

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

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
электроники, фотоники и  
молекулярной физики**

**В.В. Иванов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Суперкомпьютерное молекулярное моделирование
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра физики высокотемпературных процессов
<b>курс:</b>	3
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 6 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: В.В. Стегайлов, д-р физ.-мат. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры физики высокотемпературных процессов 29.05.2020

## Аннотация

Курс "Суперкомпьютерное молекулярное моделирование" предусматривает изучение основных методов молекулярного моделирования: молекулярной динамики и Монте - Карло с элементами многомасштабного суперкомпьютерного моделирования.

Задачи курса:

- освоение студентами базовых знаний в области молекулярного моделирования;
- приобретение теоретических знаний в области компьютерной физики;
- изучение простейших методов решения уравнений компьютерной физики и постановки задач численного моделирования физических явлений;
- оказание консультаций и помощи студентам в проведении собственных теоретических и экспериментальных исследований в области молекулярного моделирования;
- освоение студентами базовых знаний для дальнейшего изучения методов и подходов молекулярной динамики.

По результатам освоения курса студент должен:

Знать:

теоретические модели основополагающих процессов и явлений в молекулярной физике и ее приложениях;

фундаментальные понятия, законы, теории классической равновесной и неравновесной статистической физики;

порядки физических величин, характерные для молекулярной физики конденсированных сред;

основные подходы и приближения, используемые при расчетах атомной структуры кристаллов, жидкостей и кластеров;

физические основы методов исследования структуры и свойств конденсированных фаз;

современные проблемы физики, химии, нанотехнологий.

Уметь:

абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических сред и процессов в них;

пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач;

производить численные оценки по порядку величины;

делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;

делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;

осваивать новые предметные области и теоретические подходы;

эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

Владеть:

навыками освоения большого объема информации;

навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;

культурой постановки и моделирования физических задач;

навыками грамотной обработки результатов компьютерных экспериментов и сопоставления с теоретическими данными.

Основное содержание курса изложено в следующих разделах:

1. Базовые понятия основных методов молекулярного моделирования: молекулярной динамики, Монте Карло и квантовой химии.
2. Молекулярное моделирование и представления статистической физики. Потенциалы межчастичного взаимодействия.
3. Простейшие варианты метода молекулярной динамики. Численное интегрирование.
4. Требования к выбору числа частиц в расчетной ячейке.

5. Стохастические свойства молекулярно-динамических моделей.
6. Равновесные молекулярно-динамические модели.
7. Моделирование релаксации.
8. Основная идея метода Монте - Карло.
9. Метод Монте Карло для различных ансамблей.
10. Сопоставление методов молекулярной динамики и Монте Карло. Многомасштабные подходы.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

- изучение основных методов молекулярного моделирования: молекулярной динамики и Монте - Карло с элементами многомасштабного суперкомпьютерного моделирования.

### Задачи дисциплины

- освоение студентами базовых знаний в области молекулярного моделирования;
- приобретение теоретических знаний в области компьютерной физики;
- изучение простейших методов решения уравнений компьютерной физики и постановки задач численного моделирования физических явлений;
- оказание консультаций и помощи студентам в проведении собственных теоретических и экспериментальных исследований в области молекулярного моделирования;
- освоение студентами базовых знаний для дальнейшего изучения методов и подходов молекулярной динамики.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.8 Владеет навыками работы с современными языками программирования и программными пакетами для научных расчетов
	ПК-1.2 Имеет глубокое знание и понимание базовых математических дисциплин
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики

## 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

теоретические модели основополагающих процессов и явлений в молекулярной физике и ее приложениях;

фундаментальные понятия, законы, теории классической равновесной и неравновесной статистической физики;

порядки физических величин, характерные для молекулярной физики конденсированных сред;

основные подходы и приближения, используемые при расчетах атомной структуры кристаллов, жидкостей и кластеров;

физические основы методов исследования структуры и свойств конденсированных фаз;

современные проблемы физики, химии, нанотехнологий.

уметь:

абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических сред и процессов в них;

пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач;

производить численные оценки по порядку величины;

делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;

делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;

осваивать новые предметные области и теоретические подходы;

эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

владеть:

навыками освоения большого объема информации;

навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;

культурой постановки и моделирования физических задач;

навыками грамотной обработки результатов компьютерных экспериментов и сопоставления с теоретическими данными.

