ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Лазерные технологии фотоники

ОДОБРЕНО

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАНОСИСТЕМ

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Направление подготовки (специальность) | | | | | [1] 12.04.01 \*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\* | | | | | | |
| **Семестр** | **Трудоемкость, кред.** | **Общий объем курса, час.** | **Лекции, час.** | **Практич. занятия, час.** | | **Лаборат. работы, час.** | **В форме практической подготовки/ В интерактивном режиме, час.** | **СРС, час.** | **КСР, час.** | **Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП** |  |
| 2 | 3 | 108 | 16 | 16 | | 0 |  | 27 | 0 | Э |  |
| Итого | 3 | 108 | 16 | 16 | | 0 | 0 | 27 | 0 |  |  |

АННОТАЦИЯ

В курсе рассматриваются современные методы численного моделирования и расчета свойств наносистем с применением высокопроизводительных компьютеров. Основное внимание уделяется формированию теоретических знаний в области квантовомеханических методов расчета систем различной пространственной размерности, а также умению применять полученные знания к описанию свойств и проектированию электронных и оптических приборов на их основе. Приводятся примеры применения широко распространенных программных пакетов с открытым исходным кодом, в том числе с использованием кластерных суперкомпьютеров.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели курса: формирование у студентов знаний в области квантовомеханических методов расчета систем различной пространственной размерности, а также умений применять полученные знания к описанию свойств и проектированию электронных и оптических приборов на их основе

Задача курса состоит в том, чтобы студент имел представление о современных квантовомеханических методах численного моделирования наноструктур, а также умел применять их для расчета свойств наноматериалов и проектирования электронных и оптических приборов на их основе с заданными характеристиками.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

«Компьютерное моделирование, расчет и проектирование наносистем» - учебная дисциплина о применении теоретических положений к описанию свойств наноструктур с использованием современных численных методов моделирования. Раскрывает общие для всех наносистем закономерности образования и изменения физико-химических свойств в зависимости от типа наноструктур и пространственной размерности.

Представляет собой дисциплину цикла профессиональных учебных дисциплин, вариативной ее части. Базируется на курсах атомной физики, физики наноразмерных систем, квантовой механики, основ математического анализа, информатики.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

|  |  |
| --- | --- |
| Код и наименование компетенции | Код и наименование индикатора достижения компетенции |
| ОПК-1 [2] – Способен к профессиональной эксплуатации современного научного и технологического оборудования и приборов в своей профессиональной деятельности | З-ОПК-1 [2] – Знать физические законы, лежащие в основе устройства и работы приборов и физических установок, включающих данные приборы; правила эксплуатации физических установок; У-ОПК-1 [2] – Уметь применять физические законы для правильной эксплуатации измерительной, диагностической и другой аппаратуры при проведении физического эксперимента с использованием плазменных или лазерных технологий В-ОПК-1 [2] – Владеть основными навыками работы с научным и технологическим оборудованием, применяемым в научно-исследовательских целях; навыками обработки и интерпретации результатов, полученных с помощью измерительной и диагностической аппаратуры. |
| ОПК-1 [1] – Способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественнонаучную сущность проблемы, формулировать задачи, определять пути их решения и оценивать эффективность выбора и методов правовой защиты результатов интеллектуальной деятельности с учетом специфики научных исследований для создания разнообразных методик, аппаратуры и технологий производства в приборостроении | З-ОПК-1 [1] – Знать: современную научную картину мира, методы поиска, анализа и представления научно-технической информации для выявления естественнонаучной сущности проблемы, формулирования задачи, определения пути их решения и оценивания эффективности выбора с учетом специфики научных исследований. У-ОПК-1 [1] – Уметь: осуществлять поиск, анализ и представление научно-технической информации для выявления естественнонаучной сущности проблемы, формулирования задачи, определения пути их решения и оценивания эффективности выбора с учетом специфики научных исследований. В-ОПК-1 [1] – Владеть: методами поиска, анализа и представления научно-технической информации для выявления естественнонаучной сущности проблемы, формулирования задачи, определения пути их решения и оценивания эффективности выбора с учетом специфики научных исследований |

