

**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:	Технология изготовления наноструктур
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра квантовых наноструктур, материалов и устройств
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 90 всего, в том числе:

лекции: 45 час.

семинары: 45 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 105 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 225, всего зач. ед.: 5

Программу составил: В.Н. Антонов, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры квантовых наноструктур, материалов и устройств 25.03.2025

Аннотация

Курс посвящен фундаментальным и практическим аспектам технологий изготовления наноразмерных устройств. Занятия начинаются с введения в технологию чистых помещений, кодекса работы и безопасности в центрах нано-производства. Далее обсуждается целый ряд технологий, материалов и методов: УФ и электронно-лучевая литография, мокрое и сухое травление, тонко-пленочное осаждение, термический отжиг, управляемое окисление и ионно-лучевая имплантация, метрология нано-размерных устройств.

В заключительной части обсуждаются примеры изготовления приборов. У студентов будет возможность освоить практическую работу на некоторых установках. Занятия проводятся на территории Сколтеха, некоторые демонстрации – в лабораториях МФТИ.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- ознакомление с современным состоянием исследований и разработок в области технологий тонких пленок и тонкопленочных устройств.

Задачи дисциплины

Познакомить студентов с основными идеями и техническими решениями в этой области, с постановкой задач и исследовательскими подходами к их решениям.

Предполагается, что прослушав этот курс, студенты смогут выбирать лабораторные технологии, оптимальные для конкретных исследовательских задач.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации	УК-2.2 Способен прогнозировать результат деятельности и планировать последовательность шагов для достижения данного результата. Формирует план-график реализации проекта в целом и план контроля его выполнения
	УК-2.3 Способен организовать и координировать работу участников проекта, обеспечивать работу команды необходимыми ресурсами
	УК-2.4 Представляет публично результаты проекта (или отдельных его этапов) в форме отчетов, статей, выступлений на научно-практических конференциях, семинарах и т.п.
УК-3 Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной задачи	УК-3.1 Организует и координирует работу участников проекта, способствует конструктивному преодолению возникающих разногласий и конфликтов
	УК-4.1 Способен вести обмен деловой информацией в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и не менее чем на одном иностранном языке

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-4.3 Способен представлять результаты академической и профессиональной деятельности на различных научных мероприятиях, включая международные
	УК-4.4 Способен использовать современные средства информационно-коммуникационных технологий для академического и профессионального взаимодействия
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.1 Умеет решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности
	УК-6.2 Оценивает свою деятельность, соотносит цели, способы и средства выполнения деятельности с её результатами
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-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	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-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
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-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования

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-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-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	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
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива
	ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях
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-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (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:

- основные принципы тонкопленочных технологий и управления ими на основе количественных физических соотношений.

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	Физическое осаждение из газовой фазы.	7	8		18
2	Молекулярно-лучевая эпитаксия.	7	8		18
3	Магнетронное и электронно-лучевое напыление.	7	8		18
4	Химическое осаждение из газовой фазы.	8	7		18
5	Мониторинг и контроль процессов.	8	7		18
6	Инженерные аспекты тонкопленочных технологий.	8	7		15
Итого часов		45	45		105
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		225 час., 5 зач.ед.			

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

Семестр: 2 (Весенний)

1. Физическое осаждение из газовой фазы.

- условия и режимы испарения
- вакуумные камеры
- примеры реализации лабораторных технологий

2. Молекулярно-лучевая эпитаксия.

- монокристаллические подложки
- напряжения, mismatch, строение границ
- переходные слои
- примеры реализации технологий гетероструктур

3. Магнетронное и электронно-лучевое напыление.

- режимы и дополнительные контролируемые параметры
- сравнение с возможностями термического осаждения
- примеры реализации технологий магнетронного напыления
- примеры реализации технологий электронно-лучевого напыления

4. Химическое осаждение из газовой фазы.

- реакционная способность газообразных прекурсоров
- гомогенные и гетерогенные реакции
- принципы конструкции реакторов
- примеры реализации технологий химического осаждения из газовой фазы

5. Мониторинг и контроль процессов.

- кварцовое микровзвешивание
- оптический мониторинг
- структурная характеристика пленок после осаждения

6. Инженерные аспекты тонкопленочных технологий.

- нагреватели, испарители
- системы охлаждения
- насосы
- проточные системы

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

Учебная аудитория, доска, медиапроектор, экран. Оборудование для лабораторных демонстраций в МФТИ и Сколтехе.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. С. И. Дорожкин, Напыление пленок в вакууме (Physical Vapor deposition, PVD). Лекции (практический курс), М., МФТИ, 2012.
2. Л. Холлэнд. Нанесение тонких пленок в вакууме, М.–Л., Государственное энергетическое издательство, 1963.
3. Технология тонких пленок, справочник под ред. Л. Майселла, Р. Глэнга. Москва, Советское радио, 1977.
4. Г. Хасс, Р.Э. Тун, Физика тонких пленок, М., “Мир”, 1967.
5. Л. Майсел, Р. Глэнг, Технология тонких пленок. Справочник, М., Сов. Радио, 1977.

Дополнительная литература

1. Фундаментальные основы процессов химического осаждения пленок и структур для наноэлектроники (под ред. Т. П. Смирновой), Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2013.
2. V. A. Shchukin, N. N. Ledentsov, D. Bimberg, Epitaxy of Nanostructures, Berlin Heidelberg, Springer, 2004.
3. D. Natelson, Nanostructures and Nanotechnology, Cambridge University Press, 2015.
4. Физические величины., справочник под ред. И.С. Григорьева и Е.З. Мейлихова, Москва, Энергоатомиздат, 1991.

