

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич
Должность: врио ректора
Дата подписания: 23.09.2022 13:29:56
Уникальный программный ключ:
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf75f08

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

Утверждаю:

Руководитель ООП



[Handwritten signature]

Б.Б.Педько

«28» июня 2022 г.

Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

Численные методы в физике низкоразмерных систем

Направление подготовки

03.03.02 Физика

профиль

Физика конденсированного состояния вещества

Для студентов

4 курса, очной формы обучения

Составитель: д.ф.-м.н., профессор Самсонов В.М.

[Handwritten signature]

Тверь, 2022

I. Аннотация

1. Цель и задачи дисциплины

Целью освоения дисциплины является овладение численными методами, в том числе методами компьютерного атомистического моделирования (Монте-Карло и молекулярной динамики) применительно к исследованию наночастиц и наносистем.

Задачами освоения дисциплины являются:

- знакомство с основами методов моделирования и разновидностями моделирования, отвечающими различным уровнем имитации исследуемой системы: уровню электронной структуры, атомистическому уровню, континуальному уровню;
- изучение основ методов статистического и детерминистического моделирования (Монте-Карло и молекулярная динамика);
- знакомство с программами, предназначенными для моделирования наносистем и выполнение заданий, связанных с использованием этих программ.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Численные методы в физике низкоразмерных систем» изучается в элективном модуле «Физика и технология материалов радиоэлектроники» Блока 1. Дисциплины части учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

Численные методы, включая компьютерное моделирование, все шире используется в науке и технике, в том числе в гуманитарных науках. В рамках данного курса рассматриваются базовые понятия теории моделирования (оригинал, модель, упрощенная модель, гомоморфная модель и др.). Эти понятия изучаются на серьезном научном уровне в кибернетике, т.е. науке об управлении в сложных системах. Изучение этих вопросов имеет большое значение для формирования у студентов методологии современного научного исследования, а также для формирования у них научного мировоззрения. Помимо базовых понятий и концепций излагаются основы двух, наиболее

широко применяющихся методов моделирования атомно-молекулярных систем: Монте-Карло и молекулярной динамики.

Данный курс тесно связан с дисциплиной «Термодинамика и статистическая физика». Для успешного освоения этой дисциплины обучающиеся должны изучить такие дисциплины как: «Экспериментальные и теоретические методы в физике конденсированного состояния вещества», «Методы математической физики», «Численные методы и математическое моделирование», «Физика поверхности и низкоразмерных систем».

3. Объем дисциплины: 3 зачетные единицы, 108 академических часов, **в том числе:**

контактная аудиторная работа: лекции 26 часов, лабораторные работы 52 часа, в том числе практическая подготовка 52 часа;

самостоятельная работа: 30 часов, в том числе контроль 27 часов.

4. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

– Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)	– Планируемые результаты обучения по дисциплине
<ul style="list-style-type: none"> – УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач. 	<ul style="list-style-type: none"> – УК-1.1. Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие. – УК-1.2. Определяет, интерпретирует и ранжирует информацию, требуемую для решения поставленной задачи. – УК-1.5. Рассматривает и предлагает возможные варианты решения поставленной задачи, оценивая их достоинства и недостатки.
<ul style="list-style-type: none"> – ПК-2. Способен выполнять экспериментальную работу в области физики и оформлять результаты исследований и разработок. 	<ul style="list-style-type: none"> – ПК-2.1. Проводит экспериментальные исследования с применением научно-исследовательского оборудования в соответствии с утвержденными методиками. – ПК-2.2. Анализирует физические явления

	и процессы в области физики конденсированного состояния и составляет отчет по теме исследования или по результатам проведенных экспериментов.
--	---

5. Форма промежуточной аттестации и семестр прохождения

Экзамен в 8 семестре.

6. Язык преподавания: русский.

