

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Донецкий государственный университет»

Физико-технический факультет
Кафедра теоретической физики и нанотехнологий

УТВЕРЖДАЮ
проректор

_____ П. А. Машаров
«17» апреля 2025 г.
МП

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ХИМИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Укрупненная группа направлений подготовки	28.00.00 Нанотехнологии и наноматериалы
Программа высшего образования	Программа бакалавриата
Направление подготовки	28.03.03 Наноматериалы
Направленность (профиль) образовательной программы	Наноматериалы
Квалификация	Бакалавр
Форма обучения	Очная

Рабочая программа может быть адаптирована для лиц
с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Донецк 2025

Рабочая программа дисциплины **«Химия твердого тела»** для обучающихся по направлению подготовки 28.03.03 Наноматериалы (Профиль: Наноматериалы), составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 28.03.03 Наноматериалы, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 22 сентября 2017 г. № 968 (с изм. и доп.), Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 06 апреля 2021 г. № 245 (с изм. и доп.), в соответствии с учебным планом, утвержденным Ученым советом ФГБОУ ВО «ДонГУ» для набора 2025 года.

Разработчик:

профессор кафедры теоретической физики и
нанотехнологий,
д-р. физ.-мат. наук, с.н.с.

Л. С. Метлов

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры теоретической физики и нанотехнологий.

Протокол от 10.04.2025 г. № 18.

Заведующий кафедрой

А. Г. Петренко

СОГЛАСОВАНО:

И.о. декана физико-технического факультета
16.04.2025 г.

С. А. Фоменко

Учебно-методическая комиссия физико-технического факультета.

Протокол от 16.04.2025 г. № 4

Председатель

В. Н. Котенко

Руководитель основной образовательной
программы, д-р физ.-мат. наук, проф.
10.04.2025 г.

А. Г. Петренко

1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

1.1. Требования к предварительной подготовке обучающихся, предшествующие и сопутствующие дисциплины, на которых основывается изучение данной:

базовая подготовка по математике в объёме программы средней школы;

дисциплины программы бакалавриата: Механика и молекулярная физика, Введение в специальность, Дефекты в кристаллах.

1.2. Дисциплины, курсовые работы и практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее:

Основы кристаллофизики и кристаллохимии, Физика твердого тела, Производственная практика: научно-исследовательская работа.

2. ОПИСАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

2.1. Общая характеристика

Наименование показателя	Значение показателя
Название образовательной программы (далее – ОП)	28.03.03 Наноматериалы (Профиль: Наноматериалы)
Шифр и название в соответствии с учебным планом	Б1.В.ОД.3 Химия твердого тела
Часть образовательной программы	Вариативная часть: выбор вуза
Количество зачетных единиц / всего часов	3 / 108

В случае предъявления от обучающегося или его родителя (законного представителя) заявления на обучение по адаптированной образовательной программе высшего образования, подкрепленного заключением психолого-медико-педагогической комиссии (ПМПК) или медико-социальной экспертизы (МСЭ) с рекомендациями создания индивидуальной программы реабилитации и абилитации (ИПРА), данная рабочая программа может быть адаптирована с учетом индивидуальных особенностей здоровья обучающегося.

2.2. Распределение часов по формам и периодам обучения

Форма обучения	курс	семестр	Общее количество часов					Форма контроля
			лекционных	лабораторных	практических	самостоятельной работы + контроль	всего	
Очная	3	5	34	-	34	40	108	зачет

3. ЦЕЛИ ДИСЦИПЛИНЫ

Формирование основ научного химического мышления, получение необходимого запаса фактических сведений в области синтеза, строения и свойств твёрдых фаз, а также навыков работы с этими веществами.

