

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
"ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ  
по организации самостоятельной работы по дисциплине  
«Химия и физика твердого тела»**

Донецк  
2021

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
"ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"**

**КАФЕДРА «ПРИКЛАДНАЯ ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ  
по организации самостоятельной работы по дисциплине  
«Химия и физика твердого тела»**

для обучающихся по направлению подготовки  
18.03.01 «Химическая технология»  
профиль «Технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов»  
всех форм обучения

**РАССМОТРЕНО**  
на заседании кафедры  
прикладной экологии и охраны  
окружающей среды  
Протокол № 7 от 18.02.2021 г.

**УТВЕРЖДЕНО**  
на заседании учебно-издательского  
совета ДОННТУ  
Протокол № 3 от 10.03.2021 г.

Донецк  
2021

УДК 539.2+541.17(076)

М 54

**Составители:**

Шаповалов Валерий Васильевич – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной экологии и охраны окружающей среды ГОУВПО «ДОННТУ»;

Горбатко Сергей Витальевич – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной экологии и охраны окружающей среды ГОУВПО «ДОННТУ».

**М 54      Методические рекомендации для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Химия и физика твердого тела»:** для обучающихся по направлению подготовки 18.03.01 «Химическая технология» профиль «Технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов» всех форм обучения / ГОУВПО «ДОННТУ», каф. прикладной экологии и охраны окружающей среды: сост.: В.В. Шаповалов, С.В.Горбатко – Донецк: ДОННТУ, 2021. – Систем. требования: Acrobat Reader. - Загл. с титул. экрана.

В методических рекомендациях приведены объяснения по организации самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Химия и физика твердого тела», которые содержат способы организации самостоятельной работы студентов, позволяющие более эффективно работать с учебной и научной литературой, критически осмысливать прочитанный и изученный материал по курсу.

УДК 539.2+541.17(076)

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ОБЪЕКТ, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	6
2. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	7
2.1. Лекции	7
Тема 1. Структура твердых тел	7
Тема 2. Дефекты в твердых телах	8
Тема 3. Механические свойства твердых тел	8
Тема 4. Тепловые свойства твердых тел	9
Тема 5. Электрические свойства твердых тел	10
Тема 6. Магнитные свойства твердых тел	11
Тема 7. Оптические свойства твердых тел	11
Тема 8. Термодинамика и кинетика твердофазных превращений	12
2.2. Лабораторные занятия	13
2.3. Курсовая работа	13
3. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	13
3.1. Критерии оценивания знаний	14
Список рекомендуемой литературы	14

## ВВЕДЕНИЕ

Целью дисциплины является формирование у студентов представления о строении твердых тел, химической связи в твердых телах, взаимосвязи физических и химических свойств твердого тела с его строением. Дисциплина включает основы физики и химии конденсированного состояния, в том числе общие представления о строении твердых тел и их различных свойствах: электрических, магнитных, тепловых, механических, особенностях химических превращений в твердофазных системах и методах исследования таких систем.

# 1. ОБЪЕКТ, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина рассматривает вопросы физики и химии твердого тела

**Целью дисциплины является:** формирование у студентов представления о строении твердых тел, химической связи в твердых телах, взаимосвязи физических и химических свойств твердого тела с его строением.

Задачи дисциплины:

В результате изучения курса обучающиеся должны:

- знать основы физики конденсированного состояния, включающие общие представления о строении твердых тел и их различных свойствах: электрических, магнитных, тепловых, механических и т.д.;
- уметь пользоваться теоретическими знаниями при анализе различных физических и химических явлений в твердых телах;
- проводить количественные оценки различных параметров, характеризующих физические свойства твердых тел.

**В результате освоения дисциплины студент должен:**

знать

- основы физики и химии конденсированного состояния;
- иметь представления о методах изучения структуры и свойств твердых тел;
- основные свойства твердых тел и происходящие в них явления;
- возможности целенаправленного изменения свойств твердотельных материалов в процессе их получения и обработки с позиций физики и химии твердого тела;
- методы исследования особенностей структуры твердотельных материалов;
- основные теоретические положения, связывающие состав и структуру твердых тел с их свойствами
- методы теоретического и экспериментального изучения физико-химических свойств и закономерностей получения кристаллических и аморфных твердых тел, в том числе керамики, стекломатериалов и композитов на их основе.

