

ГОУ ВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФИЗИКО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра теоретической физики и нанотехнологий



УТВЕРЖДАЮ:

проректор по научно-методической  
и учебной работе

\_\_\_\_\_ Е.И. Скафа  
апреля 2020 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### Дефекты в кристаллах

Направление подготовки: 28.03.03 Наноматериалы

Профиль подготовки:

Образовательная программа: бакалавриат

Квалификация: академический бакалавр

Форма обучения: очная, очно-заочная, заочная

Донецк 2020

УТВЕРЖДАЮ:  
 Декан физикотехнического факультета  
 С.А.Фоменко  
 «17» апреля 2020 г.



Программа учебной дисциплины «Дефекты в кристаллах» составлена на основании Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования (ГОС ВПО) Донецкой Народной Республики (ДНР) по направлению подготовки 28.03.03 Наноматериалы, утвержденного приказом Министерства образования и науки ДНР от 28 сентября 2016 г. № 987; Порядка организации учебного процесса в образовательных организациях высшего профессионального образования Донецкой Народной Республики, утвержденного приказом Министерства образования и науки ДНР № 1171 от «10» ноября 2017 г.; учебного плана и основной образовательной программы высшего профессионального образования направления подготовки 28.03.03 Наноматериалы, разработанных в ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет».

Разработчик:  
 Профессор кафедры  
 теоретической физики и нанотехнологий

 Н.П. Иваницын

Программа учебной дисциплины утверждена на заседании кафедры теоретической физики и нанотехнологий  
 Протокол №15 от «02» апреля 2020 г.  
 Заведующий кафедрой

 В.Н.Варюхин

Программа учебной дисциплины одобрена учебно-методической комиссией физикотехнического факультета  
 Протокол № 5 от «15» апреля 2020 г.

Председатель учебно-методической  
 комиссии факультета

 В.Н.Котенко

## 1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

«Дефекты в кристаллах» является дисциплиной вариативной части Профессионального Блока по направлению подготовки 28.03.03 Наноматериалы. Для изучения данной учебной дисциплины необходимы знания, умения и навыки, сформированные в процессе изучения предметов «Основы кристаллографии», «Материалы и методы нанотехнологий», «Физика атома и атомного ядра», «Методы матфизики», «Математический анализ», «Электронная микроскопия», «Квантовая механика», «Тензорный анализ», «Химия твердого тела», «Физика твердого тела» на предыдущем уровне образования. Полученные знания используются студентами во время выполнения учебной и производственной практики, при написании выпускной квалификационной работы.

## 2. СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

| <i>Характеристика учебной дисциплины</i>                         |                              |                        |
|--|------------------------------|------------------------|
| Направление подготовки   | 28.03.03 Наноматериалы       |                        |
| Профиль  |                              |                        |
| Образовательная программа  | бакалавриат                  |                        |
| Квалификация   | академический бакалавр       |                        |
| Количество содержательных модулей                                | 1                            |                        |
| Дисциплина базовой / вариативной части образовательной программы | дисциплина вариативной части |                        |
| Формы контроля (МК, экзамен, зачет)                              | МК, зачет                    |                        |
| Показатели   | очная форма обучения         | заочная форма обучения |
| Количество зачетных единиц (кредитов)                            | 4                            | 4                      |
| Год подготовки   | 2                            | 2                      |
| Семестр  | 4                            |                        |
| Количество часов   | 144                          | 144                    |
| - лекционных   | 16                           | 2                      |
| - практических, семинарских                                      | 16                           | 2                      |
| - лабораторных   |                              |                        |
| - самостоятельной работы   | 112                          | 140                    |
| в т.ч. индивидуальное задание                                    |                              |                        |
| Недельное количество часов,                                      | 2                            | 4                      |
| в т.ч. аудиторных  | 2                            | 4                      |

## 3. ОПИСАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Цели и задачи

**Цель** - углубление знаний студентов в области реального строения кристаллических веществ: классификацией дефектов в кристаллах (точечные дефекты (вакансии и атомы внедрения), линейные дефекты - дислокации различного типа, планарные дефекты), механизмами образования и свойствами дефектов, а также с влиянием дефектов на физические и химические свойства кристаллов.

