

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич
Должность: врио ректора
Дата подписания: 10.08.2023 16:35:21
Уникальный программный ключ:
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

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

Утверждаю:

Руководитель ООП

Б.Б.Педько

«28»

июня

2022 г.



Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

Численные методы в физике низкоразмерных систем

Направление подготовки

03.03.03 Радиофизика

профиль

Физика и технология материалов и устройств радиоэлектроники

Для студентов

4 курса, очной формы обучения

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

Самсонов

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 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 спецкурса 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 разделом «Термодинамика и статистическая физика» курса теоретической физики, а также с рядом спецкурсов, включая «Экспериментальные и теоретические методы в физике конденсированного состояния вещества».

3. Объем дисциплины: 4 зачетные единицы, 144 академических часов, в том числе:

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

самостоятельная работа: 66 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 |
|---|--|
| УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач. | УК-1.5. Рассматривает и предлагает возможные варианты решения поставленной задачи, оценивая их достоинства и недостатки. |
| ПК-4. Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по отдельным разделам темы. | ПК-4.1. Осуществляет сбор, обработку, анализ и обобщение передового отечественного и международного опыта в соответствующей области исследований. ПК-4.4. Решает аналитические задачи в области физического материаловедения. |

5. Форма промежуточной аттестации и семестр прохождения

Экзамен в 8 семестре.

6. Язык преподавания: русский.

II. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) 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, в том числе Контроль (час.) |
|---|--------------|--------------------------|-----------|---------------------|-----------|---|
| | | Лекции | | Лабораторные работы | | |
| | | всего | в т.ч. ПП | всего | в т.ч. ПП | |
| 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. | 8 | 2 | | | | 6 |
| 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. | 16 | 6 | | 4 | 4 | 6 |

| | | | | | | |
|---|----|---|--|----|----|---|
| 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 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. | 21 | 6 | | 8 | 8 | 7 |
| 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 вириальных коэффициентов высших порядков. | 24 | 4 | | 12 | 12 | 8 |
| 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. | 24 | 4 | | 14 | 14 | 6 |
| 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 | 24 | 4 | | 14 | 14 | 6 |

| | | | | | | |
|---|-----|----|--|----|--|----|
| области моделирования малых объектов и макроскопических систем. Эквивалентность методов Монте-Карло и молекулярной динамики. Эргодическая теорема. | | | | | | |
| ЭКЗАМЕН | 27 | | | | | 27 |
| ИТОГО | 177 | 26 | | 52 | | 66 |

III. Образовательные технологии

| Учебная программа- наименование разделов и тем | Вид занятия | Образовательные технологии |
|---|------------------------------------|---|
| 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. | <i>Лекции</i> | <i>Активное слушание. Традиционная лекция</i> |
| 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 | <i>Лекция, лабораторные работы</i> | <i>Активное слушание Решение групповых и индивидуальных задач дискуссия</i> |

| | | |
|---|---|--|
| <p>(оригинал), построение физической модели, формулировка замкнутой математической модели, построение алгоритмической модели, численная модель, программирование, отладка и проверка с уточнением всех уровней описания.</p> | | |
| <p>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.</p> | <p><i>Лекция, лабораторные работы</i></p> | <p><i>Активное слушание Решение групповых и индивидуальных задач дискуссия</i></p> |
| <p>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 вириальных коэффициентов высших порядков.</p> | <p><i>Лекция, лабораторные работы</i></p> | <p><i>Активное слушание Решение групповых и индивидуальных задач дискуссия</i></p> |
| <p>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.</p> | <p><i>Лекция, лабораторные работы</i></p> | <p><i>Активное слушание Решение групповых и индивидуальных задач дискуссия</i></p> |
| <p>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.</p> | <p><i>Лекция, лабораторные работы</i></p> | <p><i>Активное слушание Решение групповых и индивидуальных задач дискуссия</i></p> |

IV. Оценочные материалы для проведения текущей и промежуточной аттестации

Форма проведения экзамена: студенты, освоившие программу курса, могут получить оценку по итогам семестровой и полусеместровой рейтинговой аттестации согласно «Положению о рейтинговой системе обучения ТвГУ» (протокол №8 от 30 апреля 2020 г.).

Если условия «Положения о рейтинговой системе ...» не выполнены, то экзамен сдается согласно «Положению о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) обучающихся по программам высшего образования ТвГУ» (протокол №11 от 28 апреля 2021 г.)

Для проведения текущей и промежуточной аттестации:

УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач:

УК-1.5. Рассматривает и предлагает возможные варианты решения поставленной задачи, оценивая их достоинства и недостатки.

Задание:

Ответ на вопрос: 1. Схема Метрополиса метода Монте-Карло предполагает, что на каждом шаге моделирования генератор псевдослучайных чисел генерирует 4 псевдослучайных числа. С какой целью они используются?

2. Что понимают под пространственным состоянием системы, например, динамической системы? Приведите 3 примера.

Способ аттестации: устный

Критерии оценки:

- Высокий уровень (3 балла): Понимает физику явления, составляет математические выражения для получения решения. Получает правильный ответ.

- Средний уровень (2 балла): Понимает физику явления. Испытывает сложности с составлением математических выражений для получения решения. Получает правильный ответ.

- Низкий уровень (1 балл): Понимает физику явления. Испытывает сложности с составлением математических выражений для получения решения. Из-за алгебраической неточности не получает правильный ответ.