уметь

- пользоваться научной и справочной литературой по химии и физике твердого тела;
- использовать полученные знания теоретических основ курса для интерпретации изменений свойств твердых тел при изменении их состояния и структуры;
- выбирать методы исследования структуры твердых тел и процессов, проходящих в твердых телах;

- использовать методы рентгенофазового анализа, дифференциально-термического, термогравиметрического анализа и ИК-спектроскопии для изучения процессов получения керамических материалов;
- анализировать изменения свойств твердых тел в зависимости от условий получения;
- проводить расчеты термодинамических и кинетических характеристик твердофазных химических реакций на основе литературных и экспериментальных данных;
- использовать полученные знания для формулирования физико-химических основ получения керамических материалов в производственных условиях.

## 2. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 2.1. Лекции

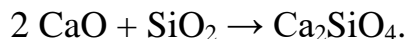
#### Тема 1. Структура твердых тел

Цели и задачи курса. Твердое состояние вещества. Кристаллы. Зависимость свойств кристаллических тел от типа кристаллической решетки. Энергия кристаллической решетки. Кристаллические решетки твердых веществ. Типы Бравэ. Структуры с кубической и гексагональной плотнейшими упаковками. Материалы, обладающие структурой с плотнейшей упаковкой: металлы, сплавы, ионные и ковалентные соединения, молекулярные, структуры. Типы химических связей в твердых телах. Закон Вульфа-Брэггов. Кристаллографические индексы. Атомный и структурный факторы, структурная амплитуда. Рентгеноструктурный и рентгенофазовый анализ.

#### Контрольные вопросы.

1. Перечислите типы конденсированных систем.
2. Дайте определение кристаллу.
3. Аморфные тела характеризуются ближним или дальним порядком?
4. Что такое анизотропия?
5. Перечислите и охарактеризуйте типы связей в твердых телах.
6. Какие существуют способы получения твердых тел?
7. Чем отличается решетка Бравэ от кристаллической структуры?
8. Следствием какого свойства твердого тела является закон Вульфа-Брэггов?
9. Сколько максимально параметров характеризует кристаллическую решетку?
10. Зачем используются кристаллографические индексы?
11. В чем состоит разница между рентгенофазовым анализом и рентгеноструктурным?
12. Перечислите этапы идентификации химических соединений рентгеновским анализом.

13. Опишите контроль процесса взаимодействия следующей реакции с помощью РФА:



14. Будет ли отражать рентгеновское излучение атомная плоскость с индексами (2,2,3) в веществе с гранцентрированной кубической решеткой. Объяснить ответ расчетами.

## Тема 2. Дефекты в твердых телах

Точечные дефекты. Вакансии: термические, структурные, стехиометрические. Междоузельные атомы. Механизм образования вакансий и междоузельных атомов по Френкелю, по Шоттки. Нейтральные и заряженные дефекты. Электронейтральность. Комплексы точечных дефектов: дивакансия, комплекс атома замещения с вакансией, F- центры. Разупорядоченность в стехиометрических кристаллах химических соединений. Энергетические уровни точечных дефектов. Разупорядоченность в нестехиометрических кристаллах химических соединений: недостаток металла, избыток металла. Односторонние, двусторонние фазы. Термодинамика точечных дефектов. Линейные дефекты. Дислокации: краевые, винтовые. Энергия дислокаций. Взаимодействие дислокаций с точечными дефектами. Методы наблюдения дислокаций: электронной микроскопии, химического травления, декорирования. Двумерные дефекты. Дефекты упаковки: вычитания, внедрения.