### **Задачи :**

- изучение строения, механизмов и условий образования точечных дефектов и дислокаций, механизмов диффузии в кристаллах, роли диффузии и точечных дефектов в химических твердофазных реакциях, механизмов пластической деформации и разрушения кристаллов,

строения дефектов упаковки, межкристаллитных и межфазных границ, механизмов структурных превращений в твёрдых телах;

- освоение методик, позволяющих оценить концентрацию и подвижность дефектов в кристаллах и предсказать условия их образования; способов регулирования механических свойств кристаллов.

**Требования к результатам освоения дисциплины.** Процесс изучения дисциплины «Дефекты в кристаллах» направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ГОС ВПО ДНР по направлению подготовки 28.03.03 Наноматериалы и основной образовательной программы высшего профессионального образования направления подготовки 28.03.03 Наноматериалы.

**а) общекультурных (ОК):**

способностью к самоорганизации и самообразованию (ОК-7);

способностью к культурному мышлению, к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения (ОК-10);

**б) общепрофессиональных (ОПК):**

способность использовать в профессиональной деятельности базовые естественнонаучные знания, включая знания о предмете и объектах изучения, методах исследования, современных концепциях, достижениях и ограничениях естественных наук (прежде всего химии, биологии, экологии, наук о земле и человеке) (ОПК-1);

способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей (ОПК-2);

способность применять основы методов исследования, анализа, диагностики и моделирования свойств наноматериалов и наносистем неорганической и органической природы, в твердом, жидком, гелеобразном, аэрозольном состоянии, включая нанопленки и наноструктурированные покрытия, внутренние и внешние границы раздела фаз, а также физических и химических процессов в них или с их участием (ОПК-4);

**в) профессиональных (ПК):**

**научно-исследовательская и проектная деятельность:**

способность использовать современные информационно-коммуникационные технологии, глобальные информационные ресурсы в научно-исследовательской деятельности в области материаловедения и технологии наноматериалов и наносистем (ПК-1);

способность использовать на практике современные представления наук о свойствах веществ и материалов при переходе их в наноразмерное состояние (ноль, одно и двухмерное), о влиянии размера на свойства веществ и материалов, взаимодействии наноматериалов и наносистем с окружающей средой (ПК-2);

способность применять навыки использования (под руководством) методов моделирования, оценки, прогнозирования и оптимизации технологических процессов и свойств наноматериалов, стандартизации и сертификации материалов и процессов (ПК-4);

**научно-инновационная деятельность:**

способность применять основные типы наноматериалов и наносистем неорганической (металлических и неметаллических) и органической (полимерных и углеродных) природы (твердых, жидких, гелеобразных, аэрозольных), включая нанопленки и наноструктурированные покрытия, для решения производственных задач, владением навыками выбора этих материалов для заданных условий эксплуатации с учетом требований технологичности, экономичности, надежности и долговечности, экологических последствий их применения (ПК-5);

способность применять навыки использования технических средств для измерения и контроля основных параметров технологических процессов получения и свойств нанобъектов (кластеров, наночастиц, фуллеренов, нанотрубок), наносистем, наноматериалов и изделий из них (ПК-7).

**В результате изучения учебной дисциплины студент должен**

**Знать:** классификацию дефектов в кристаллах, строение, механизмы и условия образования точечных дефектов и дислокаций, механизмы диффузии в кристаллах, роль диффузии и точечных дефектов при химических твёрдофазных реакциях, механизмы пластической деформации и разрушения кристаллов, способы регулирования механических свойств кристаллов, строение дефектов упаковки, межкристаллитных и межфазных границ, механизмы структурных превращений в твёрдых телах;

**Уметь:** объяснить влияние дефектов на различные физические и химические процессы в кристаллах;

**Владеть:** методиками, позволяющими оценить концентрацию и подвижность дефектов в кристаллах и предсказать условия их образования.