ПК-4. Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по отдельным разделам темы:

ПК-4.1. Осуществляет сбор, обработку, анализ и обобщение передового отечественного и международного опыта в соответствующей области исследований.

ПК-4.4. Решает аналитические задачи в области физического материаловедения.

Задание:

1. Опишите кратко алгоритм расчёта одномерного интеграла $\int_0^1 f(x) dx$ методом Монте-Карло, если область определения функции отвечает интервалу значений от 0 до 1.

2. Простой итерационный алгоритм генератора псевдослучайных чисел:
 $x = (aX_n + b) \bmod m$, где $f_1 \bmod f_2$ – остаток от деления f_1 на f_2 ,

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

Здесь $m = 2^k + 1$ ($k=15$ или 31),

a, b, X_0 – целые числа из диапазона $[0, m-1]$.

Сделайте 3 первых шага, т.е. найдите псевдослучайные числа Y_1, Y_2 и Y_3 при $k=3, a=7, b=8, X_0=6$

Способ аттестации: письменный

Критерии оценки:

- Высокий уровень (3 балла): Понимает физику явления, составляет математические выражения для получения решения. Получает правильный ответ.

- Средний уровень (2 балла): Понимает физику явления. Испытывает сложности с составлением математических выражений для получения решения. Получает правильный ответ.

- Низкий уровень (1 балл): Понимает физику явления. Испытывает сложности с составлением математических выражений для получения решения. Из-за алгебраической неточности не получает правильный ответ.

V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

1) Рекомендуемая литература

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. [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>.

2) Программное обеспечение

а) Лицензионное программное обеспечение

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.

б) Свободно распространяемое программное обеспечение

3) Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. ЭБС «ZNANIUM.COM» www.znanium.com;

2. ЭБС «Университетская библиотека онлайн» <https://biblioclub.ru/>;

3. ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com>

4) Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

VI. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины

1. Текущий контроль успеваемости

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.

4. Метод молекулярной динамики.

5. Изобразите граф, демонстрирующий жизненный цикл однолетнего растения.

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 $m=1, E < 0$:

а) гармонический потенциал: $V(x, y) = 1/2 (\omega_x x^2 + \omega_y y^2)$;

б) 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.

Вопросы для проверки знаний при освоении дисциплины:

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

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 $T=1\text{K}$. Описать полученные структуры. Оформление отчета.

Задание №2

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.

2. Промежуточная аттестация

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.
6. Групповое разложение (метод Майера).
7. Теория подобия и закон соответственных состояний.
8. Приведенное уравнение состояний. Термодинамическое подобие.
9. Уравнение Ван-дер-Ваальса.

Задачи для проверки умений при освоении дисциплины

1. Разработать алгоритм и компьютерную программу для нахождения одномерного определенного интеграла по методу Монте-Карло.
 2. Найти $\int_0^{\pi/2} \cos\theta d\theta$ аналитически и численно с помощью метода Монте-Карло. Сравнить результаты.
 3. Провести тестирование генератора псевдослучайных чисел.
- Вопросы для проверки знаний при освоении дисциплины:
10. Особенности жидкого состояния вещества. Развитие теории жидкостей, понятие о ближнем и дальнем порядке, радиальная функция распределения. Парная корреляционная функция.
 11. Молекулярные функции распределения. Определение радиальной функции из экспериментальных данных по рассеянию рентгеновских лучей.
 12. Коррелятивные функции, младшие коррелятивные функции, их применение к расчету внутренней энергии системы.
 13. Среднее значение величин аддитивного и бинарного типов. Флуктуация числа частиц в жидкостях. Давление в жидкости (уравнение состояния).
 14. Цепочка интегро-дифференциальных уравнений Боголюбова, решение цепочки Боголюбова для газа.
 15. Суперпозиционное приближение. Уравнение Боголюбова для радиальной функции.
 16. Метод Монте-Карло, основные принципы.

17. Метод молекулярной динамики. Уравнение Ланжевена.
18. Гипотеза эргодичности. Равномерное распределение последовательности случайных величин. Схема Метрополиса.
19. 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 аперидичности генерируемых псевдослучайных чисел.

Пример: $k = 3, m = 2^3 + 1 = 9$

$$m - 1 = 8$$

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

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

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

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

VII. Материально-техническое обеспечение

| | | |
|--|--|---|
| <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/DV 16/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" (2 шт) 16 Установка для определения отношения теплоемкостей воздуха при постоянном давлении и объёме ФПТ 1-6 17 Уравнение состояния идеального газа с применением ПК 18 Демонстрационный набор по</p> | <p>Microsoft Windows 10 Enterprise. MS Office 365 pro plus Kaspersky Endpoint Security для Windows Архиватор 7-Zip - бесплатно Acrobat Reader DC - бесплатно Google Chrome – бесплатно Unreal Commander - бесплатно Почта Outlook – бесплатно Origin 8.1 Sr2 - договор №13918/M41 от 24.09.2009 с ЗАО «СофтЛайн Трейд»;</p> |
|--|--|---|

| | | |
|--|--|--|
| | термодинамике 19 Установка для формирования и измерения температур МЛП-2 | |
|--|--|--|

VIII. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины

| № п.п. | Обновленный раздел рабочей программы дисциплины | Описание внесенных изменений | Реквизиты документа, утвердившего изменения |
|--------|---|---------------------------------|---|
| 1. | | | |
| 2. | | | |