### Контрольные вопросы.

1. Дайте определение точечному дефекту.
2. Сколько джоулей составляет один электрон-вольт?
3. Найти при какой температуре на каждые  $10^7$  атомов будет приходиться один точечный дефект. Энергия активации образование дефекта составляет 2 эВ.
4. Каким законом описывается скорость образования комплексов точечных дефектов?
5. Почему невозможно получить бездефектный кристалл?
6. В чем состоит разница механизмов образования дефектов по Шоттки и Френкелю?
7. Дайте определение дислокации.
8. Перечислите свойства дислокаций и механизмы их образования.
9. Какие методы используются для наблюдения дефектов? В чем заключается основа метода декорирования?

## Тема 3. Механические свойства твердых тел

Закон Гука для твердого тела. Разрушение твердых тел. Напряженное и деформированное состояние твердых тел. Закон Гука для изотропного твердого



тела. Закон Гука для анизотропного твердого тела. Диаграмма деформации. Определение пластичных и хрупких тел. Пластические свойства кристаллических твердых тел. Разрушение твердых тел. Теоретическая и реальная прочность хрупких тел. Хрупкое разрушение. Теория Гриффитса. Критическая длина микротрещины. Способы упрочнения хрупких тел. Трещиностойкость. Теоретическая и реальная прочность пластичных тел. Способы упрочнения пластичных тел. Твердость твердых тел. Прочность и разрушение керамики. Керметы. Композиционные материалы. Частично стабилизированный диоксид циркония.

#### Контрольные вопросы.

1. Какие твердые тела относятся к хрупким? к пластичным?
2. Сформулируйте физический смысл модуля упругости.
3. К каким телам применим термин «теоретическая прочность»?
4. Почему невозможно получить «теоретическое» твердое тело?
5. Рассчитать теоретическую прочность железа, если  $\alpha=3$  Дж/м<sup>2</sup>,  $a=3,5$  А. Чему оценочно равняется модуль Юнга железа?
6. Каким фактором объясняется разница между теоретической и практической прочностью пластичных твердых тел? Перечислите методы упрочнения пластичных твердых тел.
7. Каким фактором объясняется разница между теоретической и практической прочностью хрупких твердых тел?
8. В чем состоит суть теории Гриффитса?
9. Какие существуют способы упрочнения пластичных тел?
10. Состоится ли пластическая деформация реального кристалла, если к нему приложить касательное напряжение  $10^9$  Па. Модуль сдвига равняется  $2,5 \cdot 10^{11}$  Па,  $\nu=0,3$ . Параметр решетки принять равным 3 А.

#### **Тема 4. Тепловые свойства твердых тел**

Упругие волны в монокристаллах. Колебания одноатомной линейной цепочки. Колебания атомов трехмерной решетки. Фононы. Закон Дюлонга-Пти. Теория теплоемкости Эйнштейна. Теория теплоемкости Дебая. Вклад электронов в теплоемкость металлов. Ангармонизм колебаний атомов в и тепловое расширение кристаллов. Тепловое расширение и теплопроводность твердых тел. Теплофизические свойства твердых тел. Решеточная и электронная теплопроводность. Теплопроводность диэлектриков. Закон Видемана-Франца.

#### Контрольные вопросы.

1. Сформулируйте принципы, положенные в основу закона Дюлонга-Пти.
2. Какой термин, характеризующий твердое тело, введен Эйнштейном в теорию теплоемкости?
3. Сформулируйте положения теории теплоемкости Дебая?

4. Какие области разделяет характеристическая температура?
5. Чему равна теплоемкость твердого тела при  $T=0$  К?
6. Как называются величины, характеризующие тепловое расширение?
7. Какие частицы в твердом теле «отвечают» за теплопроводность?
8. Почему диэлектрики являются и теплоизоляторами?
9. Зависят ли теплоизолирующие свойства материалов от температуры?
10. Оценить теплоемкость  $2 \text{ Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$  при температуре выше температуры Дебая.
11. Определить коэффициент теплопроводности керамики из  $\text{MgO}$ , плотность которой  $2,4 \text{ г/см}^3$  если на цилиндрическом образце диаметром 60 мм время запаздывания между поверхностью образца и его центром составляет 200 с.