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ И ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

| Порядковый номер и тема  | Краткое содержание темы   |
|--|---|
| <b>Содержательный модуль 1</b>   |   |
| <b>Тема 1.</b><br>Точечные дефекты.<br>Диффузия в кристаллах..                           | Ионная проводимость. Суперионники. Материалы для аккумуляторов, топливных элементов, мембран. Эффекты, обусловленные диффузией. Эффекты Киркендела и Френкеля. Методы определения коэффициента диффузии. Диффузия и химические реакции. Роль диффузии и точечных дефектов при реакциях твёрдое + газ и твердое + твердое. |
| <b>Тема 2.</b><br>Линейные дефекты.<br>Разрушение кристаллов.                            | Взаимодействие между дислокациями. Полигонизация, аннигиляция и пересечение дислокаций. Образование дислокаций. Методы наблюдения дислокаций. Факторы, влияющие на подвижность дислокаций. Влияние примесных атомов, дисперсных частиц на подвижность дислокаций..  |
| <b>Тема 3.</b><br>Межкристаллитные и межфазные границы.<br>Механизмы фазовых переходов.. | Границы зерен. Строение границ зерен. Дислокационная модель. Решётка совпадающих узлов. О-решётка. Модель поли- эдров. Специальные границы. Зернограничные дислокации. Движение границ зерен..  |

#### Тематический план

| <b>Содержательный модуль 1</b>        |                             |   |                               |
|---------------------------------------|-----------------------------|---|-------------------------------|
| Названия содержательных модулей и тем | <b>Количество часов</b>     |   |                               |
|                                       | <b>Очная форма обучения</b> |   | <b>Заочная форма обучения</b> |
|                                       | л                           | ф | л                             |
|                                       | в т.ч.                      |   | в т.ч.                        |

|  |            | лекции    | практические | лабораторные | самостоятельная работа | индивидуальная работа |            | лекции   | практические | лабораторные | самостоятельная работа | индивидуальная работа |
|--|------------|-----------|--------------|--------------|------------------------|-----------------------|------------|----------|--------------|--------------|------------------------|-----------------------|
| <b>Тема 1.</b><br>Точечные дефекты.<br>Диффузия в кристаллах..                           | 50         | 5         | 5            |              | 40                     |                       | 47         | 1        | 1            |              | 45                     |                       |
| <b>Тема 2.</b><br>Линейные дефекты.<br>Разрушение кристаллов.                            | 50         | 5         | 5            |              | 40                     |                       | 46         | 0,5      | 0,5          |              | 45                     |                       |
| <b>Тема 3.</b><br>Межкристаллитные и межфазные границы.<br>Механизмы фазовых переходов.. | 44         | 6         | 6            |              | 32                     |                       | 51         | 0,5      | 0,5          |              | 50                     |                       |
| <b>Всего по модулю</b>   | <b>144</b> | <b>16</b> | <b>16</b>    |              | <b>112</b>             |                       | <b>144</b> | <b>2</b> | <b>2</b>     |              | <b>140</b>             |                       |

## 5. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЛЕКЦИОННЫХ, ПРАКТИЧЕСКИХ И ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

### Темы лекционных занятий

| <i>№<br/>п/п</i> | <i>Название темы</i>  | <i>Количество<br/>часов</i> |
|------------------|---|-----------------------------|
| 1                | Точечные дефекты. Диффузия в кристаллах..                           | 5                           |
| 2                | Линейные дефекты. Разрушение кристаллов.                            | 5                           |
| 3                | Межкристаллитные и межфазные границы. Механизмы фазовых переходов.. | 6                           |
|                  | <b>ВСЕГО</b>  | <b>16</b>                   |

### Темы практических занятий

| <i>№<br/>п/п</i> | <i>Название темы</i>                 | <i>Количество<br/>часов</i> |
|------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| 1                | Точечные дефекты.                    | 3                           |
| 2                | Диффузия в кристаллах                | 3                           |
| 3                | Линейные дефекты                     | 3                           |
| 4                | Разрушение кристаллов                | 3                           |
| 5                | Межкристаллитные и межфазные границы | 2                           |
| 6                | Механизмы фазовых переходов          | 2                           |
|                  | <b>ВСЕГО</b>                         | <b>16</b>                   |