Профессиональные компетенции в соотвествии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Задача профессиональной деятельности (ЗПД)** | **Объект или область знания** | **Код и наименование профессиональной компетенции;** **Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)** | **Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции** |
| научно-исследовательский | | | |
| Проведение научных исследований в области диагностики лазерной плазмы, лазерного термоядерного синтеза, лазерной физики и применения мощных лазеров. | Научные задачи, плазма, лазеры. | ПК-1.1 [2] - Способен к решению научных задач в области диагностики лазерной плазмы, лазерного термоядерного синтеза, лазерной физики и применения мощных лазеров  *Основание:* Профессиональный стандарт: 40.011 | З-ПК-1.1[2] - Знать: основы диагностики лазерной плазмы, термоядерного синтеза, лазерной физики; У-ПК-1.1[2] - Уметь: решать научные задачи в области диагностики лазерной плазмы, термоядерного синтеза, лазерной физики и применения лазеров; В-ПК-1.1[2] - Владеть: навыком решения научных задач в области диагностики лазерной плазмы, термоядерного синтеза, лазерной физики и применения лазеров |
| Проведение научных исследований и опытно-конструкторских разработок в области диагностики плазмы, лазерного термоядерного синтеза и лазерной физики. | Научные исследования и опытно-конструкторские разработки, лазеры. | ПК-1.2 [2] - Способен использовать знания в области мощных лазеров, физики лазерного термоядерного синтеза и оптики в своей практической деятельности.  *Основание:* Профессиональный стандарт: 40.011 | З-ПК-1.2[2] - Знать: физику лазерного термоядерного синтеза, лазерную физику, физику и применение мощных лазеров, оптику; У-ПК-1.2[2] - Уметь: использовать знания в области оптики, мощных лазеров и физики лазерного термоядерного синтеза в практической деятельности ; В-ПК-1.2[2] - Владеть: навыками использования знаний в области оптики, мощных лазеров и физики лазерного термоядерного синтеза в практической деятельности |
| Анализ научно-технической информации, постановка научной проблемы, обработка и обобщение полученных результатов. | Научно-техническая информация по тематике исследований, результаты исследований. | ПК-3 [2] - Способен анализировать научно-техническую информацию, научные проблемы, результаты, перспективы по тематике проводимых исследований и разработок  *Основание:* Профессиональный стандарт: 24.078 | З-ПК-3[2] - Знать специфику и современное состояние развития исследований и разработок; методы поиска, анализа научно-технической информации для выявления естественнонаучной сущности проблемы, формулирования задачи, определения пути их решения ; У-ПК-3[2] - Уметь: проводить поиск, анализ научно-технической информации для выявления естественнонаучной сущности проблемы, формулирования задачи по тематике проводимых исследований и разработок; обобщать и критически анализировать полученную информацию; проводить критический анализ своих результатов и результатов других исследователей; В-ПК-3[2] - владеть навыками поиска и анализа научно-технической информации, выявления естественнонаучной сущности проблемы, формулирования задачи по тематике проводимых исследований и разработок, обобщения и критического анализа информации. |
| Проведение научных исследований и опытно-конструкторских разработок в области диагностики плазмы, лазерного термоядерного синтеза и лазерной физики. | Научные исследования и опытно-конструкторские разработки, лазеры. | ПК-4.2 [1] - Способен использовать знания в области мощных лазеров, физики лазерного термоядерного синтеза и оптики в своей практической деятельности.  *Основание:* Профессиональный стандарт: 40.011 | З-ПК-4.2[1] - Знать: физику лазерного термоядерного синтеза, лазерную физику, физику и применение мощных лазеров, оптику; У-ПК-4.2[1] - Уметь: использовать знания в области оптики, мощных лазеров и физики лазерного термоядерного синтеза в практической деятельности; В-ПК-4.2[1] - Владеть: навыками использования знаний в области оптики, мощных лазеров и физики лазерного термоядерного синтеза в практической деятельности |