### Тема 5. Электрические свойства твердых тел

Основы зонной теории. Подвижность носителей заряда. Энергия Ферми. Плотность электронных состояний. Одноэлектронное приближение. Зоны Бриллюэна. Заполнение зон электронами: металлы, диэлектрики, полупроводники. Физические свойства диэлектриков. Особенности проводимости полупроводников. Собственная проводимость полупроводников. Примесная проводимость полупроводников. Эффект Холла. Особенности электропроводности диэлектриков. Поляризация диэлектриков. Пьезоэлектрики, пироэлектрики и сегнетоэлектрики. Сверхпроводимость. Сверхпроводящая керамика.

#### Контрольные вопросы.

1. В чем состоит разница между изолированным атомом и атомом в узле кристаллической решетки?
2. Какие новые свойства приобретают внешние электроны атомов при образовании кристалла?
3. Что отражает энергия Ферми?
4. Укажите причины образования зон Бриллюэна?
5. Показать, что для однослойной структуры, при наличии  $N$  атомов (в  $S$  - состоянии) на  $1 \text{ м}^2$  решетки, энергия Ферми равняется  $h^2 N / 4\pi m l^2$ .
6. В чем состоит разница между проводниками и диэлектриками?
7. Объясните явление поляризации.
8. Что такое диполь и дипольный момент?
9. Какими свойствами обладают сегнетоэлектрики?
10. Объясните причину спонтанной поляризации сегнетоэлектриков.
11. Приведите примеры использования пьезо- и пироэлектриков.
12. В каких эффектах проявляется сверхпроводимость вещества?

## Тема 6. Магнитные свойства твердых тел

Классификация магнетиков. Природа диамагнетизма. Диамагнетизм электронного газа. Природа парамагнетизма. Закон Кюри. Природа ферромагнетизма. Молекулярное поле Вейсса. Обменное взаимодействие. Ферромагнитные домены. Ферримагнетизм и антиферромагнетизм. Ферриты. Гистерезис. Магнитомягкие и магнито жесткие материалы. Суперпарамагнетики, их получение и свойства.

### Контрольные вопросы.

1. Перечислите типы магнетиков.
2. Чем обусловлен магнитный момент электронной оболочки.
3. Сформулируйте правило Хунда.
4. Все ли вещества обладают диамагнетизмом?
5. Что такое прецессия электронной орбиты?
6. При каком условии атом обладает парамагнетизмом?
7. Что такое домен?
8. Нарисуйте кривую гистерезиса и объясните особенные точки на пересечении кривой с осями ординат.
9. Перечислите способы синтеза ферритов.
10. Почему наноразмерные ферриты могут обладать свойствами суперпарамагнетиков?

## Тема 7. Оптические свойства твердых тел

Виды взаимодействия света с твердым телом. Поглощение света кристаллами. Собственное поглощение. Экситонное поглощение. Спонтанное и индуцированное излучение. Инверсия населенностей. Коэффициенты Эйнштейна. Твердотельные лазеры. Фотохимические реакции. Связь показателя светопреломления с химическим составом и строением силикатных и других тугоплавких неметаллических материалов.

Прозрачность силикатных и других тугоплавких материалов. Применение закона Бугера-Ламберта-Бера для количественных расчетов спектральных характеристик.

Природа центров люминесценции. Фотохимическое преобразование.

ИК- спектроскопия. Природа поглощения в инфракрасной области. Валентные и деформационные колебания. Применение метода инфракрасной спектроскопии для исследования строения силикатных и других тугоплавких неметаллических материалов

### Контрольные вопросы.

1. Назовите факторы обуславливающие поглощение света веществом?
2. Напишите уравнение Бугера-Ламберта-Бера и охарактеризуйте входящие в его состав величины.