## 6. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

### Организация самостоятельной работы студентов

| <i>№<br/>п/п</i> | <i>Название темы</i>  | <i>Количество<br/>часов</i> |
|------------------|---|-----------------------------|
| 1                | Точечные дефекты, обусловленные нестехиометрией кристаллов. Квазихимические равновесия. Влияние внешней атмосферы на концентрацию точечных дефектов. Основные виды нестехиометрии в оксидах металлов. Влияние температуры на эффективный заряд точечных дефектов. | 14                          |
| 2                | Направленная диффузия в кристаллах. 1-й закон Фика. Диффузия в поле механических напряжений – эффект Горского.  | 14                          |
| 3                | Движение дислокаций: скольжение и переползание. Определение плоскости скольжения. Барьер Пайерлса-Набарро. Наблюдаемые системы скольжения (ГЦК, ОЦК и ГПУ металлы, ионные кристаллы (NaCl, CsCl)).  | 14                          |
| 4                | Различные механизмы пластической деформации: скольжение дислокаций, дислокационная и диффузионная ползучесть. Карта механизмов пластической деформации. Сверхпластичность.  | 14                          |
| 5                | Теория Гриффитса хрупкого разрушения. Эффекты Иоффе и Ребендера.  | 14                          |
| 6                | Теория Орована вязкого разрушения. Механизмы образования трещины при пластической деформации.   | 14                          |
| 7                | Межфазные границы. Когерентные, полуккогерентные и некогерентные межфазные границы. Энергия, подвижность и транспортные свойства межфазных границ. Механизмы фазовых переходов. Влияние строения межфазной границы на кинетику и морфологию фазового превращения. | 14                          |
| 8                | Сдвиговые превращения. ГЦК – ГПУ превращение в кобальте. Сверхупругость и эффект памяти формы.  | 14                          |
|                  | <b>ВСЕГО</b>  | <b>112</b>                  |

### 7. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ *(не предусмотрено рабочим планом)*

### 8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

- Ионная проводимость.
- Суперионники. Материалы для аккумуляторов, топливных элементов, мембран.
- Эффекты, обусловленные диффузией.
- Эффекты Киркендела и Френкеля.
- Методы определения коэффициента диффузии.
- Диффузия и химические реакции.
- Роль диффузии и точечных дефектов при реакциях твёрдое + газ и твердое + твердое.
- Взаимодействие между дислокациями.
- Полигонизация, аннигиляция и пересечение дислокаций.
- Образование дислокаций

### 9. ОБРАЗЕЦ МОДУЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

*(образец варианта и критерии оценивания)*

# ГОУ ВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет физико-технический

Направление подготовки: **28.03.03 Наноматериалы**

Профиль:

Программа подготовки: **бакалавриат**

Семестр **4**

Учебная дисциплина **Дефекты в кристаллах**

## МОДУЛЬНАЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ВАРИАНТ №1

1. Эффекты Киркендела и Френкеля.
2. Ионная проводимость.
3. Аннигиляция и пересечение дислокаций.

Утверждено на заседании кафедры теоретической физики и нанотехнологий,  
протокол № \_\_\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Заведующий кафедрой  
Преподаватель

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

### Критерии оценивания модульного контроля

| <i>Номер задания</i> | <i>Количество баллов</i> |
|----------------------|--------------------------|
| Задание 1            | 10                       |
| Задание 2            | 10                       |
| Задание 3            | 10                       |
| <b>Всего</b>         | <b>30</b>                |

## 10. ОБРАЗЕЦ ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО БИЛЕТА

### *Теоретические вопросы к зачету*

1. 1.Определение атомного дефекта
2. Причины образования дефектов
3. Классификация дефектов по причинам их образования
4. Классификация дефектов по размерности
5. Точечные дефекты (простые и сложные)
6. Равновесие дефектов
7. Дефекты Шоттки, дефекты Френкеля
8. Связанные и резонансные дефектные состояния
9. Идеальные и неидеальные дефекты
10. Линейные дефекты
11. Типы дислокаций
12. Смешанные дислокации
13. Скольжение и переползание дислокаций
14. Вектор Бюргера