**4. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ
ОСВОЕНИЯ КОМПОНЕНТА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ, ИХ ИНДИКАТОРЫ
И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ**

Компетенции	Индикаторы	Результаты обучения
ПК-1. Способен апробировать новые методики с согласованием полученных результатов с результатами стандартных методик	ПК-1.1. Анализирует возможности новых методик	ПК-1.1.1. Знает стандартные методики ПК-1.1.2. Умеет совершенствовать существующие методики ПК-1.1.3. Владеет навыками апробировать новые методики .
	ПК-1.2. Использует новые методики в профессиональной деятельности при решении инженерных задач	ПК-1.2.1. Знает основные сведения о строении реальных кристаллов, сил межатомного взаимодействия, энергии кристаллического поля, многообразии форм теплового движения и неотвратимости возникновения структурных дефектов в регулярной кристаллической решетке, особенностях кинетики химических реакций в твердых телах ПК-1.2.2. Умеет использовать знания, умения и навыки в области химии твердого тела для получения новых материалов, интерпретации их свойств и для планирования экспериментальной работы ПК-1.2.3. Владеет практическими навыками в области химии твердого тела

5. ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Название темы	Краткое содержание темы (вопросы темы)
Раздел 1. Описание твердых фаз	
Способы описания твёрдых фаз	Кристаллические фазы (атомные, молекулярные, ионно-ковалентные, ионные) их кристаллическое и электронное строение. Химическая связь в твёрдых телах: межатомное взаимодействие ковалентного типа, ионная и металлическая связь, межмолекулярное взаимодействие (как причина образования молекулярных кристаллов). Энергия кристаллической решётки кристаллов (способы расчёта и экспериментальные методы определения). Структура кристаллов, теории кристаллического строения фаз, экспериментальные методы исследования строения твердых тел. Скрытно кристаллические и некристаллические твёрдые фазы, понятие аморфного твёрдого тела (стёкла, полимеры, простые вещества).
Квантовомеханическое описание твёрдых фаз.	Приближение, основанное на модели свободных электронов. Зонная теория. Законы распределения электронов по энергетическим

	состояниям. Диэлектрики, полупроводники, металлы. Запрещённая зона, энергетические зоны. Бинарные сплавы. Теория поля лигандов в химии твёрдого тела.
Дефекты кристаллических решёток.	Электроны и дырки. Атомные дефекты (точечные дефекты, примесные атомы, заряженные и нейтральные дефекты, нестехиометрия, образование вакансий при введении примесных атомов). Компенсация заряда, комплексные центры, ассоциация дефектов. Способы обозначения нарушений в кристаллической решётки. Дислокации и плоские дефекты. Взаимодействие точечных дефектов.
Раздел 2. Твердофазные реакции	
Типы твердофазных реакций	Реакции между: а) газообразной и твёрдой фазами; б) жидкой и твёрдой фазами; в) несколькими твёрдыми фазами – термодинамика, скорость и механизмы процессов.
Термодинамические методы описания процессов с участием твёрдых фаз.	Термодинамическая оценка возможности самопроизвольного протекания химических реакций с участием твёрдых фаз, экспериментальные методы исследования термодинамики этих процессов и приближённые способы расчёта изменения энтальпии, энтропии и энергии Гиббса в процессе реакций с участием кристаллических фаз. Определение равновесных условий образования и термодинамическое описание фаз переменного состава, как продуктов твердофазного взаимодействия. Равновесные и неравновесные дефекты.
Механизмы твердофазных реакций	Физико-химические факторы, определяющие механизм реакций с участием твёрдых фаз. Диффузия в твёрдых телах. Методы исследования механизмов твердофазных реакций, теории твердофазного взаимодействия и процессов с участием твердых фаз, реагирующих с газообразными и жидкими фазами, влияние дефектов на скорость и механизм этих процессов. Механизмы важнейших твердофазных реакций, в том числе без изменения состава.
Скорость реакций с участием твёрдых фаз.	Основные понятия и методы изучения кинетики этих реакций, кинетические модели и уравнения изотермической кинетики. Энергия активации реакций с участием твёрдых фаз.
Активное состояние реагентов.	Природа активного состояния твёрдых фаз и способы его оценки. Активирование прекурсоров путём изменения их химической и термической предыстории, введением