| Разработка функциональных и структурных схем приборов и систем с определением их физических принципов действия, установление технических требований на отдельные блоки и элементы. | Приборы и системы. | ПК-5 [1] - Способен к разработке функциональных и структурных схем приборов и систем с определением их физических принципов действия, структур и установлением технических требований на отдельные блоки и элементы  *Основание:* Профессиональный стандарт: 29.004 | З-ПК-5[1] - Знать: принципы разработки функциональных и структурных схем приборов и систем с определением их физических принципов действия, структур и установлением технических требований на отдельные блоки и элементы ; У-ПК-5[1] - Уметь: читать функциональные и структурные схемы приборов и систем; В-ПК-5[1] - Владеть: техническими средствами для разработки функциональных и структурных схем приборов и систем |
| производственно-технологический | | | |
| Организация работ по совершенствованию и модернизации разрабатываемых систем и элементов, поддержание единого информационного пространства планирования и управления коллективом исполнителей. | Системы и элементы, коллектив исполнителей, информационное пространство. | ПК-11 [1] - Способен к организации работ по совершенствованию, модернизации, унификации выпускаемых приборов и систем, а также их элементов  *Основание:* Профессиональный стандарт: 40.010, 40.053 | З-ПК-11[1] - Знать: принципы организации работ по совершенствованию, модернизации, унификации выпускаемых приборов и систем, а также их элементов ; У-ПК-11[1] - Уметь: разрабатывать планы по организации работ по совершенствованию, модернизации, унификации выпускаемых приборов и систем, а также их элементов; В-ПК-11[1] - Владеть: компьютерными средствами для организации работ по совершенствованию, модернизации, унификации выпускаемых приборов и систем, а также их элементов |
| проектно-конструкторский | | | |
| Юстировка и контроль узлов и элементов физических установок, оценка конструкторских решений, разработка соответствующих рекомендаций. | Способы и методы проектирования в области физических установок, конструкторская документация. | ПК-7 [1] - Способен к оценке технологичности конструкторских решений, разработке технологических процессов сборки (юстировки) и контроля блоков, узлов и деталей приборов  *Основание:* Профессиональный стандарт: 29.004 | З-ПК-7[1] - Знать: методы оценки технологичности конструкторских решений и методы контроля качества узлов и блоков приборов и систем ; У-ПК-7[1] - Уметь: проводить оценку технологичности конструкторских решений и разрабатывать методики контроля качества блоков, узлов и деталей приборов и систем; В-ПК-7[1] - Владеть: программными инструментами для оценки технологичности конструкторских решений и контроля качества блоков, узлов и деталей приборов и систем |
| Проведение необходимых расчетов по проектам, анализа эффективности проектируемых элементов установок и систем. | Расчеты по проектам, физические установки различных типов. | ПК-8 [1] - Способен к проведению технических расчетов по проектам, технико-экономическому и функционально-стоимостному анализу эффективности проектируемых приборов и систем, включая оценку инновационных рисков коммерциализации проектов  *Основание:* Профессиональный стандарт: 40.011 | З-ПК-8[1] - Знать: методологию технических расчетов по проектам, технико-экономического и функционально-стоимостного анализа эффективности проектируемых приборов и систем, включая оценку инновационных рисков коммерциализации проектов ; У-ПК-8[1] - Уметь: проводить технико-экономический и функционально-стоимостной анализ эффективности проектируемых приборов и систем, включая оценку инновационных рисков коммерциализации проектов; В-ПК-8[1] - Владеть: компьютерными средствами и инструментами для технических расчетов по проектам, технико-экономического и функционально-стоимостного анализа эффективности проектируемых приборов и систем, включая оценку инновационных рисков коммерциализации проектов |