15. Барьер Пайерлса
16. Размножение и аннигиляция дислокаций
17. Влияние дислокаций на электронные и рекомбинационные свойства полупроводников
18. Двумерные дефекты
19. Дефекты упаковки
20. Поверхность полупроводника
21. Двойники
22. Объемные дефекты
23. Мелкие и глубокие состояния в полупроводниках
24. Уравнение электронейтральности
25. Уровень зарядовой нейтральности (локальный химпотенциал)
26. Законы стехиометрии

Зачетная работа включает три задания, за которые студент может получить max 50 баллов.

#### *Критерии оценивания зачета*

| <i>Номер задания</i> | <i>Количество баллов</i> |
|----------------------|--------------------------|
| Задание 1            | 15                       |
| Задание 2            | 15                       |
| Задание 3            | 20                       |
| <b>Всего</b>         | <b>50 баллов</b>         |

### **11. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ**

По курсу «Дефекты в кристаллах» предполагается проведение промежуточной аттестации в виде модульного контроля, выполнение индивидуальной работы и экзамена. Экзамен сдают студенты с целью повышения рейтинга.

#### *Распределение баллов, которые могут получить студенты в процессе изучения дисциплины*

| <b>Организационно<br/>учебная работа<br/>студента</b> | <b>СРС</b>                       |                           | <b>Всего</b> |
|---|----------------------------------|---------------------------|--------------|
|   | <b>Индивидуальная<br/>работа</b> | <b>Модульный контроль</b> |              |
| max 10 баллов   | max 10 баллов                    | max 30<br>баллов          | 100          |

#### *Шкала соответствия баллов национальной шкале*

| <b>Оценка<br/>по шкале<br/>ECTS</b> | <b>Оценка по<br/>100-балльной<br/>шкале</b> | <b>Оценка по государственной шкале<br/>(экзамен, дифференцированный зачет)</b> | <b>Оценка по<br/>государственной<br/>шкале (зачет)</b> |
|-------------------------------------|---|--|--|
| <b>A</b>                            | 90-100                                      | 5 (отлично)  | зачтено  |
| <b>B</b>                            | 80-89                                       | 4 (хорошо)   | зачтено  |
| <b>C</b>                            | 75-79                                       | 4 (хорошо)   | зачтено  |
| <b>D</b>                            | 70-74                                       | 3 (удовлетворительно)  | зачтено  |

|           |       |   |            |
|-----------|-------|---|------------|
| <b>E</b>  | 60-69 | 3 (удовлетворительно)   | зачтено    |
| <b>FX</b> | 35-59 | 2 (неудовлетворительно)<br>с возможностью повторной сдачи   | не зачтено |
| <b>F</b>  | 0-34  | 2 (неудовлетворительно)<br>с возможностью повторной сдачи при условии<br>обязательного набора дополнительных баллов | не зачтено |

## 12. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

Лекционные и практические занятия по учебной дисциплине «Дефекты в кристаллах» проводятся в учебной лаборатории №014 «Масс-спектрологии». Оснащена комплектом учебной мебели на 6 посадочных мест, комплект рабочего места преподавателя, 1 Масс-спектрометр химический-MX7304, 1 Монохроматор-СМП1, 1 компьютер с лицензионным программным обеспечением, доступом к сети Интернет. В учебной лаборатории №015 «Микро и нано структуры». Лаборатория оснащена комплектом учебной мебели на 12 посадочных мест, фломастерной доской, масс-спектрометр (МИ 1201АТ-01), микроскоп электронный растровый РЭМ-106 И, установка для изучения оптических свойств тонких пленок (п/п диэлектриков), 1 компьютер для снятия и обработки данных.