#### 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	Базовые понятия основных методов молекулярного моделирования: молекулярной динамики, Монте Карло и квантовой химии.	3			5
2	Молекулярное моделирование и представления статистической физики. Потенциалы межчастичного взаимодействия.	3			7
3	Простейшие варианты метода молекулярной динамики. Численное интегрирование.	3			5
4	Требования к выбору числа частиц в расчетной ячейке.	3			7
5	Стохастические свойства молекулярно-динамических моделей.	3			6
6	Равновесные молекулярно-динамические модели.	3			5
7	Моделирование релаксации.	3			6
8	Основная идея метода Монте - Карло.	3			7

9	Метод Монте Карло для различных ансамблей.	3			5
10	Сопоставление методов молекулярной динамики и Монте Карло. Многомасштабные подходы.	3			7
Итого часов		30			60
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

Семестр: 6 (Весенний)

1. Базовые понятия основных методов молекулярного моделирования: молекулярной динамики, Монте Карло и квантовой химии.

Молекулярное моделирование в физике, химии, биологии, инженерных науках и нанотехнологиях. Modeling and simulation. Базовые понятия. Иллюстративные примеры их применения в таких задачах как кавитация в жидкостях, пластичность и разрушение кристаллических и нанокристаллических металлов, импульсный нагрев проводников, релаксация неидеальной плазмы, образование наноплазмы, динамика биомолекул, химических и биохимических реакций. Числа частиц до  $10^5$ - $10^{12}$  атомов.

Кафедры и базовые институты ФМБФ и других факультетов МФТИ, институтов РАН, ГНЦ и университетов России, в которых развивается это направление; обзор зарубежных организаций. Научные конференции.

2. Молекулярное моделирование и представления статистической физики. Потенциалы межчастичного взаимодействия.

Методы молекулярной динамики (ММД) и Монте Карло (ММК) как способы изучать реальные классические системы многих частиц из первых принципов: из уравнений Ньютона или гиббсовской вероятности. Принципиальные идеи ММД. Эргодическая гипотеза. Проблема возникновения необратимости. Принципиальные идеи ММК. Существенная выборка. Парные потенциалы взаимодействия. Неаддитивность. Потенциалы внедренного атома. Насыщение химических взаимодействий. Исключение вкладов связанных состояний.

3. Простейшие варианты метода молекулярной динамики. Численное интегрирование.

Техника ММД. Численное интегрирование уравнений движения. Межчастичное взаимодействие. Граничные условия: периодические условия для однородных систем, поверхность, кластеры, биомолекулы и др. Начальные условия в стационарном и нестационарных случаях. Исследование равновесных систем, выход на равновесие, длина траектории. Релаксация. Управляемая молекулярная динамика. Компьютерный эксперимент: модель и диагностика.

Выбор шага интегрирования (ограничения сверху по сохранению полной энергии, по крутизне потенциала взаимодействия, частотные ограничения), переменный шаг. Выбор схемы интегрирования по отсутствию дрейфа средней полной энергии и из соображений экономии машинного времени. Флуктуации полной энергии.

4. Требования к выбору числа частиц в расчетной ячейке.

Иерархия пространственных корреляций частиц. Парные корреляции. Дальние взаимодействия, кулоновский случай. Кооперативные явления. Иерархия временных корреляций частиц. Автокорреляционная функция скорости. Ограничения по диффузии и по скорости звука. Фононы, плазменные волны, флуктуации. Фазовые переходы. Неоднородные системы. Вывод: выбор числа частиц определяет набор явлений и свойств, которые можно исследовать с помощью ММД.

#### 5. Стохастические свойства молекулярно-динамических моделей.

Расходимость траекторий частиц. Неустойчивость по Ляпунову. К-энтропия. Время динамической памяти. Возникновение необратимости. Негамильтоновость ММД. Фактические уравнения движения, которым удовлетворяют траектории ММД. Сохранение полной энергии в среднем и её флуктуации. ММД-ансамбль и его сопоставление с ансамблем статистической физики. Специфические ансамбли, используемые в ММД. ММД как метод, сохраняющий Ньютоновскую динамику на временах молекулярной релаксации и проводящий статистическое усреднение по начальным условиям вдоль МД траектории.