	микродобавок, механическое активирование и активирование реагентов в процессе взаимодействия.
Раздел 3. Получение материалов на основе твердых фаз	
Реакции на поверхности твёрдых фаз	Поверхностная энергия. Сорбция на поверхности (типы, изотермы). Структура поверхности и поверхностные процессы. Катализ (классические представления, природа катализаторов, методы оценки их активности, способы подбора катализатора к конкретному процессу, прогноз каталитической активности фазы, исходя из её состава и структуры). Поверхность раздела между твёрдой фазой и жидким электролитом (межфазные слои, электродные реакции).
Синтез твёрдых фаз.	Конденсационные методы – синтез из газовой фазы. Кристаллизация из растворов и расплавов. Формирование твёрдых фаз в процессе разложения прекурсоров. Метод использования энергии основных и предварительных стадий процесса – самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС). Образование твёрдых фаз при взаимодействии реагентов, находящихся в различных агрегатных состояниях. Метод твёрдофазных реакций. Низкотемпературные способы получения твёрдых фаз.
Виды твёрдых фаз	Простые вещества их состав и структура. Этапы формирования структуры фаз сложного состава : твёрдые растворы, соединения Курнакова, фазы внедрения, клатраты, электронные соединения Юм-Розери, интерметаллиды, отвечающие правилам формальной валентности, жидкие и молекулярные кристаллы, ионные и ионно-ковалентные фазы.
Материалы на основе твёрдых фаз.	а) химические свойства фаз, образующих материалы (полиморфизм, разложение, возгонка, коррозия, старение); б) физические свойства (электропроводность – металлы, полупроводники, диэлектрики; оптические – поглощение, фотопроводимость, люминесценция; магнитные; тепловые; механические; пьезоэлектрические; сверхпроводимость и т.д.).

6. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Форма обучения – очная, курс – 3, семестр – 5

Наименования разделов и тем	Количество часов				
	Лекц.	Лабор.	Практ.	СРС+К	Всего
Раздел 1. Описание твердых фаз	9		9	10	28
Способы описания твёрдых фаз	3		3	3	9
Квантовомеханическое описание твёрдых фаз.	3		3	3	9
Дефекты кристаллических решёток.	3		3	4	10
Раздел 2. Твердофазные реакции	15		15	20	50
Типы твердофазных реакций	3		3	4	10
Термодинамические методы описания процессов с участием твёрдых фаз.	3		3	4	10
Механизмы твердофазных реакций	3		3	4	10
Скорость реакций с участием твёрдых фаз.	3		3	4	10
Активное состояние реагентов.	3		3	4	10
Раздел 3. Получение материалов на основе твердых фаз	10		10	10	30
Реакции на поверхности твёрдых фаз	2		2	2	6
Синтез твёрдых фаз.	2		2	2	6
Виды твёрдых фаз	3		3	3	9
Материалы на основе твёрдых фаз.	3		3	3	9
ИТОГО ПО КОМПОНЕНТУ ОПОП	34	—	34	40	108

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ (СРЕДСТВА) ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

7.1. Контрольные вопросы

Раздел 1

1. Кристаллические фазы (атомные, молекулярные, ионно-ковалентные, ионные) их кристаллическое и электронное строение.
2. Химическая связь в твёрдых телах: межатомное взаимодействие ковалентного типа, ионная и металлическая связь, межмолекулярное взаимодействие (как причина образования молекулярных кристаллов).
3. Энергия кристаллической решётки кристаллов (способы расчёта и экспериментальные методы определения).
4. Понятие интегрального преобразования. Примеры. Основные задачи теории интегральных преобразований. Преобразование Фурье интегрируемых функций.
5. Ограниченность и равномерная непрерывность преобразования Фурье. Лемма Римана-Лебега. Преобразование Фурье чётных и нечётных функций.

Раздел 2

6. Структура кристаллов, теории кристаллического строения фаз, экспериментальные методы исследования строения твердых тел.
7. Скрытно кристаллические и некристаллические твёрдые фазы, понятие аморфного твёрдого тела (стёкла, полимеры, простые вещества).
8. Приближение, основанное на модели свободных электронов.
9. Зонная теория. Законы распределения электронов по энергетическим состояниям.

Раздел 3

10. Диэлектрики, полупроводники, металлы. Запрещённая зона, энергетические зоны.
11. Бинарные сплавы.
12. Теория поля лигандов в химии твёрдого тела.
13. Электроны и дырки.