Самостоятельная работа студентов проходит в читальном зале №1 (г. Донецк, пр. Гурова, 6, №103) иностранной литературы. Помещение оснащено комплектом учебной мебели на 33 посадочных места, компьютер в комплекте (1 шт.); зал электронной информации (Донецк, пр. Гурова, 6, №104-а.). Помещение оснащено комплектом учебной мебели на 40 посадочных мест, компьютер в комплекте (14 шт.).

Индивидуальные и групповые консультации студентам для проведения самостоятельной работы предоставляются в кабинете кафедры теоретической физики и нанотехнологий, укомплектованном комплектом мебели на 12 посадочных мест, оснащенном компьютером в комплекте (1 шт.), принтером, сканером, расположенном по адресу г. Донецк, пр. Театральный 13, ауд. 256.

## 13. РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

| №<br>п/п                   | Наименование  | Кол-во<br>экземпляров<br>в библиотеке<br>ДонНУ | Наличие<br>электронной<br>версии в<br>ЭБС |
|----------------------------|---|--|---|
| <b>Основная литература</b> |   |  |   |
| 1.                         | Дефекты в кристаллах и их моделирование на ЭВМ : [сб. ст.] / АН СССР, Физ.-техн. ин-т им. А.Ф. Иоффе ; [отв. ред. Ю.А. Осипьян]. - Ленинград : Наука, Ленингр. отд-ние, 1980. - 213 с.  | 6  |   |
| 2.                         | Новиков, И. И. Кристаллография и дефекты кристаллической решетки : [Учебник для вузов по специальности "Металловедение, оборуд. и технология терм. обраб. металлов"] / И. И. Новиков, К. М. Розин. - М. : Металлургия, 1990. - 336 с. | 50   |   |
| 3.                         | Химия твердого тела : учеб. пособие / [сост. Е. И. Гетьман] ; Донецкий нац. ун-т, Хим. ф-т. - Донецк : Юго-Восток, 2009. - 76 с.  | 3  |   |
| 4.                         | Иванов-Шиц, А. К. Ионика твердого тела : [В 2 т.]. Т. 1 / А. К. Иванов-Шиц, И. В. Мурин ; С.-Петерб. гос.   | 1  |   |

|   |  |    |  |
|---|--|----|--|
|   | ун-т ; Ин-т кристаллографии РАН. - СПб. : Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2000. - 616 с.   |    |  |
| <b><i>Дополнительная литература</i></b> |  |    |  |
| 5.                                      | Хирт, Д. П. Теория дислокаций : Пер. с англ. / Д. П. Хирт, И. Лоте ; Под ред. Э. М. Надгорного, Ю. А. Осипьяна. - М. : Атомиздат, 1972. - 599 с.   | 11 |  |
| 6.                                      | Миркин, Лев И. Рентгеноструктурный анализ : Справочное руководство / Л. И. Миркин. - М. : Наука, 1976. - 326 с.  | 28 |  |
| 7.                                      | Гинзбург, И. Ф. Введение в физику твердого тела. Основы квантовой механики и статистической физики с отдельными задачами физики твердого тела : учеб. пособие / И.Ф. Гинзбург. - СПб. : Лань ; М.; Краснодар, 2007. - 537 с. | 1  |  |

#### 14. ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ

<http://donnu.ru/> – сайт ДонНУ.

<http://library.donnu.ru/> – сайт библиотеки

#### 15. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

1. Windows 7 PRO (корпоративная лицензия ДОННУ № 46484614);
2. Microsoft Office (корпоративная лицензия ДОННУ лицензия № 46472919);
3. Microsoft Visual Studio (лицензия программы DreamSpark для высших учебных заведений);
4. Лицензии GPL, Apache, BSD для свободного программного обеспечения: FreeLab, Scilab, Free Pascal, Антивирус Касперского, Adobe Acrobat Reader, xPDF

Рабочая программа рассмотрена и переутверждена на заседании кафедры теоретической физики и нанотехнологий с изменениями (без изменений) на 20\_\_ год.

Протокол № \_\_ от “\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа рассмотрена и переутверждена на заседании кафедры теоретической физики и нанотехнологий с изменениями (без изменений) на 20\_\_ год.

Протокол № \_\_ от “\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_