II. Содержание дисциплины, структурированное по темам с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

1. Для студентов очной формы обучения

Учебная программа – наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)		Самостоятельная работа (час.)
		Лекции	Практические занятия	
<p>1. Введение. Место моделирования в методологии научного творчества. Связь моделирования с вычислительным экспериментом. Классификация методов моделирования: математическое и физическое моделирование и их взаимосвязь. Два случая математического описания систем. Понятие о кибернетике как науке, об управлении в сложных системах и её место в теории моделирования. Принцип изоморфности математических моделей различным физическим явлениям. Примеры: перенос импульса, перенос тепла, перенос массы, перенос заряда. Классификация математических моделей: жесткие (детерминированные модели), вероятностные модели (метод Монте-Карло). Методы моделирования в естественных и гуманитарных науках.</p>	29	5	5	19
<p>2. Теоретические основы моделирования. Обобщенное понимание движения в кибернетике. Состояние системы. Пространство состояний. Параметры состояний (координаты системы). Понятие о фазовом пространстве. Примеры движения: механическое движение, изменение сырьевых запасов, изменение суммы на банковском счете. Оригинал и модель. Примеры сходства (подобия): внешнее сходство, сходство структуры, сходство поведения. «Черный ящик». Понятие об изоморфных системах. Упрощенная модель. Системы-аналоги. Аналоговые вычислительные машины и устройства. Общий подход к разработке конкретных моделей, многоступенчатый подход: описание исходной системы и выделение основных параметров (оригинал), построение физической модели, формулировка замкнутой математической модели, построение</p>	32	6	6	20

алгоритмической модели, численная модель, программирование, отладка и проверка с уточнением всех уровней описания.				
3. Основы физического моделирования. Теория подобия как теоретическая основа физического моделирования. Критерии подобия и их соотношения. Теорема подобия: необходимое условие подобия, достаточное условие подобия, П-теорема Букингама. Проблемы устойчивости физических моделей. Примеры.	29	5	5	19
4. Основы статистического моделирования (метода Монте-Карло). Теоретические основы метода Монте-Карло. Понятие о генераторе псевдослучайных чисел. Равномерное распределение последовательности случайных величин. Простейшие задачи статистического моделирования. Метод Монте-Карло в вычислительной математике, расчет определенного интеграла по методу Монте-Карло. Пример вычисления виртуальных коэффициентов высших порядков.	29	5	5	19
5. Метод Монте-Карло в статистической физике. Краткие сведения о методе ансамблей Гиббса. Основные статистические ансамбли. Принципиальная схема расчета канонических средних величин по методу Монте-Карло. Схема Метрополиса. Марковские цепи. Периодические граничные условия. Возможности метода Монте-Карло.	32	6	6	20
6. Метод молекулярной динамики. Понятие о применении метода молекулярной динамики в теории жидкостей. Теоретические основы методов классической и квантовой молекулярной динамики. Два варианта молекулярной динамики (адиабатическая и изотермическая молекулярная динамика). Современное состояние в области моделирования малых объектов и макроскопических систем. Эквивалентность методов Монте-Карло и молекулярной динамики. Эргодическая теорема.	29	5	5	19
ЭКЗАМЕН	36			36
ИТОГО	216	32	32	152

III. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

- Текущий контроль успеваемости
- Промежуточная аттестация

IV. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Форма проведения экзамена: студенты, освоившие программу курса «Численные методы в физике низкоразмерных систем» могут сдать экзамен по итогам рейтинговой аттестации согласно Положения о рейтинговой системе обучения и оценки качества учебной работы студентов ТвГУ (протокол №5 от 31 октября 2017 г.).

Если условия «Положения о рейтинговой системе ...» не выполнены, то экзамен сдается согласно Положения о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) студентов ТвГУ (протокол №5 от 31 октября 2017 г.).

1. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ПК-1: способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания		
		Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)	Средний уровень (2 балла по каждому критерию)	Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)
	Тестировать генераторы псевдослучайных чисел и подбирать их оптимальные параметры	Уверенно подбирает оптимальные параметры	Испытывает трудности с подбором оптимальных параметров	Тестирует генераторы, но не может подобрать оптимальные параметры
	Применять графические программы для визуализации результатов атомистического моделирования	Создает анимацию результатов атомистического моделирования	Воспроизводит несколько конфигураций, отвечающих наиболее важным моментам моделирования	Может воспроизвести только конкретную конфигурацию

	<i>Задания для проверки сформированности знаний:</i>	<i>Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)</i>	<i>Средний уровень (2 балла по каждому критерию)</i>	<i>Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)</i>
	Основные методы математического моделирования: методы Монте-Карло, детерминистическое моделирование	Называет методы, уверенно формулирует их отличия, поясняет область применения	Называет методы, неуверенно формулирует их отличия	Называет методы, но не может сформулировать их отличия
	Основы метода молекулярной динамики	Описывает метод, поясняет механизм его применения, точно соблюдает последовательность действий	Описывает метод, поясняет механизм его применения, но совершает незначительные ошибки в последовательности действий	Описывает метод, но не поясняет механизм его применения

2. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ПК-2: способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания		
		<i>Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)</i>	<i>Средний уровень (2 балла по каждому критерию)</i>	<i>Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)</i>
	<i>Задания для проверки сформированности умений:</i>			
	МД моделирование наночас-	Производи	Производи	Производит

	тиц переходных металлов: запуск программы, сохранение и визуализация результатов	т запуск и сохранение результатов в моделировании, уверенно визуализирует результаты моделирования	т запуск и сохранение результатов в моделировании, испытывает затруднения с визуализацией	только запуск и сохранение результатов моделирования
	Нахождение температуры плавления металлических наночастиц по результатам их МД моделирования	Находит температуру, уверенно анализирует полученные результаты	Находит температуру, испытывает проблемы с анализом полученных результатов	Находит температуру, но не проводит анализ полученных результатов
	Задания для проверки сформированности знаний:	Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)	Средний уровень (2 балла по каждому критерию)	Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)
	Конкретные алгоритмы МД моделирования. Отличительные особенности адиабатической и изотермической МД, алгоритмы термостатирования	Формулирует основные алгоритмы МД, уверенно формулирует различия между изотермической и адиабатической МД	Формулирует основные алгоритмы МД, неуверенно формулирует различия между изотермической и адиабатической МД	Формулирует основные алгоритмы МД
	Теоретические представления о размерной зависимости температуры плавления. Формула Томсона	Точно записывает формулу Томсона, поясняет ее смысл	Формулирует факт уменьшения температуры плавления с уменьшением размера частицы по линейному закону	Формулирует только факт уменьшения температуры плавления с уменьшением размера частицы

3. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ПК 3: готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания		
	<i>Задания для проверки сформированности умений:</i>	<i>Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)</i>	<i>Средний уровень (2 балла по каждому критерию)</i>	<i>Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)</i>
	МД исследования размерной зависимости температуры плавления наночастиц переходных металлов, построение графиков зависимости температуры плавления от обратного радиуса частицы	Корректно представлены и прокомментированы размерные зависимости и температуры плавления	Представлены размерные зависимости температуры плавления, но не даны дополнительные вопросы, связанные с размерной зависимостью температуры плавления	Размерная зависимости температуры плавления представлена не вполне корректно, не владеет информацией о существующих представления о размерной зависимости температуры плавления
	Подготовка презентации, посвященной актуальному направлению моделирования конденсированных фаз и наночастиц	Презентация подготовлена на высоком уровне, ее представление также заслуживает высокой оценки	Презентация подготовлена на высоком уровне, но ее представление не заслуживает высокой оценки	Имеется ряд замечаний как по самой презентации, так и по ее представлению
	<i>Задания для проверки сформированности знаний:</i>	<i>Высокий уровень (3 балла по</i>	<i>Средний уровень (2 балла по</i>	<i>Низкий уровень (1 балл по</i>

		<i>каждому критерию)</i>	<i>каждому критерию)</i>	<i>каждому критерию)</i>
	Современные экспериментальные данные по размерной зависимости температуры плавления наночастиц	Знает основные экспериментальные данные и адекватно оценивает степень их достоверности	Формально знает основные экспериментальные данные, но не оценивает адекватно степень их достоверности	Плохо владеет информацией о современных экспериментальных данных по размерной зависимости температуры плавления
	Перспективы развития методов моделирования в физике низкоразмерных систем	Адекватно формулирует перспективы развития и значение методов моделирования в физике низкоразмерных систем	Неуверенно формулирует перспективы развития и значение методов моделирования в физике низкоразмерных систем	С трудом формулирует перспективы развития и значение методов моделирования в физике низкоразмерных систем

V Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) Основная литература:

1. Ибрагимов И. М. Основы компьютерного моделирования наносистем [Электронный ресурс]: учеб. пособие / И.М. Ибрагимов, А.Н. Ковшов, Ю.Ф. Назаров. — Электрон. дан. — СПб.: Лань, 2010. — 384 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/156>.
2. Полухин В.А., Ватолин Н.А. Моделирование разупорядоченных и наноструктурированных фаз. Екатеринбург: Институт металлургии УРО РАН, 2011. 461 с. (9 экз. в библиотеке ТвГУ)
3. [Боев В.Д.](#), [Сыпченко Р.П.](#) Компьютерное моделирование. 2010. // <http://www.intuit.ru/department/calculate/compmodel/1/>

б) Дополнительная литература:

1. Поршнева С. В. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MATLAB. + CD [Электронный ресурс]: учеб. пособие — Электрон.