3. При выполнении какого фундаментального положения происходит поглощение электромагнитного излучения кристаллом?
4. Что такое основное поглощение света?
5. Объясните, почему силикатное стекло непрозрачно для ультрафиолета, а кварц, содержащий также оксид кремния прозрачен?
6. Какими причинами обусловлено поглощение света в УФ- и видимой области спектра, и какими в дальней ИК области?
7. На каком принципе основано использование ИК-спектроскопии для идентификации веществ?
8. Объясните взаимосвязь между поглощением света и электропроводимостью веществ?
9. Перечислите виды люминесценции.
10. На каких принципах основана работа твердотельного лазера?
11. Что такое стоксово и антистоксово рассеивание?
12. Какие требования предъявляются к материалам, используемым при производстве прозрачной керамики?

### **Тема 8. Термодинамика и кинетика твердофазных превращений**

Твердофазные реакции. Общие принципы. Экспериментальное осуществление твердофазных реакций. Совместное осаждение как прием интенсификации твердофазных реакций. Другие приемы предварительной гомогенизации. Кинетика твердофазных реакций. Кристаллизация растворов, расплавов, стекол и гелей. Кристаллизация из растворов и гелей. Синтез цеолитов. Кристаллизация из расплавов. Кристаллизация стекол. Получение материалов в виде тонких слоев и пленок. Выращивание монокристаллов.

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез тугоплавких соединений. Методы исследования твердофазных реакций.

#### Контрольные вопросы.

1. Сформулируйте закон действия масс.
2. Что такое константа скорости химической реакции?
3. Дайте определение энергии активации химической реакции.
4. Дайте определение скорости химической реакции в твердофазной системе.
5. Каким явлением в основном определяется скорость химической реакции в твердофазных системах? Какими уравнениями это явление описывается?
6. Как называются первичные агрегаты молекул в начале процесса кристаллизации?
7. Почему кристаллизацию и стабилизацию материалов получаемых из расплава производят при разных температурах?
8. Перечислите и поясните методы получения монокристаллов?

9. В чем состоит суть метода СВС получения высокотемпературной керамики?
10. Какие методы изучения твердофазных процессов Вы знаете?

## 2.2. Лабораторные занятия

№ п./п.	Тема занятия
1.	Механические свойства твердых тел.
2.	Идентификация твердых соединений методом ИК-спектроскопии
3	Определение теплофизических характеристик керамических материалов.
4	Определение пористости и гидростатической плотности твердых тел
5	Дифференциально-термический и термогравиметрический анализ твердых тел.
6	Рентгеновский дифракционный анализ
7	Определение электрофизических параметров (свойств) пьезосегнетоэлектрических элементов
8	Итоговое занятие

При защите лабораторной работы студент должен быть готов ответить на контрольные вопросы, изложенные в методических рекомендациях к лабораторным работам.

## 2.3. Курсовая работа

Курсовая работа выполняется согласно тематики разработанной и утвержденной кафедрой и направлена на усвоение студентом учебного материала путем анализа взаимосвязи свойств твердых тел с их строением, описания процессов происходящих в твердых телах в результате химических превращений.

## 3. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Текущий контроль** знаний студентов производится по результатам контрольных опросов в ходе проведения лабораторных занятий.

**Промежуточная аттестация** по результатам освоения дисциплины в семестре проводится в форме семестрового экзамена в соответствии с «Положением об организации и проведении семестрового контроля знаний студентов в Донецком национальном техническом университете».

Для определения уровня знаний студентов преподаватель руководствуется критериями оценки знаний, являющимися составляющей учебно-методического комплекса дисциплины.

### 3.1. Критерии оценивания знаний

К экзамену допускаются студенты выполнившие и защитившие:

1. лабораторные работы,
2. курсовую работу.

Курсовая работа должна быть представлена не позднее, чем за 1 неделю до начала экзаменационной сессии.

Успешно представленная курсовая работа и успешно выполненные лабораторные работы могут быть основанием для повышения оценки (на 1 балл по 5-ти бальной шкале, кроме неудовлетворительной), или при ее округлении (и в спорных случаях), в большую сторону.