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

Ресурс Canvas (Сколтех), студенты получают индивидуальный доступ

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

Решения задач предоставляются через системы Canvas, google.meet.com.

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

Студент, изучающий дисциплину, должен использовать знания, полученные в предыдущих физических курсах, для освоения современных высокотехнологичных технологий тонкопленочного напыления для наноэлектроники.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные типы технологий напыления пленок, уметь применять полученные знания в случае самостоятельной экспериментальной работы по созданию конкретных лабораторных образцов и устройств.

Успешное освоение курса требует творческой самостоятельной работы студента с научной литературой по тематике курса, а также тщательного решения предлагаемых задач.

Показателем владения материалом служит умение решать количественные задачи, связанные с планированием и мониторингом напыления пленок с заданными характеристиками.

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

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 квантовых наноструктур, материалов и устройств
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Разработчик: В.Н. Антонов, канд. физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации	УК-2.2 Способен прогнозировать результат деятельности и планировать последовательность шагов для достижения данного результата. Формирует план-график реализации проекта в целом и план контроля его выполнения
	УК-2.3 Способен организовать и координировать работу участников проекта, обеспечивать работу команды необходимыми ресурсами
	УК-2.4 Представляет публично результаты проекта (или отдельных его этапов) в форме отчетов, статей, выступлений на научно-практических конференциях, семинарах и т.п.
УК-3 Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной задачи	УК-3.1 Организует и координирует работу участников проекта, способствует конструктивному преодолению возникающих разногласий и конфликтов
УК-4 Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия	УК-4.1 Способен вести обмен деловой информацией в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и не менее чем на одном иностранном языке
	УК-4.2 Владеет навыками, необходимыми для написания, письменного перевода и редактирования различных академических текстов (рефератов, эссе, обзоров, статей и т.д.)
	УК-4.3 Способен представлять результаты академической и профессиональной деятельности на различных научных мероприятиях, включая международные
	УК-4.4 Способен использовать современные средства информационно-коммуникационных технологий для академического и профессионального взаимодействия
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.1 Умеет решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности
	УК-6.2 Оценивает свою деятельность, соотносит цели, способы и средства выполнения деятельности с её результатами
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-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	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-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
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-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
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-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-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	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
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива
	ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях
ПК-3 Способен профессионально работать с	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)

исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области

ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)

ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Технология изготовления наноструктур» обучающийся должен:

знать:

- основные принципы тонкопленочных технологий и управления ими на основе количественных физических соотношений.

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. Оценить длину свободного пробега атома аргона при комнатной температуре и давлении в камере $1.5 \cdot 10^{-2}$ мБар. Оценить амплитуду движения электронов и атомов аргона при падающей мощности 100 Вт. Если для решения требуются еще какие-то рабочие параметры — запросить у преподавателя
2. Описать движение иона аргона при смещении мишени -400 В и магнитном поле 1 кЭ, параллельном плоскости мишени.
3. От генератора на ВЧ-катод поступают электрические колебания мощностью 100 Вт. На катоде диаметром 75 мм горит плазма, заряженные частицы совершают колебательные движения с частотой 13.56 МГц. Пусть в начальный момент времени все частицы находились в состоянии покоя. Какова установившаяся амплитуда колебаний? Сравнить с длиной свободного пробега.
4. Для осаждения высококачественных тонких (5–10 нм) слоев ниобия иногда применяется метод протяжки. В этом методе ниобий распыляется с высокой скоростью (5–10 нм/с), а подложка протягивается через зону распыления с некоторой скоростью. Пусть скорость распыления над мишенью равна 6 нм/с, угловая скорость вращения подложкодержателя 0.1 об./с, радиус движения центра подложкодержателя 11 см, диаметр мишени 75 мм. Какова будет толщина пленки ниобия, осажденной на подложку, расположенную в центре подложкодержателя? Каков будет уход частоты датчика толщиномера при тех же параметрах?
5. Пусть производится термическое осаждение 150 г алюминия на подложку размером 15×15 мм из лодочки, расположенной на расстоянии 20 см. Рассчитать толщину пленки, осажденной на подложку.
6. Считается, что кварцевый датчик необходимо менять, когда его частота изменяется на 100 кГц. Сколько циклов напыления пленок толщиной 20 нм может быть проведено с использованием одного датчика? Провести оценки для никеля, алюминия, золота, меди, свинца, олова, индия, железа.
7. При измерении толщины ниобиевого электрода при помощи оптического интерферометра с желтым светофильтром смещение полос составило 29 мкм при периоде 62 мкм. Оценить толщину пленки. Предложить технологический процесс для такого измерения.

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

Перечень контрольных вопросов:

1. Каков порядок величины собственной частоты кварцевого резонатора?
2. Какими методами можно определить толщину металлической пленки на кремниевой подложке?

3. Какими параметрами характеризуется класс чистой комнаты?
4. На каких подложках возможно получение эпитаксиальных пленок арсенида галлия?
5. На основе какой наноструктуры может быть реализован одноэлектронный транзистор?
6. Химическое осаждение из газовой фазы.
7. Теневая литография.
8. Химическое травление металлов и сплавов.
9. Этапы фотолитографии.
10. «Сухое» травление полупроводников.

Примеры билетов:

Билет 1.

1. «Сухое» травление полупроводников.
2. Этапы электронной литографии.

Билет 2.

1. Анодирование металлов для получения барьерных слоев.
2. Этапы рентгеновской литографии.

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 недочётами.

Оценка "хорошо" (7 баллов) выставляется студенту, если он твёрдо 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 твёрдо 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

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется время на подготовку на усмотрение экзаменатора.

Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать одного астрономического часа.

Экзамен производится в соответствии с вышеуказанными критериями в соответствии с содержанием дисциплины.