дан. — СПб.: Лань, 2011. — 736 с. — Режим доступа:
<https://e.lanbook.com/book/650>.

VI. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

Для выполнения практических заданий студентам рекомендуется самостоятельно выбрать привычную для них среду разработки программ. В качестве таковых студенты могут использовать среду разработки Delphi или Builder. В этом случае для визуализации вычислений студенты могут использовать пакет математической графики Origin.

С целью экономии времени студентам рекомендуется использовать математические пакеты Maple и Mathcad. Благодаря мощной интеллектуальной среде программирования студенты могут полностью сосредоточиться на разработке и исследовании математических моделей, минуя этап написания вспомогательных подпрограмм по дифференцированию интегрированию и т.д. Для быстрой выработки необходимых навыков использования этих пакетов к данному методическому комплексу прилагаются электронные учебники по данным пакетам.

VII. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

1. Текущий контроль успеваемости

ПК-1

Вопросы для проверки знаний при освоении дисциплины:

1. Метод Монте-Карло: основа метода и его приложения.
2. Метод Монте-Карло в статистической физике.
3. Схема Метрополиса.

Задачи для проверки умений при освоении дисциплины

Задание №1.

Исследовать поведение механической системы Гамильтониан которой задан следующей функцией $H=1/2(px^2+py^2)+V(x,y)$, дополнительно предполагается $m=1, E<0$:

- a) гармонический потенциал: $V(x,y) = 1/2 (\omega_x x^2 + \omega_y y^2)$;
- b) возмущенный гармонический потенциал $V(x,y) = 1/2 (x^2 + y^2) + x^2y - 1/3 y^2$.

Определить границы области движения в зависимости от начальной энергии системы (ограниченное и не ограниченное движение). Значения w_1 и $w_2, r(0)$ и

$v(0)$ являются параметрами задачи и задаются из вне. В качестве отчета представить графики поведения закона движения $r(t)$ в зависимости от E_0 .

Задание №2

С помощью метода Монте-Карло вычислить третий и четвертый коэффициенты вириального разложения в случае потенциала твердых сфер. Реализовать процедуру вычисления этих коэффициентов методом Симпсона. Исследовать зависимость точности и скорости вычисления в зависимости от числа шагов интегрирования. Сделать заключения о случаях целесообразности использования первого и второго метода.

ПК-2

Вопросы для проверки знаний при освоении дисциплины:

1. Метод молекулярной динамики.
2. Изобразите граф, демонстрирующий жизненный цикл однолетнего растения.

Задачи для проверки умений при освоении дисциплины

Задание №1

Исследовать структурные переходы в нанокластерах 13Ar , 55Ar , 92Ar в зависимости от температуры системы методом молекулярной динамики. Описать влияние числа частиц на температуру плавления и испарения нанокластеров. Повторить расчеты методом Монте-Карло. Сделать выводы о разнице температур переходов даваемых двумя методами. Оформление отчета.

ПК-3

Вопросы для проверки знаний при освоении дисциплины:

1. Применение метода Монте-Карло в радиофизике и электронике.
2. Применение метода молекулярной динамики к моделированию полупроводниковых метериалов.

Задачи для проверки умений при освоении дисциплины

Задание №1

В пакете HyperChem построить наиболее энергетически выгодные конфигурации кластеров атомов аргона образованных из 13, 55, 92 и 147

частиц. Методом Монте-Карло минимизировать энергии кластеров при $T=1K$.
Описать полученные структуры. Оформление отчета.

2. Промежуточная аттестация

ПК-1

Вопросы для проверки знаний при освоении дисциплины:

1. Интеграл состояний, конфигурационный интеграл, уравнение состояния.
2. Уравнение состояния и вириальное разложение
3. Большой канонический ансамбль, большое каноническое распределение.
4. Межмолекулярные силы. Понятие о химической и водородной связях
5. Модельные потенциалы: потенциал жестких сфер, потенциал Леонарда-Джонса, Сазерленда, Штокмайера. Аддитивность ван-дер-ваальсовских сил.