Экзаменационная работа выполняется на листах формата А4, первый – титульный.

В экзаменационный билет входит три вопроса: **два теоретических и задача.**

Теоретические вопросы должны содержать следующие пункты:

- 1 – общую характеристику проблемы,
- 2 – представление материала с выводами основных соотношений и аргументированных пояснений.

*При рассмотрении теоретического вопроса для аргументации можно пользоваться иллюстрационным материалом (графики, диаграммы, таблицы без текстового сопровождения), подготовленным студентом в процессе изучения курса и выполнения лабораторных работ.*

Каждый теоретический вопрос составляет 35% от итоговой оценки, расчетное задание – 30%.

Суммарная оценка выставляется как средний результат трех вопросов. Округление осуществляется согласно общепринятым правилам. Если один вопрос освещен на оценку «неудовлетворительно», то общая оценка «неудовлетворительно».

#### Список рекомендуемой литературы

1. Артамонова, О. В. Химия твердого тела: учебное пособие / О. В. Артамонова. — Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2021. — 168 с. — Текст: электронный // IPR SMART: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/108355.html>.
2. Уваров, Н. Ф. Химия твердого тела : учебное пособие / Н. Ф. Уваров, Ю. Г. Матейшина. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2019. — 108 с. — Текст : электронный // IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/99242.html>.
3. Павлов, П.В. Физика твердого тела: Учебник для вузов / П. В. Павлов, А. Ф. Хохлов. - 3-е изд., стер. - М.: Высшая школа, 2000. - 494с.

4. Калистратова, Л. Ф. Основы физики твердого тела/ Конспект лекций/ Л. Ф. Калистратова, С.В. Данилов, В.И. Суриков, Н. П. Калистратова. - Омск: Изд-во ОмГТУ, 2010.- 62 с. URL: [https://www.omgtu.ru/general\\_information/faculties/radio\\_engineering\\_department/department](https://www.omgtu.ru/general_information/faculties/radio_engineering_department/department)
5. Вест, А. Химия твердого тела. Теория и приложения: В 2-х частях/ А Вест. М.: Мир, 1988. URL: [http://www.bookshare.net/books/chem/westa/1988\\_1/files/chem\\_tt\\_1.pdf](http://www.bookshare.net/books/chem/westa/1988_1/files/chem_tt_1.pdf)
6. Зайцев, Б. Е. Применение ИК-спектроскопии в химии : учебное пособие / Б. Е. Зайцев, О. В. Ковальчукова, С. Б. Страшнова. — Москва : Российский университет дружбы народов, 2008. — 152 с. —Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/11418.html>
7. Уэрт, Ч. Томсон Р. Физика твердого тела/ Ч. Уэрт, Р. Томсон.- М.: Мир, 1969. 280 с. URL: <https://www.twirpx.com/file/2262574/>
8. Термический анализ (теория и практика): учебное пособие / С. И. Нифталиев, И. В. Кузнецова, Л. В. Лыгина, И. А. Саранов. — Воронеж : Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2018. — 56 с. Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/88455.html>
9. Бёккер, Ю. Спектроскопия: учебник / Ю. Бёккер. — Москва : Техносфера, 2009. — 528 с. —Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/12735.html>.
10. Уэндландт У. Термические методы анализа /У. Уэндландт; пер. с англ. под ред. В. А. Степанова и В. А. Берштейна. – М. : Мир, 1978. – 526 с. URL: <https://www.twirpx.com/file/404631/>.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ  
по организации самостоятельной работы  
по дисциплине  
«Химия и физика твердого тела»**

**Составители**

Шаповалов Валерий Васильевич – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной экологии и охраны окружающей среды ГОУВПО «ДОННТУ»;

Горбатко Сергей Витальевич – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной экологии и охраны окружающей среды ГОУВПО «ДОННТУ».

**Ответственный за выпуск:**

Шаповалов Валерий Васильевич – заведующий кафедрой «Прикладная экология и охрана окружающей среды» ГОУВПО «ДОННТУ», доктор химических наук, профессор