. Пример процесса с фермионным пропагатором: подробный вывод амплитуды Комптона-эффекта. Свойства комплексного сопряжения амплитуд. Суммирование и усреднение по поляризациям. Техника вычисления следов. Удобство Фейнмановской калибровки. Сохранение тока и взаимное сокращение вкладов нефизических поляризаций. Доминантность рассеяния назад в релятивистском случае. Генерация узких пучков гамма-квантов в рассеянии лазерного света назад на ультрарелятивистских электронах. Процессы с античастицами. Петлевые диаграммы. Полная сводка правил Фейнмана.

8. Петлевые поправки.

Пример поправки к электрон-мюонному рассеянию как иллюстрация понятия неприводимых диаграмм. Свойства сходимости/расходимости неприводимых диаграмм в импульсном пространстве. Квадратичная, линейная и логарифмические расходимости. Трюк Фейнмана в вычислении петлевых интегралов. Проблема квадратичной расходимости поляризации вакуума и потенциальной потери калибровочной инвариантности. Экспоненциальное представление Боголюбова и размерная регуляризация (аналитическое продолжение по размерности пространства-времени) Боллини-Джамбаччи-Хофта-Вельтмана. Чудодейственное восстановление калибровочной инвариантности. Связь полюса по размерности с логарифмической расходимостью при регуляризации по Фейнману. Размерная трансмутация как цена размерной регуляризации. Полюсные и конечные радиационные поправки.

9. Уравнения Дайсона и перенормировки.

Пример пропагатора фотона. Константа перенормировки Z_3 . Собственная энергия электрона. Константа перенормировки Z_2 и перенормировка массы электрона. Вычисление радиационной поправки к вершинной функции, тождество Уорда и равенство $Z_2 = Z_1$. Детальная иллюстрация конспирации радиационных поправок и контрчленов, Перенормировка заряда.

10. Первый триумф КЭД.

Подробный анализ радиационной поправки к вершинной функции. Разделение взаимодействия заряда и магнитного момента. Тождество Гордона. Вывод Швингерской поправки к магнитному моменту электрона. Тождество Гордона как упрощающий вычисления трюк. Вклад адронной поляризации вакуума в магнитную аномалию.

11. Золотое правило Ферми в релятивистской теории.

Вычисления времен жизни и полных сечений процессов. Фазовый объем и его релятивистская инвариантность. Редукция многочастичных фазовых объемов к двухчастичным. Распределения по инвариантным массам как способ поиска новых частиц. Иллюстрация техники на примере рождения пар Далица. Условие унитарности и оптическая теорема. Аналитические свойства поляризации вакуума как квадрата массы фотона. Связь с сечением e^+e^- в аннигиляционном канале. Правило Кутковского. Прямое вычисление мнимой части поляризации вакуума дает автоматически градиентно-инвариантный ответ.

12. Тормозное излучение и инфракрасная катастрофа в КЭД.

Конспирация реальных и виртуальных поправок как ключ к разрешению парадокса. Квантовая механика конспирации как следствия условия унитарности на языке Фоковских состояний электрона как голого электрона с многофотонным окружением. Приближение Ферми-Вайцеккера-Вильямса. Приложение к процессу Ландау-Лифшица рождения e^+e^- пары при столкновении ультрарелятивистских заряженных частиц.

13. Второй триумф КЭД.

Введение в КЭД во внешнем поле. Детальный разбор собственной энергии атомарного электрона. Вычисление Лэмбовского сдвига.

14. Релятивистский спин во внешнем поле.

Уравнение Френкеля-Томаса-Баргмана-Мишеля-Телегди (ФТБМТ). Еще один вывод Томас-Френкелевской половинки. Приложения к ускорительной технике. Параметрический спиновый резонанс в накопительных кольцах как пример приложения усреднения по Боголюбову-Крылову к решению уравнения ФТБМТ в представлении взаимодействия.

15. Уравнения Каллана-Симанчика.

Перенормировки, бегущий заряд. Полнос Ландау-Абрикосова-Халатникова и нуль заряда. Фиксированные точки и аномальные размерности. Вводные замечания об асимптотической свободе в квантовой хромодинамике.