Задачи для проверки умений при освоении дисциплины

1. Разработать алгоритм и компьютерную программу для нахождения одномерного определенного интеграла по методу Монте-Карло.
2. Провести тестирование генератора псевдослучайных чисел.

ПК-2

Вопросы для проверки знаний при освоении дисциплины:

1. Групповое разложение (метод Майера).
2. Теория подобия и закон соответственных состояний.
3. Приведенное уравнение состояний. Термодинамическое подобие.
4. Уравнение Ван-дер-Ваальса.
5. Особенности жидкого состояния вещества. Развитие теории жидкостей, понятие о ближнем и дальнем порядке, радиальная функция распределения. Парная корреляционная функция.
6. Молекулярные функции распределения. Определение радиальной функции из экспериментальных данных по рассеянию рентгеновских лучей.

Задачи для проверки умений при освоении дисциплины

1. Найти $\int_0^{\pi/2} \cos\theta d\theta$ аналитически и численно с помощью метода Монте-Карло. Сравнить результаты.

ПК-3

Вопросы для проверки знаний при освоении дисциплины:

1. Коррелятивные функции, младшие коррелятивные функции, их применение к расчету внутренней энергии системы.
2. Среднее значение величин аддитивного и бинарного типов. Флуктуация числа частиц в жидкостях. Давление в жидкости (уравнение состояния).
3. Цепочка интегро-дифференциальных уравнений Боголюбова, решение цепочки Боголюбова для газа.
4. Суперпозиционное приближение. Уравнение Боголюбова для радиальной функции.
5. Метод Монте-Карло, основные принципы.
6. Метод молекулярной динамики. Уравнение Ланжевена.
7. Гипотеза эргодичности. Равномерное распределение последовательности случайных величин. Схема Метрополиса.
8. Принципиальная схема расчета средних величин в методе Монте-Карло и вдоль фазовых траекторий в методе молекулярной динамики.

Возможности метода Молекулярной динамики и метода Монте-Карло.

Задачи для проверки умений при освоении дисциплины

Задача 1. У сборщика деталей 50% деталей (валов) имеют диаметр d больше номинала ($d > d_{\text{ном}}$) и 50% меньше номинала ($d < d_{\text{ном}}$). В изделии устанавливается 3 детали (вала). Функционирование нарушится, если в одном изделии окажутся 3 детали с положительным отклонением от номинала. Какова вероятность сборки нормально функционирующего механизма?

Задача 2. Разработать компьютерную программу для реализации представленного ниже алгоритма генератора псевдослучайных чисел.

Во всех основных алгоритмических языках имеется стандартная функция $Y = \text{RND}(X)$ или $\text{RANDOM}(X)$, которая используется в качестве датчика случайных чисел (точнее псевдослучайных). Обычно $x=1$, т.е. $Y \in [0,1]$.

Простой итерационный алгоритм

$$X_{n+1} = (a * X_n + b) \bmod m$$

$$Y_{n+1} = X_{n+1} / m$$

Здесь $m = 2^k + 1$ ($k = 15$ или 31);

a, b, X_0 – целые числа из диапазона $[0, m - 1]$. Выбор параметров a, b, X_0 влияет на длину отрезка аперриодичности генерируемых псевдослучайных чисел.

Пример: $k = 3, m = 2^3 + 1 = 9$

$$m - 1 = 8$$

$$a = 7, b = 8, X_0 = 6$$

$$X_1 = (7 * 6 + 8) \bmod 9 = 5; Y_1 = 5/9 = 0.56$$

$$X_2 = (7 * 5 + 8) \bmod 9 = 43 \bmod 9 = 7$$

$$X_3 = 57 \bmod 9 = 3; Y_3 = 0.33; Y_2 = 0.78$$

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

1. Лекции и практические занятия проводятся в аудиториях, оснащенных мультимедийной техникой. DLP проектор для демонстрации презентаций и учебных фильмов,
2. доступ к сети Интернет