7.2. Темы письменных работ (типы задач)

- Разработка оптимального способа синтеза одной из фаз (B, Si, Ge, Se, Te, Sb, Ti, Zr, Mo, W, Cu, Ag, α -Al₂O₃ и γ -Al₂O₃, CoAl₂O₄ (тернарная синь) (Zn_xCo_{1-x})O (риманова зелень) (Al_xCr_{1-x})₂O₃ (рубин), CuAl₂O₄, ZnAl₂O₄, MgFe₂O₄, FeAl₂O₄, TiO₂, ZrO₂, Nb₂O₅, ATiO₃, AZrO₃, ATi_xZr_{1-x}O₃ (A= Mg, Ca, Sr, Ba, Fe, Cd, Pb), Sb₂S₃, SnS₂, SbSI, Sn₂P₂S₆)
- Технологии изготовления материалов различного типа.
- Функциональные свойства

Контрольная работа по проверке теоретических знаний – по всем темам, с использованием указанных выше контрольных вопросов.

8. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БАЛЛОВ, КОТОРЫЕ ПОЛУЧАЮТ ОБУЧАЮЩИЕСЯ

Общая оценка знаний обучающихся по дисциплине проводится по 100-балльной шкале исходя из максимума, приведенного в таблице ниже.

Организационно-учебная работа в аудитории оценивается на основе таких критериев как посещаемость занятий, своевременное и качественное выполнение домашних заданий, активность во время проведения лекционных и практических занятий (участие в обсуждении текущего и пройденного материала, решение задач и т.п.).

Самостоятельная работа оценивается на основе предоставленных на проверку выполненных домашних, индивидуальных заданий с учетом своевременности их предоставления и соответствия требованиям к их выполнению.

Количество баллов за контрольную работу вычисляется как сумма баллов за все входящие в её состав задания. Каждое задание оценивается исходя из максимально возможного количества баллов с учетом правильности выполнения задания, полноты приводимых обоснований.

По результатам работы в семестре обучающийся, набравший не менее 60 баллов, имеет право получить оценку. Те, кто претендует на более высокий балл, проходят промежуточную аттестацию. Максимальное количество баллов на промежуточной аттестации – 100. Общее количество баллов за семестр вычисляется как максимальная из полученных за семестр и на промежуточной аттестации и выставляется согласно принятому порядку.

8.1. Семестр 5

Номера разделов	Виды работ	Максимальное количество баллов
1-3	Организационно-учебная работа в аудитории	20
	Самостоятельная работа	10
	Контрольные работы по практике	10
	Контрольная работа по теоретическому материалу	20
ИТОГО		60
Промежуточная аттестация (зачет)		40
Общий итог за семестр		100

Соответствие баллов оценке

Количество баллов из 100	ECTS	Оценка по пятибалльной шкале	
		Экзамен, дифференцированный зачет	Зачет
90-100	A	отлично	зачтено
80-89	B	хорошо	зачтено
75-79	C		зачтено
70-74	D	удовлетворительно	зачтено
60-69	E		зачтено
35-59	FX	неудовлетворительно	не зачтено
0-34	F		не зачтено

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

Учебные занятия проводятся в 4 учебном корпусе ДонГУ (г. Донецк, пр. Театральный, 13). Для проведения занятий требуется аудитория, оборудованная меловой или маркерной доской, мультимедийный проектор и экран, ноутбук, комплект учебной мебели для студентов, рабочее место преподавателя, выход в Интернет – проводной или с использованием Wi-Fi.

Для самостоятельной работы используются текстовые и электронные ресурсы Научной библиотеки университета и других электронных библиотечных баз данных, учебно-методическое обеспечение, представленное в учебно-методическом кабинете кафедры теоретической физики и нанотехнологий(ауд.256).

Обучающиеся имеют возможность использовать учебные материалы по дисциплине, размещенные на платформе Moodle Центра дистанционного образования ФГБОУ ВО «ДонГУ». При изучении дисциплины могут применяться электронное обучение и дистанционные образовательные технологии.

С использованием ресурсов платформы дистанционного образования осуществляется текущий контроль знаний обучающихся на основе тестирования и проверки результатов самостоятельной работы.

10. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

10.1. Основная литература

1. Химия твердого тела : учеб. пособие / [сост. Е. И. Гетьман] ; Донецкий нац. ун-т, Хим. ф-т. - Донецк : Юго-Восток, 2009. - 76 с

2. Химия твердого тела и химическое материаловедение [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие по курсу "Химия твердого тела и химическое материаловедение" / [сост.: В. В. Козик, Л. П. Борило, С. А. Кузнецова, Е. С. Лютова] ; Томский государственный университет, Химический факультет. - Томск : Томский государственный университет, 2018. - Электронные данные (1 файл).

3. Кнотько, А. В. Химия твердого тела : учеб. пособие для студентов по специальности 020101 (011000) "Химия / А. В. Кнотько, И. А. Пресняков, Ю. Д. Третьяков. - М. : Академия, 2006. - 302 с.

4. Химическая энциклопедия : В 5 т. Т. 3 : МЕД-ПОЛ / Гл. ред. И. Л. Кнунянц. - М. : Большая Рос. Энцикл., 1992. - 640 с.

10.2. Дополнительная литература

1. Гаврусейко, Н. П. Справочник по химии : кн. для учащихся / Н. П. Гаврусейко. - Минск : Нар. асвета, 1989. - 79,[1] с.

2. Хенней, Н. Химия твердого тела / Н. Хенней ; пер. с англ. Ю. И. Михайлова, Э. Ф. Хайретдинова ; под ред. В. В. Болдырева. - Москва : Мир, 1971. - 223 с.

11. ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ

1. **Национальная электронная библиотека (НЭБ):** федеральная государственная информационная система / Министерство Культуры РФ; Российская государственная библиотека. – Москва, 2019- . – URL: <https://rusneb.ru/> (дата обращения: 31.03.2025). – Режим доступа: свободный, подписка. Необходима установка программного обеспечения. – Текст: электронный.
2. **eLIBRARY.RU:** научная электронная библиотека: сайт. – Москва, 2000- . – URL: <https://elibrary.ru> (дата обращения: 31.03.2025). – Режим доступа: для авторизов. пользователей. – Текст: электронный.
3. Научная электронная библиотека **«КиберЛенинка»:** сайт / Ассоциация «Открытая наука». – Москва, 2014- . – URL: <https://cyberleninka.ru/> (дата обращения: 31.03.2025). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
4. Электронно-библиотечная система **«Лань»:** [сайт]. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 31.03.2025). – Режим доступа: издания Сетевой электронной библиотеки, для авторизов. пользователей. – Текст: электронный.
5. **ЭБС Юрайт:** электронная библиотечная система: сайт. – Москва, 2013. – URL: <https://urait.ru/library/svobodnyy-dostup/> (дата обращения: 31.03.2025). – Режим доступа: издания свободного доступа, для авторизов. пользователей. – Текст: электронный.
6. **Электронно-библиотечная система ДонГУ:** сайт / ФГБОУ ВО «ДонГУ». – Донецк, 2016- . – URL: <http://library.donnu.ru/> (дата обращения: 31.03.2025). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
7. **Электронный каталог** Научной библиотеки ДонГУ: раздел сайта / НБ ДонГУ. – Текст: электронный // ЭБС ДонГУ: сайт. – URL: <http://library.donnu.ru/catalog/> (дата обращения: 31.03.2025). – Режим доступа: поиск свободный, электронные документы – для пользователей ДонГУ.
8. **Электронный архив ДонГУ:** раздел сайта / НБ ДонГУ. – Текст: электронный // ЭБС ДонГУ: сайт. – URL: <http://repo.donnu.ru/> (дата обращения: 31.03.2025). – Режим доступа: свободный.

12. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

1. Windows 7 PRO (корпоративная лицензия ДонГУ № 46484614)
2. Microsoft Office (корпоративная лицензия ДонГУ № 46472919)
3. Microsoft Visual Studio (лицензия программы Dream Spark для высших учебных заведений)
4. Антивирус Касперского, Adobe Acrobat Reader, xPDF (лицензии GPL, Apache, BSD для свободного программного обеспечения).