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

Учебная аудитория, доска, при необходимости медиапроектор, экран.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Квантовая электродинамика [Текст] : учеб. пособие для студентов физ. спец. ун-тов / В. Б. Берестецкий, Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский .— 4-е изд., испр. — М. : Физматлит, 1989, 2001, 2002, 2006 .— 720 с.
2. Квантовая теория поля [Текст] = Quantum field theory : [учеб. пособие для вузов] / Л. Райдер, пер. с англ. С. И. Азакова ; под ред. Р. А. Мир-Касимова .— М. : Мир, 1987 .— 512 с.

Дополнительная литература

1. Введение в релятивистскую квантовую теорию поля [Текст]/С. Швебер , -М., Изд-во иностр. лит., 1963

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

www.chair.itp.ac.ru

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

Представление материала на доске и/или при помощи медиапроектора. Решение задач по теме дисциплины для развития и проверки знаний и умений. Возможно использование ПО для символьных и/или численных вычислений.

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

Студент, изучающий дисциплину, должен, с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения и понятия, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

– посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;

- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению: Прикладные математика и физика
профиль подготовки: Общая и прикладная физика
Физтех-школа физики и исследований им. Ландау
кафедра проблем теоретической физики
курс: 1
квалификация: магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Разработчик: Н.Н. Николаев, д-р физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Квантовая электродинамика» обучающийся должен:

знать:

- основные понятия по теме дисциплины.

уметь:

- пользоваться развитыми в рамках дисциплины методами исследования, решать задачи по теме дисциплины.

владеть:

- математическим и понятийным аппаратом и методами исследований, составляющими содержание дисциплины.

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

1. Как выглядит теорема Голдстоуна в теории с изотриплетом скалярных частиц?
2. Аннигиляции в коллайдере при высокой энергии пары e^+e^- с поперечными поляризациями в пару $\mu^+\mu^-$. Каким будет азимутальное распределение мюонов?
3. Вычислить отношение ширин распадов $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ и $\pi^0 \rightarrow \gamma(e^+e^-)$ с конверсией второго фотона в пару Далица e^+e^- . В задаче есть большой параметр: отношение массы пиона к массе электрона. Найти главный по этому параметру вклад в отношение ширин.
4. Вычислить вклад электронной поляризации вакуума в магнитную аномалию мюона. В задаче есть большой параметр: отношение массы мюона к массе электрона. Как, привлекая понятие бегущего заряда, можно написать ответ, вообще ничего не вычисляя?
5. Магнитная аномалия электрона в задаче о Лэмбовском сдвиге.

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

1. Как выглядит феномен Хиггса при $SU(2)$ неабелевой калибровочной инвариантности в модели Georgi-Glashow с изотриплетом скалярных мезонов?
2. Дана теория с фермионом, взаимодействующим со скалярным или псевдоскалярным полем. Вычислить, используя размерную регуляризацию, поляризацию мезонного вакуума в обоих случаях. Найти константы перенормировки мезонных полей и массы мезона. Найти характер пороговой особенности при времениподобных импульсах. Объяснить различие порогового поведения для скалярного и псевдоскалярного случая, если оно будет обнаружено.
3. Задача Берестецкого-Крохина-Хлебникова: найти поправку к магнитной аномалии электрона в случае массивного фотона с массой много больше массы электрона. Подсказка: систематически использовать тождество Гордона.
4. Пространственная четность ρ^0 -мезона была определена по распаду на две пары Далица $(e^+e^-)(e^+e^-)$. В системе покоя мезона каждая пара определяет плоскость. Рассмотреть случай, когда инвариантные массы пар много больше двух масс электрона, но много меньше половины массы мезона. В этой конфигурации антисимметризацию амплитуды распада по тождественным фермионам можно не делать (обоснование можно опустить). Какая будет корреляция плоскостей двух пар при разной четности мезона: будут предпочтительны параллельные или перпендикулярные плоскости? Как ответ можно предугадать без вычислений?
5. Как, используя приближение Ферми-Вайцекера-Вильямса, связать дифференциальное сечение процесса $e^+e^- \rightarrow e^+e^-\rho^0$ с временем жизни ρ^0 -мезона (процесс Low)?
6. Привести уравнения Дайсона и перенормировки.
7. Привести золотое правило Ферми в релятивистской теории.
8. Привести детальный разбор собственной энергии атомарного электрона.
9. Привести полюс Ландау-Абрикосова-Халатникова и нуль заряда.
10. Привести замечания об асимптотической свободе в квантовой хромодинамике.

Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

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

Дифференцированный зачёт проводится в устной форме по билетам. В каждом билете представлено два теоретических вопроса. При проведении зачёта обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.