IX. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Наименование специальных* помещений	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения.
<p>Базовая учебная лаборатория общей физики. Лаборатория молекулярной физики №211 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)</p>	<p>1 Монитор 17" LG Flatron 1751SQ-SN Silver-Black 8ms TFT TCO 03 2 Принтер лазерный HP LJ 1005 (14 стр./мин) 3 Экран настенный Screen Media 153*203(M082-08150) 4 Экран настенный Screen Media 213*213(M082-08157) 5 Компьютер (DEPO Neos 420MD WP/OF Pro AE/E4600/2*1G/DDR667/160G/DV16/FDD/KBb/Монитор LCD BenQ17 6 Компьютер 7 Установка для определения определнния коэф. диффузии воздуха и водяного пара ФПТ 1-4 8 Установка для измерения теплоты парообразования ФПТ 1-10 9 Установка для определения универсальной газовой постоянной ФПТ 1-12 10 Установка для определения коэф. теплопроводности воздуха ФПТ 1-3 11 Установка для определения коэффициента вязкости воздуха ФПТ 1-1 12 Установка для определения энтропии при плавлении олова ФПТ 1-11 13 Установка для изучения зависимости скорости звука от температуры ФПТ 1-7 14 Установка для исследования теплоёмкости твердого тела ФПТ 1-8 15 Компьютер iRU Corp 510 I5-2400/4096/500/G210-512/DVD-RW/W7S/монитор E-Machines E220HQVB 21.5" 16 Компьютер iRU Corp 510 I5-2400/4096/500/G210-512/DVD-RW/W7S/монитор E-Machines E220HQVB 21.5" 17 Установка для определения отношения теплоемкостей воздуха при постоянном давлении и объеме ФПТ 1-6 18 Комплект физических лабораторных столов(бшт) 19 Уравнение состояния идеального газа с применением ПК 20 Демонстрационный набор по термодинамике 21 Установка для формирования и измерения температур МЛИ-2</p>	<p>Google Chrome – бесплатно Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows – Акт на передачу прав №2129 от 25 октября 2016 г. MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017 Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017</p>

Помещения для самостоятельной работы:

Наименование помещений	Оснащенность помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
<p>Помещение для самостоятельной работы, учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, практики, Компьютерный класс физико-технического факультета. Компьютерная лаборатория робототехнических систем №4а (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)</p>	<p>1. Компьютер RAMEC STORM C2D 4600/160Gb/ 256mB/DVD-RW +Монитор LG TFT 17" L1753S-SF – 12 шт 2. Мультимедийный комплект учебного класса (вариант № 2) Проектор Casio XJ-M140, настенный проекц. экран Lumien 180*180. ноутбук Dell N4050. сумка 15,6", мышь 3. Коммутатор D-Link 10/100/1000mbps 16-portr DGS-1016D 4. Видеокамера IP-FALCON EYE FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд ООО 5. Видеокамера IP-FALCON EYE FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд ООО 6. Демонстрационное оборудование комплект «LegoMidstormsEV3» 7. Комплект учебной мебели</p>	<p>Adobe Acrobat Reader DC - бесплатно Cadence SPB/OrCAD 16.6 - Государственный контракт на поставку лицензионных программных продуктов 103 - ГК/09 от 15.06.2009 Google Chrome - бесплатно Java SE Development Kit 8 Update 45 (64-bit) - бесплатно Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows – Акт на передачу прав №2129 от 25 октября 2016 г. Lazarus 1.4.0 - бесплатно Lego MINDSTORM EV3 - бесплатно Mathcad 15 M010 - Акт предоставления прав ИС00000027 от 16.09.2011 MATLAB R2012b - Акт предоставления прав № Us000311 от 25.09.2012 Microsoft Express Studio 4 - бесплатно MiKTeX 2.9 - бесплатно MPICH 64-bit – бесплатно MSXML 4.0 SP2 Parser and SDK - бесплатно Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017 MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017</p>

Х. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины

№п.п.	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины	Описание внесенных изменений	Дата и протокол заседания кафедры, утвердившего изменения
1	Раздел IV	Реквизиты «Положения о рейтинговой системе обучения и оценки качества учебной работы студентов ТвГУ» и «Положения о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) студентов ТвГУ»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г.
2	Раздел IX	Оснащенность аудиторного фонда для проведения учебных занятий и самостоятельной работы студентов согласно «Справки МТО ООП ...»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г.