#### 6. Равновесные молекулярно-динамические модели.

Фундаментальные соотношения (первые принципы), используемые при диагностике: статистическая сумма, конфигурационный интеграл, строгие выражения для энергии, давления, теплоёмкости, тензора упругих напряжений и пр.; формулы Кубо-Грина и Эйнштейна-Гельфанда для коэффициентов диффузии, теплопроводности, вязкости и пр. Замена усреднения по фазовому пространству усреднением по времени. Пространственные и временные корреляции частиц. Радиальные функции распределения, корреляционные функции, флуктуации, их спектры. Термодинамические свойства и корреляционные функции. Автокорреляционные функции. Пространственно-временные корреляции частиц, Фурье-образы. Динамический структурный фактор. Примеры для однородных фаз и двухфазных систем, локализация точки фазового перехода, поверхностное натяжение, фазовые переходы второго рода, кластеры и макромолекулы, наноструктуры и наноматериалы.

#### 7. Моделирование релаксации.

Моделирование начального состояния. Формирование ансамбля начальных состояний, различных микроскопически и эквивалентных макроскопически. Зависимость от выбора ансамбля. Мгновенная диагностика. Диагностика с усреднением по времени. Примеры. Метастабильные состояния. Кинетика и динамика кавитации и плавления. Стёкла. Релаксация за фронтом ударной волны в жидкости или твёрдом теле.

#### 8. Основная идея метода Монте - Карло.

Общее понятие о Марковских цепях. Алгоритм Метрополиса. Существенная выборка. Термодинамические величины в каноническом ансамбле. Алгоритм Метрополиса для канонического ансамбля.

#### 9. Метод Монте Карло для различных ансамблей.

Обобщение алгоритма Метрополиса. Большой канонический и изотермически-изобарический ансамбли. Примеры изучения равновесных систем. Химическое и ионизационное равновесия.

#### 10. Сопоставление методов молекулярной динамики и Монте Карло. Многомасштабные подходы.

Потенциалы взаимодействия, граничные условия, число частиц, численные схемы, начальные условия, длина траектории, вариативность и гибкость моделей. Возможности методов. Систематические и статистические погрешности. Критерии достоверности. Многомасштабные подходы, которые позволяют, опираясь на данные молекулярного моделирования, выйти за рамки пространственных и временных масштабов, доступных методам молекулярной динамики и Монте Карло, вплоть до макромасштабов. Проблема связи (bridging the scales) между дисциплинами, работающими на разных уровнях пространственных и временных масштабов: молекулярное моделирование, физическая и химическая кинетика, механика сплошных сред, нано, мезо и макро подходы и т.п. Примеры прикладных задач, требующих привлечения нескольких уровней, отличающихся на многие порядки величин (от фемто и пикосекунд до сотен лет, от долей нанометров до метров и более). Возникающие проблемы информационных технологий: требуемые вычислительные средства, методы параллельных вычислений, выбор числа вычислительных ядер.

Молекулярное моделирование – научная основа нанотехнологий, а в связке с multiscale подходами – важнейшее прорывное направление в естественных и инженерных науках. Ради него создаются лучшие суперкомпьютеры в мире.

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

учебная аудитория, оснащенная проектором и экраном.

## **6. Перечень рекомендуемой литературы**

### **Основная литература**

1. Рапапорт Денис К. Искусство молекулярной динамики. — М. ; Ижевск : Ин-т компьютер. исслед., 2012. — 630 с.
2. Д.В. Хеерман. Методы компьютерного эксперимента в теоретической физике. М.: Наука, 1990. 176 с.

### **Дополнительная литература**

1. Френкель Даан, Смит Беренд. Принципы компьютерного моделирования молекулярных систем : от алгоритмов к приложениям — М. : Науч. мир., 2013. — 559 с.

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

Базы данных по журналам Physical Review, J of Chemical Physics, ЖЭТФ, ТВТ, УФН и др.

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

на лекционных занятиях могут использоваться мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

## **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 дисциплины, 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 к преподавателю.