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№ п.п** | **Наименование раздела учебной дисциплины** | **Недели** | **Лекции/ Практ. (семинары )/ Лабораторные работы, час.** | **Обязат. текущий контроль (форма\*, неделя)** | **Максимальный балл за раздел\*\*** | **Аттестация раздела (форма\*, неделя)** | **Индикаторы освоения компетенции** |
|  | *3 Семестр* |  |  |  |  |  |  |
| 1 | Раздел 1 | 1-8 |  | КИ-8 | 25 | КИ-8 |  |
| 2 | Раздел 2 | 9-16 |  | КИ-16 | 25 | КИ-16 |  |
|  | *Итого за 3 Семестр* |  | 16/16/0 |  | 50 |  |  |
|  | **Контрольные мероприятия за 3 Семестр** |  |  |  | 50 |  |  |

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

|  |  |
| --- | --- |
| **Обозначение** | **Полное наименование** |
| КИ | Контроль по итогам |
| Э | Экзамен |

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Недели** | **Темы занятий / Содержание** | **Лек., час.** | **Пр./сем., час.** | **Лаб., час.** |
|  | *3 Семестр* | 16 | 16 | 0 |
| **1 - 8** | **Раздел 1** | 8 | 8 |  |
| 1 - 1 | **Введение**  - Актуальность моделирования и проектирования наносистем  - Понятие моделирования. Выбор модели. Области применения. Эмпирические модели. Модели из первых принципов. Наноструктуры. Особенности моделирования наноструктур. Точные и приближенные решения. - Компьютерное моделирование. Роль компьютеров. Вычислительные методы. Виды компьютеров. Роль юникс-подобных операционных систем в моделировании. | Всего аудиторных часов | | |
| 2 |  |  |
| Онлайн | | |
|  |  |  |
| 2 - 3 | **Квантовомеханические и классические модели**  - Классификация моделей - Модели, основанные на классической механике. Области применения. Положительные и отрицательные стороны.  - Модели, основанные на квантовой теории. Области применения. Преимущества перед классическими методами. Недостатки моделей. | Всего аудиторных часов | | |
| 2 | 2 |  |
| Онлайн | | |
|  |  |  |
| 4 - 6 | **Вычислительные средства** - Виды вычислительных средств. Персональные компьютеры. Портативные компьютеры. Высокопроизводительные компьютеры. Вычислительные средства, на основе графических процессоров. Кластерная и симметричная мультипроцессорность. Параллельные вычисления. Преимущества и недостатки различных решений.  - Использование юникс-подобных операционных систем. Основы работы. Удаленное управление. Установка, компиляция и запуск расчетных задач. Особенности работы на кластерных суперкомпьютерах | Всего аудиторных часов | | |
| 2 | 4 |  |
| Онлайн | | |
|  |  |  |
| 7 - 8 | **Метод молекулярной динамики** - Основы метода  - Область применения  - Частоты собственных колебаний. Оптимизация структуры  - Реализация на классических и суперкомпьютерах | Всего аудиторных часов | | |
| 2 | 2 |  |
| Онлайн | | |
|  |  |  |
| **9 - 16** | **Раздел 2** | 7 | 7 |  |
| 9 - 10 | **Введение в квантовомеханические методы моделирования**  - Введение, основные особенности  - Уравнение Шредингера, квантование  - Кристаллы, закон дисперсии, наноструктуры  - Оптические и электронные свойства наноматериалов | Всего аудиторных часов | | |
| 2 | 2 |  |
| Онлайн | | |
|  |  |  |
| 11 - 12 | **Основные подходы** - Одноэлектронное приближение  - Самосогласованное поле  - Модель сильной связи  - Особенности моделирования наноструктур. Метод сверхячейки.  - Модель складывания зоны | Всего аудиторных часов | | |
| 2 | 2 |  |
| Онлайн | | |
|  |  |  |
| 13 - 14 | **Метод функционала электронной плотности**  - Теоретические основы метода  - Практическая реализация  - Разложение электронной волновой функции в базисе плоских волн и молекулярных орбиталей  - Метод псевдопотенциала | Всего аудиторных часов | | |
| 2 | 2 |  |
| Онлайн | | |
|  |  |  |
| 15 - 16 | **Программные продукты для моделирования наносистем** - Обзор программных пакетов, используемых для расчета и проектирования наносистем  - Программный комплекс Avogadro. Конструирование наносистем. Оптимизация геометрий. Экспорт и импорт данных в другие системы.  - Программный пакет с открытым исходным кодом Quantum Espresso. | Всего аудиторных часов | | |
| 2 | 2 |  |
| Онлайн | | |
|  |  |  |

Сокращенные наименования онлайн опций:

|  |  |
| --- | --- |
| **Обозначение** | **Полное наименование** |
| ЭК | Электронный курс |
| ПМ | Полнотекстовый материал |
| ПЛ | Полнотекстовые лекции |
| ВМ | Видео-материалы |
| АМ | Аудио-материалы |
| Прз | Презентации |
| Т | Тесты |
| ЭСМ | Электронные справочные материалы |
| ИС | Интерактивный сайт |

ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

|  |  |
| --- | --- |
| **Недели** | **Темы занятий / Содержание** |
|  | *3 Семестр* |
| 2 - 3 | **Классификация моделей** Моделирование, проблемы корректного выбора модели, области применения.  Особенности моделирования наноструктур, точные и приближенные решения. Модели, основанные на классической и квантовой механике. |
| 4 - 6 | **Вычислительные средства** Виды компьютеров, мультипроцессорность, параллельные вычисления.  Основы использования юникс-подобных операционных систем. Основы работы на кластерных суперкомпьютерах. |
| 7 - 8 | **Метод молекулярной динамики** Применение метода для оптимизации геометрии молекул и наноструктур. Расчет частот собственных колебаний. Особенности использования на кластерных суперкомпьютерах |
| 9 - 10 | **Квантовомеханические методы моделирования** Кристаллы, прямое и обратное пространство. Закон дисперсии. Проводимость. Оптические свойства. |
| 11 - 12 | **Основные подходы моделирования наноматериалов**  Выбор корректных подходов при моделировании. Метод сверхячейки. Квантование электронного волнового вектора в наноматериалах, модель складывания зоны |
| 13 - 14 | **Теория функционала электронной плотности** Реализация метода для моделирования кристаллов и молекул. Базис плоских волн и молекулярных орбиталей. Метод псевдопотенциала. Использование метода сверхячейки для моделирования наноструктур. |
| 15 - 16 | **Программный пакет QuantumEspresso** Применение QuantumEspresso для моделирования наноструктур. Расчет электронных дисперсионных зависимостей идеальных кристаллов. Переход от идеальных кристаллов к наноструктурам. Проблемы высокой вычислительной ресурсоемкости расчета наноматериалов. |

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации программы дисциплины предусматривается использование в учебном процессе различных образовательных технологий с целью формирования и развития профессиональных навыков студентов. Аудиторные занятия (16 часов) предполагают применение на лекциях технических средств обучения (проектора-оверхеда, ПК и компьютерного проектора). Внеаудиторная работа в рамках самостоятельной работы студентов (18 часов) подразумевает работу над рефератом (обзором), встречи и консультации с преподавателями, экскурсии в учебно-исследовательские лаборатории.

6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

|  |  |
| --- | --- |
| **Компетенция** | **Индикаторы освоения** |
| ОПК-1 | З-ОПК-1 |
| У-ОПК-1 |
| В-ОПК-1 |
| ПК-1.1 | З-ПК-1.1 |
| У-ПК-1.1 |
| В-ПК-1.1 |
| ПК-1.2 | З-ПК-1.2 |
| У-ПК-1.2 |
| В-ПК-1.2 |
| ПК-3 | З-ПК-3 |
| У-ПК-3 |
| В-ПК-3 |
| ПК-5 | З-ПК-5 |
| У-ПК-5 |
| В-ПК-5 |
| ПК-7 | З-ПК-7 |
| У-ПК-7 |
| В-ПК-7 |
| ПК-8 | З-ПК-8 |
| У-ПК-8 |
| В-ПК-8 |
| ОПК-1 | З-ОПК-1 |
| У-ОПК-1 |
| В-ОПК-1 |
| ПК-11 | З-ПК-11 |
| У-ПК-11 |
| В-ПК-11 |
| ПК-3 | З-ПК-3 |
| У-ПК-3 |
| В-ПК-3 |
| ПК-4.2 | З-ПК-4.2 |
| У-ПК-4.2 |
| В-ПК-4.2 |
| ПК-5 | З-ПК-5 |
| У-ПК-5 |
| В-ПК-5 |
| ПК-7 | З-ПК-7 |
| У-ПК-7 |
| В-ПК-7 |
| ПК-8 | З-ПК-8 |
| У-ПК-8 |
| В-ПК-8 |

**Шкалы оценки образовательных достижений**

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Сумма баллов | Оценка по 4-ех балльной шкале | Оценка ECTS | Требования к уровню освоению учебной дисциплины |
| 90-100 | 5 – *«отлично»* | А | Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы. |
| 85-89 | 4 – «*хорошо*» | В | Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос. |
| 75-84 | С |
| 70-74 | D |
| 65-69 | 3 – «*удовлетворительно*» | Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала. |
| 60-64 | Е |
| Ниже 60 | 2 – «*неудовлетворительно*» | F | Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине. |

Оценочные средства приведены в Приложении.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ А 62 Вычислительные методы : , Москва: Лань", 2014

2. ЭИ И 15 Основы компьютерного моделирования наносистем : , Москва: Лань, 2010

3. ЭИ Д26 Описание программных пакетов для квантовых расчетов наносистем : учебное пособие для вузов, Н. Н. Дегтяренко, Москва: МИФИ, 2008

4. 539.2 К45 Введение в физику твердого тела : , Ч. Киттель , М.: МедиаСтар, 2006

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

https://online.mephi.ru/

http://library.mephi.ru/

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

Автор(ы):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Осадчий Александ Валентинович, к.ф.-м.н. |  |