

**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:	Физика и техника низких температур
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра фундаментальной и прикладной физики микро- и наноструктур
курс:	1
квалификация:	магистр

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

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 15 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 15 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: А.С. Сидоренко, д-р физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры фундаментальной и прикладной физики микро- и наноструктур
10.04.2024

Аннотация

Курс направлен на обучение физическим основам получения и измерения низких температур, проведение исследований при низких и сверхнизких температурах, получение знаний о современных экспериментальных методиках исследования свойств твердых тел в условиях глубокого охлаждения.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Целью дисциплины является усвоение основных понятий, законов и моделей данного раздела физики конденсированного состояния, знакомство с физическими основами экспериментальных методик получения низких температур и измерений при низких и сверхнизких температурах, получение знаний о классических и современных экспериментальных результатах исследований свойств твердых тел в условиях глубокого охлаждения.

Задачи дисциплины

Развитие навыков работы с криогенной аппаратурой, изучение современного низкотемпературного эксперимента, формирование направления научной деятельности студента в будущем.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-3 Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной задачи	УК-3.2 Учитывает в своей социальной и профессиональной деятельности интересы, особенности поведения и мнения (включая критические) людей, с которыми работает/взаимодействует, в том числе посредством корректировки своих действий
УК-4 Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия	УК-4.2 Владеет навыками, необходимыми для написания, письменного перевода и редактирования различных академических текстов (рефератов, эссе, обзоров, статей и т.д.)
	УК-4.4 Способен использовать современные средства информационно-коммуникационных технологий для академического и профессионального взаимодействия
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-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
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-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов

применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.1 Способен работать в коллективе, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
	ОПК-5.3 Стремится к получению новых знаний, профессиональному и личностному росту
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

Получить опыт работы на оборудовании всех базовых лабораторий кафедры, понять основные направления исследований научных групп лабораторий. Научится работать с научной литературой, овладеть терминологией.

уметь:

Искать актуальную для исследования научную литературу. Владеть широким спектром низкотемпературных методик, используемых в научных лабораториях, включая численные, криогенные, магнитные и оптические исследования.

владеть:

- навыками работы с литературой;
- методы получения криогенных температур;
- низкотемпературные методы исследования;
- навыками теоретического анализа реальных задач;

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 физику низких температур	2		2	8
2	Методы получения криогенных жидкостей и их транспортировки	2		2	8
3	Принципы и методы получения температур ниже 1 К	2		2	8
4	Сверхтекучесть. Основные свойства жидкого ^4He и ^3He	2		2	8
5	Измерение низких и сверхнизких температур	3		3	12
6	Сверхпроводимость (низкотемпературная и высокотемпературная), методы исследования	4		4	16
Итого часов		15		15	60

Подготовка к экзамену	0 час.
Общая трудоёмкость	90 час., 2 зач.ед.

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

Семестр: 2 (Весенний)

1. Введение в физику низких температур

Определение температуры и классификация областей температурной шкалы. Понятия энтропии и энтальпии. Третье начало термодинамики и недостижимость температуры 0 К.

2. Методы получения криогенных жидкостей и их транспортировки

Дросселирование, детандерные циклы Клода, Гейландта, Стирлинга, турбодетандер Капицы. Противоток и теплообмен. Вакуумная, порошковая, многослойная экрано-вакуумная теплоизоляция. Сосуды Дьюара и криостаты. Откачка паров ^4He .

3. Принципы и методы получения температур ниже 1 К

Откачка паров ^3He , криостаты растворения ^4He - ^3He , адиабатическое размагничивание солей, эффект Померанчука.

4. Сверхтекучесть. Основные свойства жидкого ^4He и ^3He

Двухжидкостная модель Ландау. Критические скорости. Эффект фонтанирования сверхтекучего гелия и особенности работ вблизи лямбда-точки.

5. Измерение низких и сверхнизких температур

Газовый, резистивный, термопарный термометры. Термометры магнитной восприимчивости, СКВИД-термометрия.

6. Сверхпроводимость (низкотемпературная и высокотемпературная), методы исследования

Исследование сверхпроводящих переходов в резистивных, магнитных, калориметрических измерениях. Критерии определения T_c , причины уширения сверхпроводящих переходов.

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

На кафедре будут организованы практические лабораторные работы отражающие основные направления исследований в области низких температур: 1) низкотемпературная термометрия , (нужен криостат 4He, температурный контроллер, резистор 100 Ом, кремниевый диод; 2) исследование сверхпроводящего перехода (нужны криостат 4He с откачкой, пленка ниобия, пленка диборида магния, образец YBaCuO -керамики, температурный контроллер, источник тока и микровольтметр). По мере повышения уровня студентов от семестра к семестру сложность исследовательских задач будет расти.