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



**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра физики высокотемпературных процессов
<b>курс:</b>	<u>3</u>
<b>квалификация:</b>	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 6 (весенний) - Дифференцированный зачет	
<b>Разработчик:</b>	В.В. Стегайлов, д-р физ.-мат. наук, доцент

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.8 Владеет навыками работы с современными языками программирования и программными пакетами для научных расчетов
	ПК-1.2 Имеет глубокое знание и понимание базовых математических дисциплин
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Суперкомпьютерное молекулярное моделирование» обучающийся должен:

### знать:

теоретические модели основополагающих процессов и явлений в молекулярной физике и ее приложениях;

фундаментальные понятия, законы, теории классической равновесной и неравновесной статистической физики;

порядки физических величин, характерные для молекулярной физики конденсированных сред;

основные подходы и приближения, используемые при расчетах атомной структуры кристаллов, жидкостей и кластеров;

физические основы методов исследования структуры и свойств конденсированных фаз; современные проблемы физики, химии, нанотехнологий.

### уметь:

абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических сред и процессов в них;

пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач;

производить численные оценки по порядку величины;

делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;

делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;

осваивать новые предметные области и теоретические подходы;

эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

### владеть:

навыками освоения большого объема информации;

навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;

культурой постановки и моделирования физических задач;

навыками грамотной обработки результатов компьютерных экспериментов и сопоставления с теоретическими данными.

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

В целях текущего контроля успеваемости предусмотрен краткий опрос по темам предыдущего занятия

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

- 1) Какие виды сил межчастичного взаимодействия вы знаете?
- 2) Нарисуйте типичный вид парной корреляционной функции молекул в воздухе. Выделите характерные области. Обоснуйте нарисованное.
- 3) Нарисуйте типичный вид парной корреляционной функции молекул в жидкости. Выделите характерные области. Обоснуйте нарисованное.
- 4) Как будет меняться вид парной корреляционной функции с ростом температуры в обоих случаях? Обоснуйте.
- 5) Где средняя скорость молекул больше: в воздухе или в стакане воды? Почему?
- 6) Нарисуйте характерный вид автокорреляционной функции скоростей молекул в воздухе и жидкости. Обоснуйте нарисованное. Поведение в нуле времени?
- 7) Как будет изменяться со временем в процессе релаксации средняя кинетическая энергия молекул при задании случайного распределения молекул по пространству в качестве начального? Объясните.
- 8) Как будет изменяться со временем в процессе релаксации средняя кинетическая энергия молекул при задании кристаллического распределения молекул по пространству в качестве начального при той же средней начальной кинетической энергии молекул, что и в вопросе 7? Объясните.
- 9) Каково предельное значение усредненной расходимости скоростей для двух первоначально близких траекторий? Почему?
- 10) Время динамической памяти.
- 11) Нарисовать динамику изменения формы первоначально компактного фазового объема вдоль ньютоновских траекторий. Совместить два требования: расходимость траекторий и постоянство фазового объема.
- 12) Возникновение необратимости.
- 13) Виды диагностики при молекулярно-динамическом моделировании равновесных систем. Примеры.
- 14) Замена усреднения по фазовому пространству усреднением по времени.
- 15) Как вы себе представляете, что такое наноматериалы и нанотехнологии.
- 16) Почему в идеальном равновесном кристалле с ростом температуры образуются дефекты: вакансии, междоузлия и пр. уже при очень низких температурах? Какие дефекты знаете?
- 17) Подходы к расчету фазовых равновесий первого рода.
- 18) Виды диагностики при молекулярно-динамическом моделировании релаксации. Примеры.
- 19) В чем идея существенной выборки в методе Монте Карло?
- 20) Сопоставить алгоритмы Метрополиса для канонического, большого канонического и изо-термически-изобарического ансамблей.
- 21) Сопоставить релаксацию к равновесию в методах Монте Карло и молекулярной динамики.
- 22) Сопоставить возможности и преимущества методов молекулярной динамики и Монте Карло.
- 23) Диагностика с пространственным разрешением в этих методах.
- 24) Перечислите черты, которые объединяют компьютерный эксперимент с реальным.
- 25) В чем идея многомасштабных подходов? Привести пример.

#### **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**

При проведении дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.