Необходимое оборудование для лекций и практических занятий: компьютер и мультимедийное оборудование (проектор, звуковая система). Лабораторные установки с поставленными на них учебными экспериментами по низкотемпературной термометрии и исследованию сверхпроводящих переходов.

Необходимое программное обеспечение: офисный пакет Microsoft PowerPoint для рефератов и презентаций, программа Origin (при наличии технической возможности).
Обеспечение самостоятельной работы – доступ в Интернет, базы данных по научной периодике.

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Принципы и методы получения температур ниже 1К [Текст]/О. В. Лоунасмаа , -М., Мир, 1977
2. Искусство криогеники. Низкотемпературная техника в физическом эксперименте, промышленных и аэрокосмических приложениях [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / Г. Вентура, Л. Ризегари ; пер. с англ. под ред. Л. П. Межова-Деглина .— Долгопрудный : Интеллект, 2011 .— 336 с.
1. Frank Pobell, Matter and Methods at Low Temperatures, Berlin: Springer-Verlag, 2007
2. Малков М.П. и др., Справочник по физико-техническим основам криогеники, М.: Энергоатомиздат, 1985. - 432 с

Дополнительная литература

1. Розанов, Л. Н. Вакуумная техника: учебник для вузов по спец. "Электронное машиностроение"/Л.Н. Розанов.- Изд. 3-е, перераб. и доп.-М.: Высшая школа,2007.-391 с.
2. Г.К.Уайт. Экспериментальная техника в физике низких температур. М.:Изд-во физико-мат. Литературы, 1961.
3. Г., Пожаров А. М., Тихонов В. В. Криогенная электроника в морском радиооборудовании.— Л.: Судостроение, 1980.—223 с. 122.
4. Капица П.Л. 'Эксперимент, теория, практика' - Москва: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1981 - с.496

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

BEC - http://en.wikipedia.org/wiki/Bose%Einstein_condensate
HTSC - http://en.wikipedia.org/wiki/High-temperature_superconductivity
Superconductivity - - http://en.wikipedia.org/wiki/High-temperature_superconductivity
Superfluidity - <http://en.wikipedia.org/wiki/Superfluidity>

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

Microsoft PowerPoint для рефератов и презентаций, программа Origin (при наличии технической возможности).

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.

ПРИЛОЖЕНИЕ

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 фундаментальной и прикладной физики микро- и наноструктур
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр

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

Разработчик: А.С. Сидоренко, д-р физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-3 Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной задачи	УК-3.2 Учитывает в своей социальной и профессиональной деятельности интересы, особенности поведения и мнения (включая критические) людей, с которыми работает/взаимодействует, в том числе посредством корректировки своих действий
УК-4 Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия	УК-4.2 Владеет навыками, необходимыми для написания, письменного перевода и редактирования различных академических текстов (рефератов, эссе, обзоров, статей и т.д.)
	УК-4.4 Способен использовать современные средства информационно-коммуникационных технологий для академического и профессионального взаимодействия
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-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
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-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.1 Способен работать в коллективе, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
	ОПК-5.3 Стремится к получению новых знаний, профессиональному и личностному росту
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Физика и техника низких температур» обучающийся должен:

знать:

Получить опыт работы на оборудовании всех базовых лабораторий кафедры, понять основные направления исследований научных групп лабораторий. Научится работать с научной литературой, овладеть терминологией.

уметь:

Искать актуальную для исследования научную литературу. Владеть широким спектром низкотемпературных методик, используемых в научных лабораториях, включая численные, криогенные, магнитные и оптические исследования.

владеть:

- навыками работы с литературой;
- методы получения криогенных температур;
- низкотемпературные методы исследования;
- навыками теоретического анализа реальных задач;

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

В процессе обучения студентам будет предложено изучить несколько, относящихся к практическим занятиям публикаций, по которым ими готовятся доклады и рефераты. После чего студентами проводятся соответствующие исследования.

1. Сверхпроводящий квантовый интерферометр;
2. Кинетическая индуктивность сверхпроводника;
3. Базовый элемент квантовой электроники - контакт Джозефсона;
4. Сверхпроводниковый спиновый вентиль.

Доклады на семинаре по предложенным преподавателем статьям по направлению Современные проблемы физики низких температур

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

Каждый студент должен выполнить 2 доклада в семестр продолжительностью 10-15 минут. Выполнить 2 исследовательские практические задачи в семестр в соответствии с изученной литературой.

Перечень контрольных вопросов

1. Как измерить температуру газовым термометром?
2. Как правильно измерить температуру термопарой?
3. Как можно измерить температуру с помощью резистора?
4. Что такое эффект Померанчука?
5. Основные способы ожижения газов.
6. Что такое сверхтекучесть Гелия-4 и как она может проявиться в низкотемпературном эксперименте?
7. Правила безопасной работы с криогенными жидкостями
8. Каковы причины уширения сверхпроводящих переходов?
9. Что такое критические флуктуации параметра порядка и как они могут проявляться в сверхпроводящем переходе?
10. Как можно получить температуру ниже 1 К? Можно ли достичь абсолютного нуля температуры?

Примеры контрольных заданий

1. Вычислить (оценить) число Гинзбурга квазидвумерного сверхпроводника из ширины перехода.
2. Вычислить (оценить) величину активационной энергии движения вихрей из температурной зависимости низкотемпературной части резистивных переходов.
3. Вычислить (оценить) величину параметра вихревой решетки из величины второго критического магнитного поля.

4. Вычислить величину длины когерентности Гинзбурга-Ландау из величины критического магнитного поля.
5. Вычислить величину температуры сверхпроводящего перехода тонкой пленки из температурной зависимости флуктуационной проводимости.
6. Оценить (качественно) вклад в уширение сверхпроводящего перехода различных физических причин (флукс-флоу, критические флуктуации, флуктуации Асламазова-Ларкина) и указать области перехода, где они наиболее выражены.

Примеры статей, используемых для подготовки докладов:

1. Хоэнберг П. Дальний порядок при сверхпроводящем переходе, УФН 102, 239–246 (1970)
2. Л.Г. Асламазов, А.И. Ларкин. ФТТ 10, 1104 (1968)
3. Шмидт В. В. Письма в ЖЭТФ, 1966, т. 3, № 3, с. 141—143
4. A. Sidorenko, V. Zdravkov, V. Ryazanov, S. Horn, S. Klimm, R. Tidecks, A. Wixforth, T. Koch, T. Schimmel, Thermally assisted flux flow in MgB₂: strong magnetic field dependence of the activation energy, Philos. Mag. 85 (2005) 1783–1790. <https://doi.org/10.1080/14786430500036678>.
5. A.S. Sidorenko, V.I. Zdravkov, V. V Ryazanov, M. Klemm, S. Horn, R. Tidecks, C.M. Muller, A. Wixforth, Two-dimensional superconducting fluctuations in MgB₂ films, J. Supercond. 17 (2004) 211–213. <https://doi.org/10.1023/B:JOSC.0000021215.50054.7d>.
6. A.S. Sidorenko, L.R. Tagirov, A.N. Rossolenko, N.S. Sidorov, V.I. Zdravkov, V. V Ryazanov, M. Klemm, S. Horn, R. Tidecks, Fluctuation conductivity in superconducting MgB₂, JETP Lett. 76 (2002) 17–20.
7. М.А. Васютин, А.И. Головашкин, Н.Д. Кузьмичев. Нелинейность вольт-амперных характеристик монокристаллов YBa₂Cu₃O_{7-x} и переход Березинского–Костерлица–Таулеса. Физика твердого тела, 2006, том 48, вып. 12, 2128-2135.
8. V.I. Dediu, V.V. Kabanov, A.G. Sandler, A.S. Sidorenko, Effective dimensionality fluctuation change in V/Cu layered superconductors, Phys. Lett. A. 157 (1991) 488–490. [https://doi.org/10.1016/0375-9601\(91\)91024-8](https://doi.org/10.1016/0375-9601(91)91024-8).
9. A. S. Sidorenko, L. A. Konopko, A. E. Koshelev, A. Yu. Simonov. Resistive Transition Broadening of Metal-Oxide Superconductors in Magnetic Fields. Physica Status Solidi B 1989, Volume 155, Number 1, pag. K45-K49, <https://doi.org/10.1002/pssb.2221550144>
10. A.S. Sidorenko, N.Y. Fogel, I.M. Dmitrenko, Smearing Of Resistive Transitions Of Thin Vanadium Films - Fluctuations Or Inhomogeneity, Fiz. Tverd. TELA. 23 (1981) 724–730.

Примеры тем исследований, практических задач

1. Измерить резистивный переход в сверхпроводящее состояние тонкой пленки и проанализировать форму и ширину перехода.
2. Изготовить низкотемпературный термометр на основе угольного резистора и откалибровать его в диапазоне температур 4,2-100 К.
3. Оценить изменение температуры сверхпроводящего перехода тонкой пленки при изменении измерительного тока от 1 до 1000 микроампер. Определить оптимальный измерительный ток.
4. Определить величину градиента температуры в измерительном блоке по величине гистерезиса резистивных переходов сверхпроводящей пленки.
5. Определить величину погрешности измерения температуры рабочей вставки по эталонному образцу (по T_c свинцовой проволоки).

Вопросы по ходу докладов и при допуске к исследовательской установке.

Ответы на вопросы по существу проведенных исследований.

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 зачет 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.